

滇东寒武系磷矿成因新见解

——风暴成矿模式初探

牟传龙

(成都地质矿产研究所)

近年来,随着风暴流和风暴岩的新理论、新概念的不断引入,在分析沉积环境、沉积成矿作用时,不断提出了许多新思路,也不断地冲击和修正以往的传统认识,作者于 1986 年随同成都地矿所寒武系磷矿专题组^①对滇东一带包括昆阳梅树村、海口、鸣矣河、晋宁王家湾、二街、八街、安宁白登、江川清水沟、宜良大滴水、寻甸先锋等矿区的磷矿进行了详细的研究,在下寒武统中谊村段及其相当的地层中发现了多层磷质风暴沉积物。本文拟概略介绍磷质风暴沉积物的标志、特征、剖面结构并初步探讨磷矿富集与风暴事件关系的沉积演化模式。

一、地质背景

扬子地台所发育的震旦系是晋宁运动后的第一个盖层,在滇东一带,与其上的寒武系为连续沉积。相当于震旦系顶部沉积的白岩哨段为一巨厚的砂质白云岩,其下部具平行层理,向上变为低角度交错层理到高角度的多向性交错层理,反映了台地边缘浅滩化,使沉积基底成为一系列不对称斜坡的浅滩。早寒武世早期继承了这一古地理面貌,小歪头山段仍然发育了一套浅滩化序列的沉积。早寒武统下段即中谊村段为一层磷块岩地层,具有明显的风暴作用特点。

滇东下寒武系含磷岩系,特别是其底部中谊村段及其相当地层为一厚 11—50 余米的含磷岩系,通常为上、下两层磷矿层。磷块岩的岩石组构都以杂基支撑为主,很少反映有高能条件的颗粒支撑结构。底部正粒序层理非常发育,同时具有由风暴作用形成的掏蚀现象包括袋模和渠模构造。底部沉积的滞留砾石,其成分包括黑色胶磷矿、基底白云岩、小壳动物化石残体以及少量的陆源碎屑。剖面上段,发现有识别风暴事件的特征构造——丘状交错层理和完整的风暴沉积剖面序列。

^① 参加该次野外工作的有许效松、罗安屏、康承林等同志

二、含磷风暴沉积特征和标志

根据 J·R·L·Allen 等人的研究,一次完整的风暴事件可分成风暴期前、风暴增长期、风暴高峰期、风暴衰减期和风暴期后等五个阶段,在各个不同的发展阶段中,分别出现不同的沉积特征和沉积构造。

滇东下寒武统中谊村段所发现的磷质风暴沉积物是由硅质白云质磷块岩、硅质磷块岩、白云质磷块岩组成,具有一次风暴事件和风暴发展的各个阶段所表现的沉积特征。

1. 突变的底界和冲刷充填构造

风暴沉积物的底面特征是认识风暴事件的重要标志。它是在风暴增长期和风暴高峰期高流态条件下的产物,是对风暴期前沉积物进行强烈的侵蚀冲刷、掏蚀所形成的底面形态特征。滇东下寒武统中谊村段含磷质风暴沉积物的底界呈袋状、槽状、波状和微波状,并有小的冲刷掏蚀作用形成的渠模。其上为具正粒序层理的滞留砾石沉积,砾石成分有基底白云岩、黑色胶磷矿、小壳化石残体等。砾径大小不等,一般小于 1cm。

2. 粒序层

本区的风暴沉积物多具正粒序层理,亦见逆粒序层理。按颗粒的成分和粒序层理的结构,本区粒序层有四种:

(1)由磷质颗粒组成的粒序层:以砂屑,团粒和假鲕状的磷块岩为主,磷质交代的介壳和小壳动物残体以及少量白云岩砂屑组成。

(2)条带状的粒序层:磷质颗粒集中成条带悬浮在基质中,砾石集中在中心,向上、向下变稀,变疏而呈正、逆粒序。

(3)韵律性粒序层:为具粒序的薄层磷块岩与具粒序的白云岩组成韵律互层。

(4)显微正粒序层:为细粒的胶磷矿和白云岩或含磷白云岩组成。

上述粒序层是在风暴高峰期后的衰减过程中,具粘性的磷质风暴密度流在涡流支撑力减弱时,由于重力作用和流体的剪切力作用的相对差异形成的。当重力作用大于剪切力时,形成正粒序,反之,为逆粒序。

3. 丘状交错层理

丘状交错层理是辨别风暴沉积最特征的沉积构造。它在下寒武统中谊村段磷质风暴沉积物中广泛分布,由细粒或硅质粒泥岩,含磷白云岩组成,可分为三种类型:

(1)简单式(图 1):为单个丘状交层理,层系厚 5—10cm,丘高 1—2cm,丘距 20—30cm,丘状交错层理下部由平行层纹组成,向上逐渐发散呈圆丘状,向两侧逐渐收敛,表面呈多向性的波状起伏,底面为侵蚀面。

(2)叠加式(图 2):此种类型的丘状交错层理以晋宁王家湾磷矿区分布最为广泛,它是由多个丘状交错层理的重叠组成等曲率波状起伏的层系组,厚数十厘米至 1m 左右,丘距由数十厘米至 2m,多出现在含磷岩系的中部和富磷矿层的下部。

(3)复合式(图 3):此种类型与叠加式具相似的特点,但每一个层系之间具有冲刷和切割的复合现象,有时显粒序,层系间尚有滞留砾石沉积。

4. 生物遗迹

中谊村段及相当地层中具有大量生物遗迹,包括二分沟迹、凹槽迹、线形迹等(图 4)。它们

是生物于风暴期后,在晴天期的正常沉积物中活动的结果。

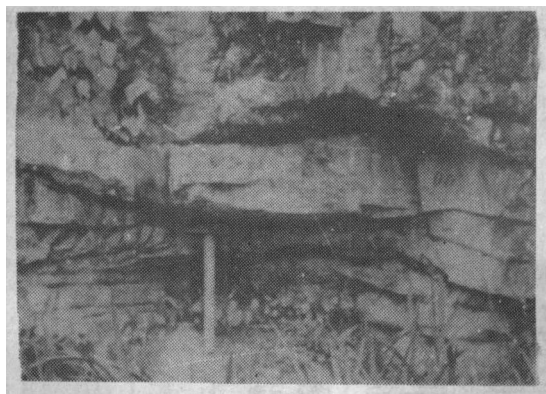


图 1 丘状交错层理、云南宜良大滴水
Fig. 1. Single hummocky cross stratification.
Dadishui, Yiliang, Yunnan.



图 2 叠加式丘状交错层。云南晋宁王家湾
Fig. 2. Superimposed hummocky cross stratification.
Wangjiawan, Jinning, Yunnan.



图 3 复合式丘状交错层理。云南宜良大滴水
Fig. 3. Amalgamated hummocky cross stratification.
Dadishui, Yiliang, Yunnan.

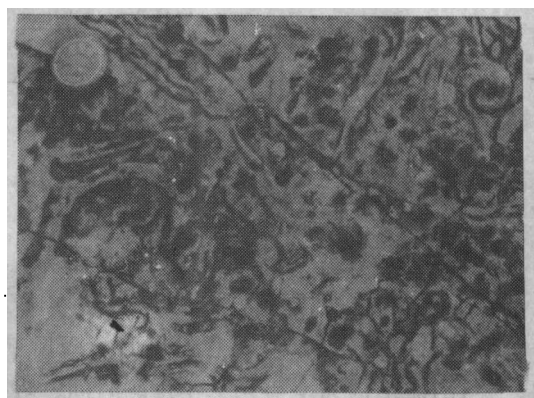


图 4 生物遗迹构造。云南昆明昆阳
Fig. 4. Trace fossils. Kunyang,
Kunming, Yunnan.

三、磷质风暴沉积物的剖面结构类型

风暴沉积物层序记录和保存了一次风暴事件中各个阶段的沉积特征。完整的风暴沉积物剖面序列由以下六个层段组成;A,粒序层段:具突变的底界和冲刷充填构造;B,平行层段;C,丘状交错层理;D,沙纹层段;E,水平层纹段;F,泥质层段。滇东下寒武统磷质风暴沉积物与完整的风暴岩层序相比,可划分出七种不同的剖面结构,如图5所示。它们不仅分布于不同的地区,如I、Ⅶ两种类型多出现于滇池以西或西南的昆阳梅树村、海口、鸣矣河等地,而且它们具有不同的特征。

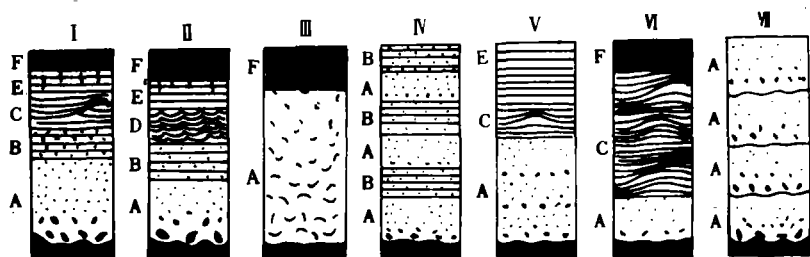


图5 下寒武统磷质风暴沉积物剖面结构类型

A 粒序层;B 平行层理;C 丘状交错层理;D 沙纹层段;E 水平层纹段;F 泥质层理

Fig. 5. Vertical sections through the Lower

Cambrian phosphatic storm deposits.

A=graded bed; B=parallel lamination; C=hummocky cross stratification;

D=ripple bed; E=horizontal lamination; F=mud bed.

类型I、Ⅱ发育比较完整、底界都呈袋状、槽状,剖面厚度较大。

类型V、Ⅶ发育不太完整,其底面呈波状、微波状或平坦状,而且以丘状交错层理发育为特征。

类型Ⅳ缺失丘状交错层段及上部沙纹段。只发育A、B段。

类型Ⅲ、Ⅶ发育极不完整,只见A段和晴天期正常沉积的F段。

这些特点的不同,反映它们当时所受风暴作用强度是不同的。J·R·L·Allen(1982)认为:不同剖面结构类型与风暴作用的时间、风速、水深及距离陆地远近有关(如图6所示)。

从图6可以看出,当风暴加大时,风暴岩剖面 and 粒序层段加厚,序列中的平行层段及丘状交错层段(沙纹层段)也加厚,当风暴持续时间延长时,也会发生风暴岩剖面加厚;当水深加大,离陆地距离增加时,风暴序列及粒序层段厚度减小,而以沙纹层段为主。结合本区所出现的剖面结构类型,说明I、Ⅱ两种形成时的风暴作用强,而且风暴持续时间长;类型V、Ⅶ形成时的风暴作用较强,而且风暴持续时间也较长;类型Ⅳ、Ⅲ、Ⅶ代表风暴对底部沉积物的改造十分强烈、颗粒较粗、厚度薄、韵律性强,反映阵发性风暴作用时间虽短,但能量大,掏蚀力强,可能是

当时风暴中心之所在。所以滇东下寒武统风暴事件的中心区位于滇池以西或西南的昆阳梅树村、海口、鸣矣河一带。上述这一切诸多因素的影响,导致磷质风暴沉积物的总厚度较厚,其最厚的地区在滇池的西部或西南部,与当时风暴事件作用强和持续时间长的中心区是一致的。

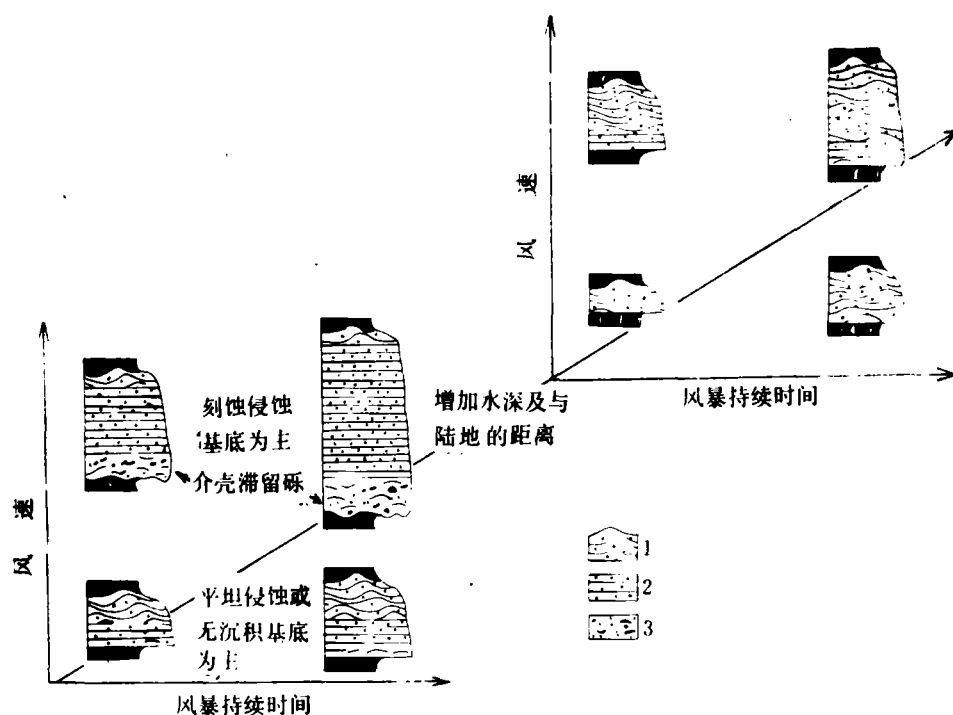


图 6 风暴砂层特征三维空间图,它与风暴持续时间、特征的风速,水深加大及离陆地距离有关(据 Allen 1982)

1. 波成沙纹交错纹层; 2. 平行纹层; 3. 具壳和泥岩碎屑

Fig. 6. Three dimensional graph showing the characteristic of storm sand layers as a function of stoum duration, mind speed, water depth and the distance from land (after Allen, 1982).

1=wave ripple and cross-lamination; 2=parallel lamination; 3=shells and mudstone fragments.

四、磷质风暴沉积物的 P_2O_5 含量变化规律

富磷块岩,主要指 P_2O_5 含量大于 28% 以上的原生沉积磷块岩。按矿区平均含量计算, $P_2O_5 > 28\%$ 的富矿区有金沙厂、大海、摆宰、昆阳观音山、昆阳等矿区。 P_2O_5 含量在纵向上的变化,各矿区有很大的差别,主要有以下几种变化规律:

1. P_2O_5 含量在矿层的下部低,上部高

(1) 金沙厂矿区, P_2O_5 含量为 10.04—34.14%, 矿层下部 P_2O_5 含量均在 28% 以上,而上部均 32.59% 以上。

(2) 大海矿区, P_2O_5 含量 15.55—36.04%。从矿层中部以上, P_2O_5 含量均大于 28.24%, 含

量达 36.04% 的矿层厚约 3.5m。

(3)王家湾、澄江东山矿区, P_2O_5 含量大于 28% 的矿层均位于含磷岩系的上部或近顶部, 厚达 4.8m。

2. P_2O_5 的低含量与高含量层交互出现, 富矿层产在顶部

(1)羊场矿区, P_2O_5 含量 8.95—34.15%, 从下至上, 由低含量与高含量层交互产出, 顶部磷矿层 P_2O_5 含量达 29.23% 以上。

(2)摆宰矿区, P_2O_5 含量 13.52—34.9%, 从矿层底部开始由低品位到高品位交替产出, 上部品位则较稳定, 变化范围 29.92—34.9% 之间。

(3)昆阳矿区, P_2O_5 含量 21.78—35.76%, 剖面中 P_2O_5 含量, 由低到高相间产出, 但仍是下矿层较上矿层贫。

上述表明, 滇东下寒武统磷矿层(磷质风暴沉积物) P_2O_5 含量的变化具有纵向方面变化, 往往是下部低, 上部高, 富矿层位于上部或顶部的普遍规律。结合野外实际资料, 这种规律是风暴作用的强弱不同导致的。

五、风暴事件与磷矿的关系

由风暴形成的具涡流性质的底流搅起海底沉积物。向岸搬运, 然后通过回流形成向海方向的密度流, 冲刷和改造原地沉积物, 具有搬运, 搅动颗粒的能力。在风暴高峰期或开始衰减期, 由于快速堆积, 分选差, 粗屑及杂质呈杂基支撑特点, 从而一般 P_2O_5 含量偏低, 品位不高, 随着风暴密度流不断迁移, 它的密度变得愈来愈低, 牵引性质急剧增强, 从而对颗粒具有很强的簸选能力。在风暴衰减后期, 由于颗粒沉降速度慢, 磷质颗粒经充分的水动力分选, 杂质少, 因而在此阶段沉积的磷矿的 P_2O_5 含量较高, 这与本区的磷质风暴沉积物的 P_2O_5 含量变规律是一致的。在昆阳梅树村、海口、鸣矣河一带, 是当时风暴活动的中, 据不完全统计, 昆阳梅树村剖面中突变的底界或侵蚀形成的波状、袋状、槽状冲刷面高达 20 多层, 说明当时这一带风暴作用是相当频繁的。结合野外实际的剖面结构类型, 昆阳梅树村、鸣矣河一带, 磷矿层是风暴高峰期和风暴衰减期或晴天期正常沉积交替的产物, 从而出现 P_2O_5 含量低高相间出现的规律, 风暴高峰期形成的磷质风暴沉积物, P_2O_5 含量较低, 风暴衰减期形成的磷质风暴沉积物, P_2O_5 含量较高。相反, 在晋宁王家湾磷矿区, 风暴作用不太频繁, 剖面中风暴高峰期或风暴增长期形成的层段较风暴衰减期或风暴衰减后期所堆积的磷矿层薄, 说明风暴衰减期或风暴衰减后期持续时间较长, 从而本区磷矿的 P_2O_5 含量 > 28% 均在上磷矿层或近顶部, 而下磷矿层品位较低。

综上所述, 滇东下寒武统中谊村段磷质风暴沉积物(磷矿层)具有纵向上, 下部位低, 上部高, 富磷矿层位于上部或顶部, 即富磷层段位于风暴衰减期或衰减后斯的普遍规律。这充分说明风暴事件的风暴前期对磷矿主要起改造, 搬运沉积作用, 后斯对磷矿起分选富集作用。风暴流为磷矿再富集的基本营力, 这就奠定了建立风暴事件与磷矿富集关系的沉积演化模式。

六、风暴事件与磷矿富集关系的沉积演化模式

滇东早寒武世沉积海域位于扬子地台的西南隅, 属川滇拗陷区南段。拗陷区大致呈南北向伸展, 东西两侧为康滇古陆与牛首山古陆夹峙, 导致本区沉积海域为半封闭型具陡坡的海湾。

根据剖面上所出现的凹槽迹、二分沟迹等遗迹化石表明,本区的沉积海域应为潮下环境。该时期的古地理控制含磷岩系的沉积与分布,而频繁的风暴作用则对磷矿层进行改造和再富集。结合本区的实际资料,初步提出如图 7 所示的风暴事件与磷矿富集关系的沉积演化模式。

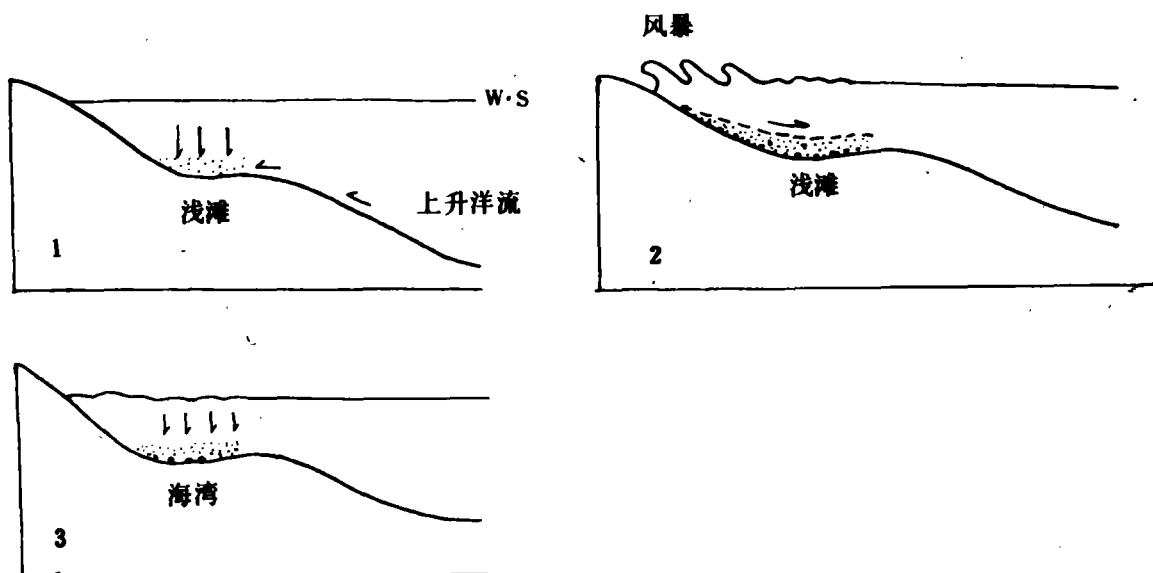


图 7 滇东下寒武统风暴事件与磷矿富集关系沉积演化模式

Fig. 7. Sedimentary model showing the relationship between Lower Cambrian phosphorite enrichment and storm events in eastern Yunnan.

磷矿富集沉积演化分为三个阶段:

(一)早寒武世早期,大规模的海侵,上升洋流带来大量的富磷海水,沿斜坡涌入在晚震旦世末期形成的一系列不对称的浅滩,在各种物理和化学作用下沉积了一套含磷岩系(如图 7—1 所示)

(二)随之而来的风暴作用,对早先沉积的磷矿(含磷岩系),进行强烈的掏蚀、冲刷,磷质沉积物被搅起,搬运形成密度流,并形成了大量的盆内屑(如图 7—2 所示)

(三)随着风暴密度流不断迁移,密度变得愈来愈低,对磷质颗粒的水力分选作用增强,当风力减弱,进入风暴衰减期或风暴衰减后期,磷质沉积物得到了强烈的簸选,从而于海湾堆积形成了闻名于世的滇东下寒武统中谊村段富磷矿层(如图 7—3 所示)。

文中第四部分的资料主要取自于戈宏儒《云南东部下寒武统磷块岩矿床地质特征及成矿条件》内部稿(云南地质科研所),在该文的编写过程中,主要参考成都地质矿产研究所寒武系磷矿专题组编的《中国扬子地台末前寒武纪风暴事件与磷矿沉积》一文(手稿),并得到了刘岫峰副教授、吴应林副研究员及沉丽娟老师的帮助,在此一并致谢。

主 要 参 考 文 献

J. R. L. Allen, 1982, *Sedimentary structures: their character and physical basis* (Volume 1), Elsevier scientific publishing Company.

A New Explanation for the Origin of Cambrian Phosphorites from Eastern Yunnan

Mou Chuanlong

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Many layers of typical phosphatic storm deposits have been recognized in Cambrian phosphorus-bearing successions, especially in the phosphorite beds of the Zhongyicun Member, eastern Yunnan, where storm events are of wide-spread occurrence.

Typical phosphatic storm deposits are composed of siliceous phosphorite, dolomitic phosphorite and siliceous-dolomitic phosphorite in which abundant sedimentary structures formed in different stages of storm activity are present. (1) Sharp basal boundary and basal surface structures such as gutter casts, pocket structures and gravel lag; (2) graded beds consisting of phosphorus material, dolomite and shell fragments; (3) ripple cross-lamination; (4) hummocky cross stratification of three types: single, super-imposed and amalgamated; (5) parallel lamination. In addition, the trace fossils formed in the post storm stage, such as *Dalmanites*, *Caraulichnus* and *Gordia* were also found on the top of the deposits.

In comparison with the typical tempestite sequences, the sequences of phosphatic storm deposits in the area may be divided into seven types which occur in distinctive regions and reveal the differences of storm deposition and the degrees of phosphorite enrichment. The analysis shows that storm activities were concentrated in present-day Kunyang and Haikou, where the phosphorite deposits are world-famous, and that the phosphorite-rich beds there were formed during the decline phase of storms.

The early-accumulated phosphatic deposits were reworked and transported by storm wave and storm current processes into sub-tidal bays where they were deposited. Where storm waves or storm currents combined with upwelling currents, phosphorite-rich zones and commercial phosphorite deposits were formed. As a consequence, a sedimentary model showing the relationship between phosphorite enrichment and storm events has been proposed.

Three stages for phosphorite enrichment may be distinguished:

Stage 1 (i. e. the early Early Cambrian): The phosphorus-rich upwelling current upsurged along the slopes onto the shoals built up during late Early Sinian, thus resulting in a suite of phosphorus-bearing successions.

Stage 2: When the storms occurred, the early-deposited phosphorus-bearing successions were reworked and transported by storm wave processes. At the same time, abundant intraclasts were formed.

Stage 3: As storm currents continued to migrate seawards, the phosphatic deposits were winnowed and deposited to form commercial phosphorite deposits within sub-tidal bays during storm decline.