

М. РУБЕЛЬ, Д. ПАК

ВРЕМЕННЫЕ ПОРЯДКИ ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

В обсуждениях последних лет по использованию понятия времени в геологии поднят вопрос о возможности установления временного порядка событий прошлого вообще. Указано, что это сопряжено со значительными трудностями, в частности при логическом выведении временной последовательности палеонтологических или любых геологических событий (Забродин, 1979, 1982). В целях показа путей преодоления таких трудностей рассматриваются некоторые решения, принятые в работах по количественной стратиграфической корреляции с использованием ископаемых организмов.

Из-за фундаментальности понятий «пространство» и «время» во многих задачах физики возникают действительно значительные трудности при сопоставлении разобщенных наблюдений (Мостепаненко, 1975). В геологии такое сопоставление известно как стратиграфическая корреляция, в теоретических построениях которой почти общепринято рассматривать пространство как трехмерное и время как одномерное евклидово пространство, т. е. раздельно. Это потому, что в стратиграфических построениях нет особой надобности учитывать ничтожные эффекты, получаемые заменой преобразований Галилея преобразованиями Лоренца (Забродин, 1982, с. 158), и можно спокойно допустить, что «в качестве метрики времени можно взять метрику одномерного евклидова пространства» (Усманов, 1982, с. 321). Если принять эту точку зрения, многие проблемы упростятся. Так, согласно евклидовой геометрии, ось времени одномерна, непрерывна и метризуема на равные интервалы, т. е. она удовлетворяет всем необходимым условиям, чтобы быть интервальной шкалой (Krumbein, Graybill, 1965). Иными словами, по концептуальному (абсолютному) времени можно без трудностей установить последовательность (порядок), одновременность и длительность всех однозначно определенных событий.

Введенные на основе евклидовой геометрии теоретические объекты и отношения, однако, представляют собой лишь математическую модель, воспроизводящую подходящим образом природные ситуации. Правда соответствия, которые связывают интересующие нас объекты и отношения с определенными математическими объектами и отношениями, рассматривались нами раньше в качестве теории стратиграфической корреляции (Пак, 1984; Rubel, Pak, 1984). Исходя из рассматриваемых в этих работах положений, решим вопрос о возможностях установления временных порядков палеонтологических событий.

Пространственные и временные порядки. Последовательность седиментационных слоев (Schwarzacher, 1975) назовем стратиграфической, если ее направление совпадает с направлением действия силы тяжести (Verhoogen и др., 1970). В целях упрощения дальнейшего рассмотрения потребуем, чтобы все исследуемые разрезы были заданы в виде стратиграфических последовательностей, т. е. в виде одномерных пространств, элементы каждого из которых упорядочиваются отношением «выше». По заданным таким образом пространственным порядкам

словес можно дефинировать и их временные порядки так: то, что в данном разрезе находится выше, то и называется поздним. Последнее определение временных отношений известно в стратиграфии как принцип последовательного напластования. Однако, если рассматривать упорядоченные так слои одного разреза как точечные геологические события, то их порядковые номера определяют линейно упорядоченные моменты времени, но по каждому разрезу отдельно. Поэтому отношения «позже» и «одновременно» непосредственно применимы только для геологических событий, установленных в одном и том же разрезе, т. е. только для одноместных событий.

Решаемость стратиграфической корреляции. Если поставить целью стратиграфической корреляции установление временных отношений между слоями различных разрезов (между разноместными событиями), то в принципе это осуществимо с помощью любого линейно упорядоченного (во времени) множества, между элементами которого и слоями всех коррелируемых разрезов можно установить соответствие. Установление требуемого соответствия реализуемо легче всего в том случае, когда элементы для применяемого множества выбраны среди общих для всех коррелируемых разрезов событий. Если выбранные события фиксируются каким-то образом в разрезах и, следовательно, применимы при реальных стратиграфических корреляциях, то линейно упорядоченное множество их называем операциональной шкалой времени. С помощью последней стратиграфическая корреляция — вполне решаемая задача и зависит только от природы примененных событий.

Свойства операциональных шкал. Общими для коррелируемых разрезов событиями могут служить состояния глобально действующих процессов (например, период полураспада радиоактивных элементов) и, конечно, любые внутренне упорядоченные события (сезонные изменения, суточные явления, таксоны организмов достаточно широкого распространения и т. д.). Все построенные по различным природным явлениям шкалы времени формально независимы, но взаимосопоставимы путем установления соответствия между их элементами. Если две операциональные шкалы при этом противоречивы (в смысле установления обратной последовательности каких-либо событий при датировке разрезов с помощью различных шкал), то в общем случае нет критериев, кроме эмпирических, для опровержения одной из них. Например, изотопические датировки проверяются палеонтологическими только лишь потому, что последние принято считать более обоснованными.

По своей природе все операциональные шкалы времени — порядковые (относительные), так как основные требования, превращающие их в интервальные (непрерывность и метризуемость на равные интервалы), выводимы только на эмпирической основе. Например, требования непрерывности в смысле мощности континуума (охвачены все возможные события) вряд ли можно выполнить по большинству палеонтологических событий вообще, а равные расстояния между последовательными событиями палеонтологических шкал времени можно лишь постулировать.

Одновременность. В общем, допущения, принятые для превращения тех или других операциональных шкал в интервальные, определяют применимость отношения «одновременно». Поэтому отношение «одновременно», в зависимости от числа допущений, может быть установлено либо только концептуально, либо по некоторым операциональным шкалам, близким по своей природе абсолютному времени, либо, при желании, по всем возможным шкалам, но тогда уже явно за счет точности выводов. Так, к интервальным шкалам ведет континуумизация — введение метрики топологического пространства с предельным

количеством точек (Усманов, 1982, с. 340) или просто постулирование любых шкал таковыми (Косыгин и др., 1974). В связи с последним следует отметить, что гомотаксис (Мейен, 1982) — это расширенный вариант определения временных отношений по двум событиям (Косыгин и др., 1974).

Биологические события и шкала времени. От событий как элементарных единиц операциональных шкал времени требуется одно: они должны быть точечными, чтобы стать линейно упорядоченными во времени. Если допустить, что все организмы поддаются разбиению на однозначно определимые таксоны (классы эквивалентности), то конечные точки распространения каждого таксона во времени (абсолютном) определяют два точечных события: возникновение и вымирание. Если предположить, что никакое возникновение и вымирание не может быть одновременным (Shaw, 1964; Hay, 1972), то число таких точечных событий равно $2n - m + 1$, где n — число всех таксонов, m — число ныне живущих таксонов. Линейно упорядоченное множество из возникновений и вымираний служит математической моделью биологической шкалы времени, часто применяемой в вероятностной стратиграфии (например, Agterberg, Nel, 1982). Но существует и другая т.н. детерминистическая модель (Harper, 1981), где основой упорядочения таксонов служат замкнутые интервалы, определяемые возникновением и вымиранием, т.е. полные интервалы существования таксонов. Два полных интервала существования могут быть либо пересекающимися, либо полностью последовательными (непересекающимися) во времени. Согласно этому отношения между всеми парами таксонов определяются также следующими отношениями: «пересекающиеся», «позже» или «раньше». Эти отношения определяют лишь частично упорядоченное множество, так как непосредственно следующие друг за другом однотипные биологические события (возникновение или вымирание) не имеют здесь значения. Однако можно показать, что определенная последовательность разнотипных биологических событий (за вымиранием следует возникновение) дает поддающееся линейному упорядочению множество — т.н. событийную шкалу времени, причем без упомянутого выше предположения о несовпадении всех биологических событий. Событийная шкала явно менее детальна (почти в два раза), чем биологическая, но зато оцениваемое по ней абсолютное время менее растянуто при большом количестве относительно одновременных возникновений или вымираний.

Палеонтологические события и построение шкалы времени. По каждому разрезу можно наблюдать лишь точки появления и исчезновения таксонов, принятые здесь в качестве самостоятельных палеонтологических событий. В упомянутом выше вероятностном подходе в общем случае исчезновение и появление отождествляются с вымиранием и возникновением таксонов, т.е. их несовпадению во времени дается случайный характер. Тогда наиболее вероятная последовательность биологических событий выводима из соответствующих частот последовательностей палеонтологических событий: с увеличением числа разрезов (наблюдений) вероятность события «быть выше» будет приближаться к единице у четко удаленных во времени и к нулю у одновременных событий. Очевидно, вероятностная модель хорошо упорядочивает биологические события, если только причины, отклоняющие исчезновения и появления от вымираний и возникновений одинаковы для всех рассматриваемых таксонов. Однако как отмечал один из основоположников данного подхода, большинство групп ископаемых, видимо, не удовлетворяет требованиям распространения так, чтобы их можно было успешно использовать в предложенных очень тонких сопоставлениях

(Нау, 1972, с. 259). Отличение палеонтологических событий от биологических по детерминистической модели основывается на предположении, что отклонения первых от вторых во времени не случайны. Этот подход, как и вероятностный, основывается на хорошо известном факте существования таких разрезов, где наряду с пересекающимися местными интервалами распространения (Shaw, 1964) таксонов встречаются и последовательные (непересекающиеся), т. е. на факте существования их частично упорядоченного множества по отдельным разрезам. При этом неодинаковые последовательности, как и состав таксонов в предположительно одновозрастных разрезах, принимаются здесь не как ошибки в наблюдениях, а как доказательство влияния двух факторов на образование местных интервалов в каждом разрезе: фактора времени, определяющего замену таксонов во времени, и фактора среды, определяющего пространственное распространение таксонов. Последний фактор включает в себя влияние со стороны экологии, биогеографии и условий захоронения ископаемых. Разграничение этих факторов при образовании местных интервалов распространения таксонов по каждому разрезу заставляет предположить их одновременность в различных разрезах и говорить об определенном интервале времени, включающем все известные местные интервалы, — о тотальном интервале распространения таксонов (в смысле Shaw, 1964). Очевидно, что в условиях отсутствия переотложения ископаемых естественным пределом для тотальных интервалов служили бы полные интервалы существования таксонов. В условиях наличия переотложения тотальные интервалы могут быть и длиннее полных интервалов существования таксонов. Так или иначе, для установления тотальных интервалов нужна также соответствующая шкала времени. При детерминистическом подходе требуемая шкала конструируется из наблюдаемых в разрезах взаимоположений местных интервалов. Существуют по крайней мере три способа такого конструирования: 1) на основе наблюдаемых сосуществований между таксонами (Davaud, Guex, 1978; Dienes, 1981); 2) по выдержанным во всех коррелируемых разрезах непересекающимся местным интервалам (Салин, 1976); 3) аналогичный второму, но и с учетом данных по пересекающимся интервалам (Рубель, 1976). Оказывается, что по всем указанным способам местные интервалы не могут быть упорядочены в одну непротиворечивую систему. Причины возникновения противоречий при этом можно объяснить двумя обстоятельствами: а) не все нужные отношения между таксонами обнаружены при наблюдениях (недостаточность данных); б) искомые отношения между определенными таксонами вообще не фиксируемы в одномерном пространстве (Rubel, 1978). Последнее обстоятельство связано с таксонами пространственно ограниченного распространения, т. е. с таксонами, обычно не используемыми при стратиграфической корреляции. Тем самым их исключение из конструируемой палеонтологической шкалы не имеет существенного значения, если имеются таксоны достаточно широкого распространения. Весь опыт применения ископаемых организмов при стратиграфической корреляции показывает, что таксоны последнего типа встречаются не очень редко. Если это так, то и нет практических трудностей для логического выведения временных отношений между определенным числом ископаемых таксонов.

Временные отношения между разрезами. Как указано выше, любая палеонтологическая шкала времени — порядковая шкала. Поэтому несравнимость их отдельных частей или, по В. Ю. Забродину (1982, с. 167), «принципиально неустранимая неточность в исследовании прошлого» остается в силе без объяснений ее с помощью диаграмм Минковского. Темпы тех или других явлений (скорость) установимы только с помощью интервальных шкал. Таким же образом одновременность

разноместных событий установима только в абсолютном времени. Если принять концепцию абсолютного времени, одновременность событий устанавливается в пределах точности используемой операциональной шкалы времени. Использование событийной шкалы в этих целях означало бы, что одновременные точки должны оставаться между любым последовательным вымиранием и возникновением различных таксонов. Если такие таксоны имеются и в коррелируемых разрезах, то интервал, где расположены одновременные точки в каждом из таких разрезов, фиксируется точками исчезновения и появления этих таксонов. Интервалы между последними точками определяют погрешность установления одновременных точек в коррелируемых разрезах. Такая погрешность устанавливается в коррелируемых разрезах в зависимости от встречаемости и взаимоположений местных интервалов распространения соответствующих таксонов и, следовательно, она определяет количество возможных временных отношений между разрезами.

В итоге можно сказать, что, если выбраны подходящие математические модели, то порядковые палеонтологические шкалы времени логически выводимы из наблюдений и используются для установления одновременных точек в разрезах со свойственной им точностью.

ЛИТЕРАТУРА

- Забродин В. Ю.* Временные порядки. В кн.: Проблемы времени в геологии. ДНЦ АН СССР, Владивосток, 1979, 58—69.
- Забродин В. Ю.* Время-длительность и время-последовательность. — В кн.: Развитие учения о времени в геологии. Киев, 1982, 150—169.
- Мейен С. В.* Концепция гомотаксиса и ее значение в геохронологии. — В кн.: Развитие учения о времени в геологии. Киев, 1982, 88—99.
- Мостепаненко А. М.* Пространство-время и физическое познание. Москва, 1975.
- Косыгин Ю. А., Салин Ю. С., Соловьев В. А.* Философские проблемы геологического времени. — *Вопр. филос.*, 1974, № 2, 96—104.
- Рубель М. К.* Биологической конструкции времени в геологии. — *Изв. АН ЭССР. Хим. Геол.*, 1976, 25, 136—144.
- Салин Ю. С.* Математическая формулировка традиционных методов стратиграфической корреляции. — *Изв. АН СССР. Хим. Геол.*, 1976, 8, 85—92.
- Усманов Ф. А.* Аксиоматический подход к геохронологии. — В кн.: Развитие учения о времени в геологии. Киев, 1982, 318—360.
- Agterberg, F. P., Nel, L. D.* Algorithms for the ranking of stratigraphic events. — *Comp. and Geosci.*, 1982, 8, 69—90.
- Davaud, E., Guex, J.* Traitement analytique «manuel» et algorithmique des problèmes complexes des correlations biochronologiques. — *Eclogae geol. helv.*, 1978, 71, 581—610.
- Dienes, I.* The establishment of optimal time scales and their use. — *Acta geol. Acad. hung.*, 1981, 24, 395—412.
- Harper, Ch. W., Jr.* Inferring succession of fossils in time: the need for a quantitative and statistical approach. — *J. Paleontol.*, 1981, 55, 422—452.
- Hay, W. W.* Probabilistic stratigraphy. — *Eclogae geol. helv.*, 1972, 65, 255—266.
- Krumbein, W. C., Graybill, F. A.* An Introduction to Statistical Models in Geology. New York, 1965.
- Pak, D. N.* Mathematical model for the construction of composite standards from occurrences of fossil taxa. — *Comp. and Geoscience*, 1984, 10, 107—110.
- Rubel, M.* Principles of construction and use of biostratigraphical scales for correlation. — *Comp. and Geoscience*, 1978, 4, 243—246.
- Rubel, M., Pak, D. N.* Theory of stratigraphic correlation by means of ordinal scales. — *Comp. and Geoscience*, 1984, 10, 97—105.
- Shaw, A. B.* Time in Stratigraphy. New York, 1964.
- Schwarzacher, W.* Sedimentation Models and Quantitative Stratigraphy. Developments in Sedimentology, 19. Elsevier, Amsterdam, 1975.
- Verhoogen, J., Turner, F. J., Weiss, L. E., Warrhaftig, C., Fyfe, W. S.* The Earth. An Introduction to Physical Geology. New York, 1970.

Институт геологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
17/XI 1983

Таджикский государственный университет

PALEONTOOLOGILISTE SÜNDMUSTE AJALINE JÄRJESTUS

Artiklis on vaadeldud kvantitatiivses stratigraafilises korrelatsioonis väljapakutud teid põhimõttelist laadi raskuste ületamiseks paleontoloogiliste sündmuste ajalisel järjestamisel. Lähtudes Eukleidese geomeetriast aja ja ruumi modelleerimisel, on lähemalt iseloomustatud suhtelise ajaskaala konstrueerimist vaatlusandmeist ja tema kasutamist läbilõigete dateerimisel.

TEMPORAL RELATIONSHIPS BETWEEN PALAEONTOLOGICAL EVENTS

The ways are considered how to find solutions for some principal problems in studies of temporal relationships between palaeontological events in different sections.