

文章编号: 1001-6112(1999)02-0104-06

# 陆相层序地层学应用中几个问题的讨论

游俊 郑浚茂 王德发

(中国地质大学, 北京 100083)

**摘要:** 层序地层学提出了一个等时地层对比的概念, 即在等时框架下进行地层对比, 使得地层对比更具有实际的地质意义。随着陆相沉积盆地研究中层序地层学的引入, 在国内引起了一些颇有争议的问题。本文就层序地层学理论在陆相沉积盆地研究中的适应性问题、陆相层序成因和具体研究工作方法问题等作了有益的探讨, 旨在促进国内陆相层序地层学的发展。

**关键词:** 层序地层学; 陆相沉积盆地; 等时地层对比; 层序

**中图分类号:** P618.13; P53

**文献标识码:** A

层序地层学(Sequence Stratigraphy)自 1987 年由 B. Haq 和 P. Vail 等人提出来以后, 在国外引起强烈反响。石油地质界对它的发展尤为关注。国内在近几年也悄然兴起层序地层学研究的热潮。但是, 正如完美地描述了洋壳运动机制的板块构造理论在解释大陆动力学机制时有其明显的局限性一样, 层序地层学这一套从海相地层研究中总结出来的理论如何应用到陆相沉积盆地的分析研究中去, 也是一个有待深入研究的重大课题。

## 1 层序地层学理论基础及其生命力

层序地层学是根据地震、钻井和露头资料进行地层分布形式、沉积环境和岩相特征综合解释的一门学科。通过解释, 提出一个以侵蚀作用或无沉积作用面或与之可对比的整合面为界建立旋回性的在成因上有联系的年代地层格架。在此格架中, 通过解释查清沉积环境和有关岩相的分布, 而这些岩相单元可以限定在以层面为界的同时代的地层段内, 也可以是以高角度斜穿地层层面的穿时地层方式产出<sup>[1]</sup>。

层序地层学的基本观点是地层单元的几何形态及岩性是受全球海平面升降、构造沉降、沉积物供给和气候 4 大因素控制的(表 1), 其中全球海平面升降和构造沉降共同作用引起相对海平面的变化, 产

生可供潜在的沉积物堆积的可容纳空间, 相对海平面变化速率和沉积物供给速率决定了沉积盆地的几何形态, 它们相互作用的结果导致高水位体系域(HST)、低水位体系域(LST)和陆架边缘体系域(SMST)等沉积体系域的产生、发展和变化。

表 1 层序形成 4 大控制因素及其作用

Table 1 Four factors controlling sequence formation and their functions

基本要素	主要控制作用
构造沉降	可供沉积物堆积的空间
海平面升降	地层和岩相分布模式
沉积物供应	沉积物充填和古水深
气候	沉积物类型

以地震地层学(Seismic Stratigraphy)理论和 M. T. Jervey 的计算机模拟为基础的层序地层学之所以具有强大的生命力, 是因为它具有综合性、科学性、预测性、定量性和实践性等优点。它不仅吸取了地震地层学的精髓, 而且还结合了测井信息、露头资料、钻井取心和岩屑资料的沉积学研究成果, 吸收了物理沉积学、油气勘探地层学、地球物理学等学科的最新成果, 集百家之长, 避免单学科的某些局限性, 能够获得更多的信息<sup>[2]</sup>; 它提供了一种更精确的地质时代对比、古地理再造和在钻前预测生、储、盖的方法<sup>[1]</sup>; 它的发展将提供一个由层序地层划分、相带

收稿日期: 1998-12-13

第一作者简介: 游俊(1971-), 男(汉族), 河南新县人, 中国地质大学(北京)在读博士, 主要研究地球物理与沉积储层地质学

展布、砂体预测、构造发育史、地热史、沉降史、埋藏史、成藏史、油气藏质量预测到开发效果监测的量化系统工程程序<sup>[3]</sup>。

## 2 陆相层序的成因及其与海相层序的区别

据研究认为, 由于太平洋板块向欧亚板块及印度板块俯冲挤压, 造成我国东部软流圈上拱地壳拉张减薄; 接着由拉张作用转化成后期的热流扩散和岩石圈冷却, 我国东部中生代陆相沉积盆地的演化分别经历了裂陷期、拗陷期和消亡期, 并且陆相沉积盆地这种拉张裂陷作用具有多旋回性, 是一个不连续的幕式沉降过程<sup>[4]</sup>。正是这种多旋回的幕式沉降过程, 以及气候条件、沉积物供给等基本因素控制着陆相沉积盆地内层序的发育, 不同级次的构造旋回对应着不同级别的层序。

与被动大陆边缘盆地(海相盆地)相比, 陆相盆地层序形成有以下显著特点:

(1) 陆相盆地基准面升降变化主要与复杂的地质、地理、地貌、构造因素和气候条件有关。除了在少数海进期和高水位期与海相通外, 基本上不受全球海平面升降变化的影响, 或者这种影响甚微。

(2) 与点物源、单向供给的海相盆地不同的是, 陆相盆地具有多物源、多沉积中心的特点, 沉积物供应类型及供应量随气候变化而波动较大。

(3) 由于受到多物源、近物源、高沉积速率、复杂的古地理环境等条件的影响, 陆相盆地层序内部体系域的分布样式和叠置形式比海相盆地要复杂得多, 岩相侧向相变快, 地层物性总体较差, 三维空间上各沉积体系物理分异也不一定明显。这一点给陆相盆地中层序地层学的应用提出了严峻的挑战。

## 3 陆相沉积盆地中层序地层学适应性问题的探讨

正是由于上述海、陆相沉积层序之间有许多不同, 尤其是各大控制因素在层序形成过程中的作用更具争议性, 因而许多学者认为, 虽然层序地层学已成功地应用于某些湖泊沉积盆地, 这是由于湖泊沉积对湖平面升降的响应类似于浅海沉积对海平面升降的响应的结果, 而对以冲积沉积体系为主的陆相沉积盆地或海陆过渡型沉积盆地而言, 层序地层

学的概念、理论和模式尚有不少局限性, 未必能够达到象海相层序地层学一样的精确预测效果, 因而陆相盆地研究中应用层序地层学的理论是不合适的。对此, 进行层序地层学研究的专家们也提出了自己的证据。徐怀大教授(1997)研究指出: “无论是陆相地层的露头剖面, 还是地下的测井曲线, 甚至在质量良好的地震剖面上, 都和海相地层一样存在着周期性的旋回或者韵律变化。这意味着客观上存在着一种普遍的机制控制着海相, 也控制着陆相地层的旋回性。这个机制就是控制沉积物可容纳空间的基准面的周期性变化。”; 魏魁生教授在他的《非海相层序地层学——以松辽盆地为例》一书中也强调: “非海相沉积地层同样具有旋回性、韵律性和周期性; 盆地经历过复杂的构造运动, 它们与前人定义的各种周期的构造运动幕相联系; 沉积基准面发生过规律性变化, 尽管这些变化在不同盆地表现强度不一, 时间上略有差异, 但是存在着某种周期性或准周期性; 从事微体、超微化石和孢粉研究的专家发现, 陆相地层中存在着气候周期性变化的证据; 沉积学家承认沉积物供应速率对陆相地层有特殊重要的作用。因此非海相沉积层序的形成仍然受构造沉降、基准面变化、沉积物供应速率和气候因素的控制, 同时也受到物源多向、局部构造运动、盆地演化阶段、古地理位置、海洋气候、突发性和灾变性事件等因素的影响。”

由此可见, 对层序地层学理论能否应用于陆相盆地这一问题呈争鸣之态势。这并不是坏事, 相反, 对该学科的发展确有助益。因为争议的焦点往往代表着该学科的主攻目标, 因而它孕育着该学科重大突破的即将来临! 目前我们可以暂时搁置争议, 为寻找结合点作一些更加细致的工作, 在不断地探索中逐步总结出陆相地层的沉积模式, 进而形成陆相层序地层学的理论体系。这是一项艰巨而又有重大意义的任务, 需要一个过程和许多人的共同努力。

## 4 陆相沉积盆地中层序地层学应用的工作方法探讨

层序地层学在讨论工作方法时始终强调综合分析露头、测井和地震资料, 并在此基础上得出地层三维空间展布特征。陆相沉积盆地中层序地层学的研究也是如此。首先我们可以在分辨率很高的露头、岩心、钻井剖面上识别出短期基准面旋回, 建立取心井

段短期旋回及界面的测井响应模型,接着根据这些测井响应模型指导非取心井或井段测井曲线的中期旋回的划分,识别准层序(Parasequence)、准层序组(Parasequence set)和密集段(Condensed Section)等;然后在地震剖面上寻找反射终止点,识别不整合面,结合测井信息和古生物资料划分超层序(Supersequence)和层序(Sequence),利用合成地震记录把地震和测井结果联系起来,建立地层格架,实现地层的等时追踪对比。这里有几个要点需特别注意:

(1) 在岩心、钻井剖面上识别短期基准面旋回时要特别注意地层剖面中冲刷面和岩相突变及粒度的识别。冲刷面代表着基准面下降到地面之下的侵蚀作用面或基准面上升时的水进冲刷面(如图 1 所示)。

(2) 在测井曲线上识别中期基准面旋回时,着重识别层序界面(Sequence Boundary)、首次洪泛面(First Flooding Surface)和密集段(Condensed Section),因为它们是体系域的边界(图 2)。

(3) 要建立层序地层格架,就必须详细地分析研究一些基干地震剖面。基干剖面应选择地层发育齐全、与主水流方向平行的、厚度大且延伸到盆地斜坡上的高品质地震剖面,以求可识别三到四级层序(0.1~5Ma)。在地震层序划分时,以地震剖面上特殊的反射终止类型(顶超、削截、上超及部分下超等)识别不整合面作为划分层序的主要依据,并兼顾内部总体反射特征<sup>[5]</sup>。

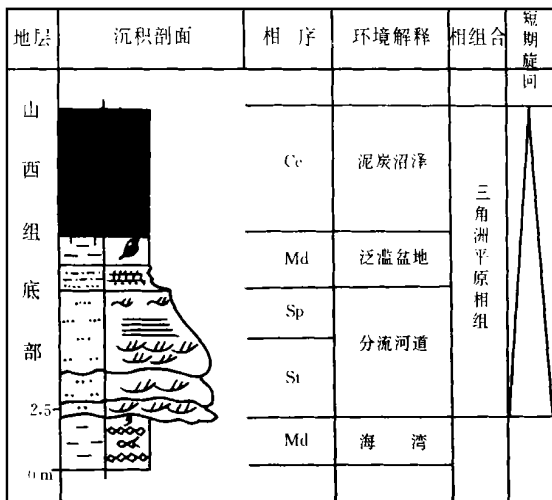


图 1 淮南刘庄(104 孔)三角洲体系中的短期旋回  
Cc 为炭质泥岩及煤层;Md 为暗色泥页岩相;

Sp 为板状交错层理砂岩相;St 为槽状交错层理砂岩相

Fig. 1 Short-term cycles in the delta system of Lianzhuang, Huainan (well 104)

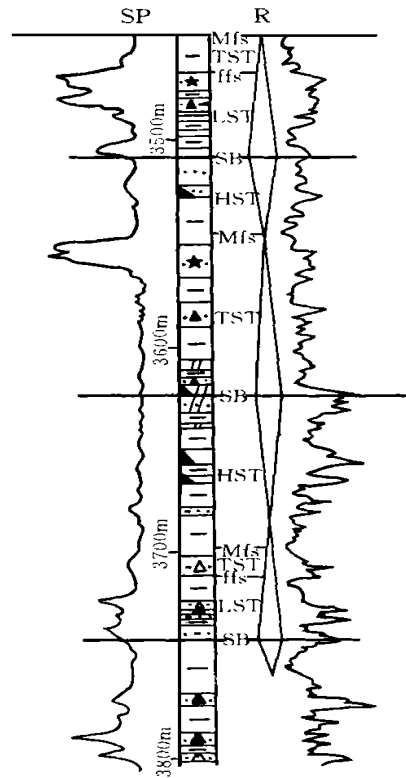


图 2 黄骅 GS28 井测井曲线上体系域及其边界的识别  
SB 为层序边界;ffS 为首次洪泛面;Mfs 为最大洪泛面;GST 为高水位体系域;TST 为水进体系域;LST 为低水位体系域

Fig. 2 Identification of system tracts and their boundaries from the well log of well GS-28, Huanghua

(4) 根据露头、岩心、测井和地震剖面识别的基准面旋回要相互验证<sup>[6]</sup>,较低级次的测井旋回的识别必须在露头、岩心标定的基础上进行,地震不整合面和其它界面要标定到钻井中去验证,地震旋回边界的识别也要以连井剖面上测井旋回划分为基础。

## 5 实例研究

根据层序地层学基本原理,采用上面讨论的实际工作方法,我们对华北石炭-二叠系沉积盆地的地层进行了研究。华北石炭-二叠系沉积盆地北以阴山褶皱带为界,南与秦领褶皱带相接,西和塔里木地台相邻,东至郟庐大断裂,是发育在克拉通基底上的巨型陆表海盆地。沉积以寒武、奥陶系为基底,上为三叠系所覆盖,总厚度达 800~1300m,自下而上地层依次有本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组。这是一套海陆交互的碎屑岩-碳酸盐岩含煤建造,为我国的重要产煤层系。其主

要沉积类型有滨岸体系、三角洲体系和河流体系, 并且陆相沉积在整个地层中占绝对优势。

华北石炭-二叠系沉积厚度大, 煤系地层发育, 有机质含量高, 储集砂体类型多样, 构造简单, 形成自生自储式气藏的形成条件, 是最有希望的油气远景区之一, 但是至今仍未有重大发现, 其主要原因有两条: 一是本区石炭-二叠系岩相古地理和岩石类型复杂, 未能充分了解储集体的空间几何特征及其变化; 二是本区砂体的成岩作用强度大, 导致砂体的储集性总体较差。针对这些问题, 我们运用高分辨率层序地层学的理论和方法, 进一步加强华北石炭-二叠系沉积古地理的研究。

高分辨率层序地层学的研究是通过各级基准面旋回(对应各级层序)的识别和对比建立高分辨率层序地层格架, 以最终达到预测的目的。依据一维的钻井取心或露头资料识别基准面的旋回是高分辨率层

序划分和对比的基础。我们根据能够反映基准面升降的相类型、相序、相组合等的分析, 识别出任丘葛 2 井河流体系中的 5 个短期基准面旋回(图 3)。在此基础上, 根据相分异、体积划分原理和堆积样式的分析, 识别出较高级次的旋回(如图 3 中的两个中期旋回和 1 个长期旋回)。采用同样的方法, 在工区内各地分别进行基准面旋回的识别与划分(图 4), 尔后以中期旋回(或长期旋回)进行区域性地层对比, 建立高分辨率的层系格架, 为油气预测和有利区带的划分打下坚实的基础。

根据这一原理和思路, 我们作了一条从大同经太原、长治、峰峰、禹州、周口、淮北至淮南的上古生界高分辨率层序地层格架大剖面。这种对比通过基准面升降的分析, 强调了地层沉积过程响应的动力学机制和背景, 较以往的岩性地层对比更富有沉积学的意义, 因此获得了高度的评价。

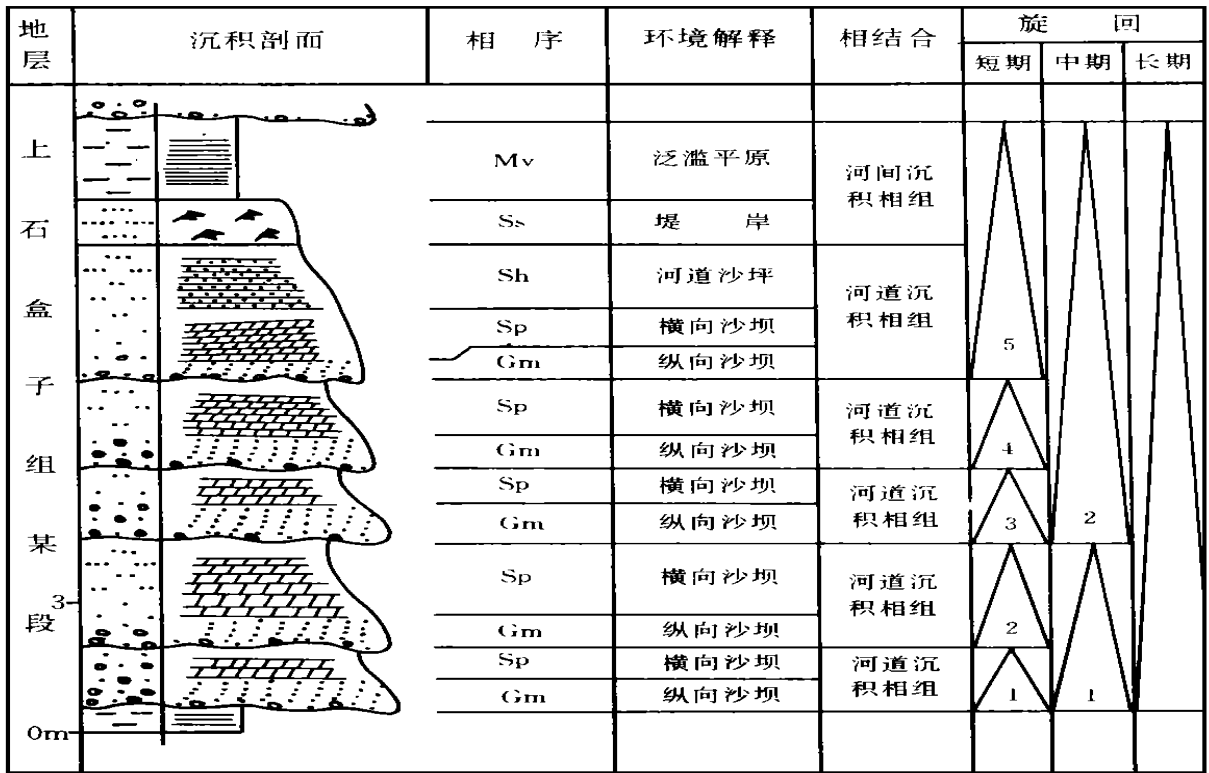


图 3 任丘葛 2 井较低可容纳条件下河流体系的旋回特征

Mv 为红色及杂色泥岩相; Ss 为灰色及灰绿色泥质粉砂岩相; Sh 为平行层理细砂岩相; Sp 为板状交错层理砂岩相; Gm 为块状砂质砾岩相

Fig 3 Cyclic characteristics of the river system under lower accommodating conditions in well Ge-2, Renqiu

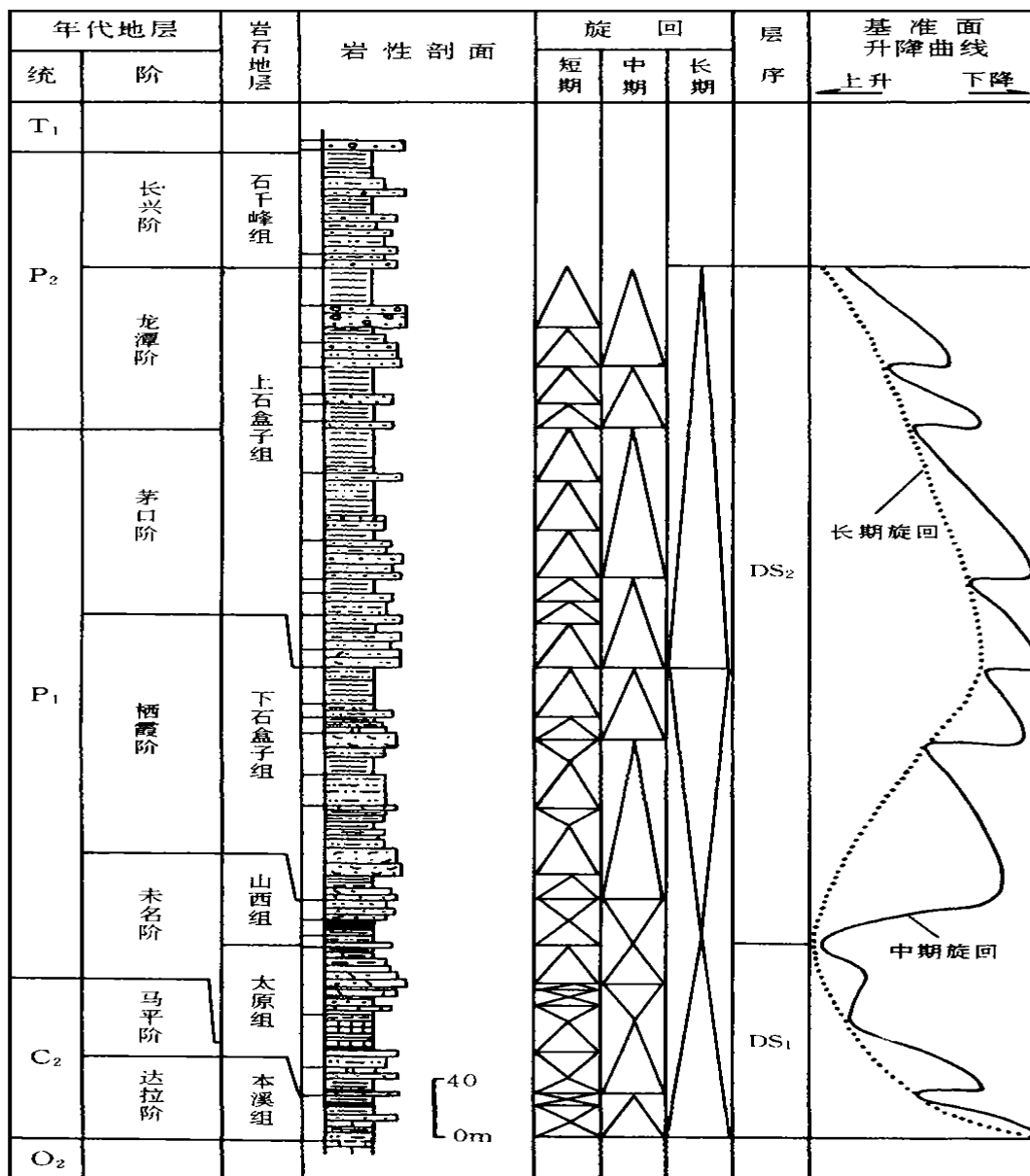


图4 华北上古生界基准面旋回划分  
(以太原西山剖面为例)

Fig 4 Cycle division of the Upper Paleozoic base level in North China

参 考 文 献

- 1 C K 威尔格斯 徐怀大等译 层序地层学原理(海平面变化综合分析). 北京:石油工业出版社, 1993
- 2 魏魁生等 非海相层序地层学——以松辽盆地为例 北京:地质出版社, 1996
- 3 徐怀大等 从地震地层学到层序地层学 北京:石油工业出版社, 1997
- 4 池柳英等 陆相断陷盆地层序成因初探 石油学报, 1996 (3): 19~ 25
- 5 樊太亮等 新疆塔里木盆地北部应用层序地层学 北京:地质出版社, 1977
- 6 邓宏文 美国层序地层学研究中的新学派——高分辨率层序地层学 石油与天然气地质 1995 16(2): 89~ 97
- 7 Galloway W E Genetic stratigraphic sequence in basin analysis I architecture and genesis of flooding surface bounded depositional unit AA PG B ulletin, 1989, 73(2): 135~ 142
- 8 H. W. Posamentier et al Eustatic controls on clastic de-

- position: Conceptual framework *SEPM Special Publication* 1988, (42): 109~ 124
- 9 Van Wagoner J C et al Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores and Outcrops: Concepts for high resolution correlation of time and facies *AAPG Methods in Exploration Series*, 1990
- 10 H. W. Posamentier et al Sequence stratigraphy and Facies Associations 1996

## DISCUSSION ON SOME QUESTIONS IN THE APPLICATION OF CONTINENTAL SEQUENCE STRATIGRAPHY

YOU Jun ZHENG Junmao WANG Defa

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

### Abstract

Sequence Stratigraphy presents a concept of isochronostratigraphic correlation, that is, stratigraphic correlation under an isochronous framework. This makes stratigraphic correlation have more practical geological meanings. With the introduction of Sequence Stratigraphy into the study of continental sedimentary basins, some controversial questions arose in our country. Aimed at promoting the development of continental Sequence Stratigraphy in China, this paper gives a helpful discussion on the adaptability of Sequence Stratigraphy theory in the study of continental sedimentary basins, the genesis of continental sequences, the specific methods of research etc.

**Key words:** Sequence Stratigraphy; continental sedimentary basins; isochronostratigraphic correlation; sequences