

Графическая корреляция

Проф. Е.Ю. Барабошкин (МГУ)



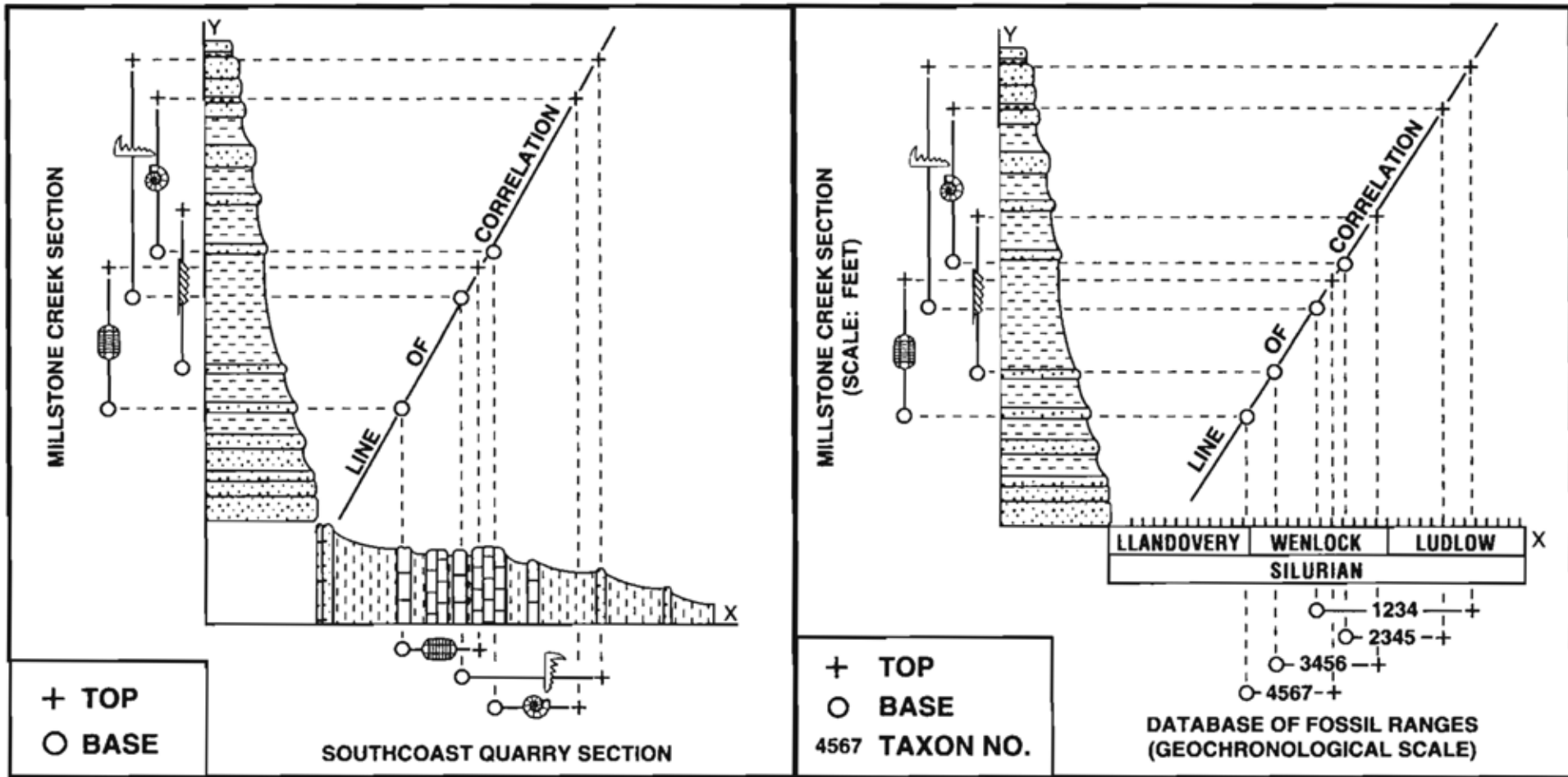
Литература

- Shaw A.B. 1964. Time in Stratigraphy: McGraw-Hill, New York, 365 p.
- Edwards L.E. 1984. Insights on why graphic correlation (Shaw's method) works. J. Geol. Vol. 92. P. 583–597.
- Edwards L.E. 1989. Supplemented graphic correlation: a powerful tool for paleontologists and nonpalaeontologists. Palaios. Vol. 4. P. 127–143.
- Miller F.X. 1977. The graphic correlation method in biostratigraphy. E.G.Kauffman, J.E.Hazel (Eds.). Concepts and Methods of Biostratigraphy. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, PA., p. 165-186.
- Mann K.O., Lane H.R. (Eds.). 1995. Graphic Correlation SEPM Special Publication, Vol. 53, 263 p.
- Амон Э.О., Алексеев А.С. 2018. Графическая корреляция и композитный по макрофауне разрез маастрихта (верхний мел) на севере Саратовского Поволжья. Бюл. МОИП. Отд. Геол., Т. 93, Вып. 1, с.10-20.

Метод графической корреляции

- Метод графической корреляции - графическое сопоставление разрезов для определения соотношений между ними и создания композитного стандартного разреза, на котором отображаются все события
- Это количественный, но не статистический или кладиственный метод определения одновозрастных соотношений между двумя и более разрезами посредством попарного сравнения любых стратиграфических признаков («событий»), в том числе таксонов фоссиллий
- Метод разработан американским геологом Аланом Шоу (Alan Bosworth Shaw)

Метод графической корреляции



Графическая корреляция может использоваться для сравнения двух стратиграфических разрезов слева и для сравнения одного стратиграфического разреза с базой данных справа (Carney, Pierce, 1995)

Термины

- **Композитный («сводный») разрез (composite section, CS)** – идеальный разрез, который содержит все стратиграфические корреляционные события и в котором отражены максимальные диапазоны таксонов на основе локальных разрезов
- **Стандартный опорный разрез (standard reference section, SRS)** – наиболее полный разрез
- **Линия корреляции (line of correlation, LOC)** – линия, проходящая через координаты всех изохронных точек
- **Корреляционные события (correlation events)** – любые стратиграфические события, которые используются для корреляции
- **Руководящие корреляционные события (principal correlative events)** – изохронные события, или события, имеющие наибольший стратиграфический «вес»
- **Стратиграфическая полнота стратона (stratigraphic completeness)**
- **Первое появление таксона (FAD – first appearance datum)**
- **Последнее присутствие таксона (LAD – last appearance datum)**
- **Эпизоды (episodes)** объединяют участки последовательности по какому-то признаку

Термины

- **Сегменты тренда, параллельные оси** (flat line segments) отражают hiatusы или конденсированный разрез
- **Наклонные сегменты тренда** (oblique line segments) представляют собой «хронологические последовательности» (chronosequences)
- **Локальный диапазон и локальная последовательность** — в конкретном измеренном разрезе или скважине
- **Виртуальный общий интервал** — промежуток времени между возникновением и исчезновением вида
- **Частичный диапазон** — не полностью известный интервал таксона в конкретном районе или в предварительном композитном разрезе
- **Правильная последовательность/порядок** — последовательность ископаемой подошвы и кровли относительно других таксонов или событий осадконакопления

Процедура

- Подошва стратона (любого) в разрезе принимается за руководящее корреляционное событие и начальную (нулевую) точку отсчета, от которой измеряются вверх (в метрах) остальные точки наблюдений
- Измеряется расстояние (distance) в метрах от нулевой до любой точки наблюдений (например, до FAD или LAD)
- Любому событию присваивается порядковый номер - код (code, code number)
- События откладываются вдоль для обоих разрезов и отмечаются а графике
- По вертикали откладываются события наиболее полного («опорного») разреза. В качестве стандартного опорного разреза (standard reference section, SRS) выбирается наиболее полный

Процедура

- На SRS откладываются события и интервалы распространения всех стратиграфических (в т.ч. биостратиграфических) признаков, измеряемые в расстояниях от нулевой точки
- Аналогичная операция производится с референтным разрезом (горизонтальная ось)
- Затем выбирается LOC.
- Точки горизонтального разреза проецируются на LOC, а затем вправо, где объединяются с данными вертикального разреза и образуют композитный разрез (composite section)
- Это положение базируется на постулате, что мощности стратиграфических подразделений и длительность их формирования связаны линейной зависимостью, а мощности биостратиграфических зон прямо пропорциональны их длительности

Выбор ЛОС

- Самый сложный шаг — **выбор ЛОС**
- **ЛОС** представляет собой координаты всех изохронных точек данных в обоих разрезах
- Хотя это называется «линией», на самом деле она может состоять из нескольких линейных сегментов. Они должны иметь либо положительный наклон, либо быть вертикальными, поскольку время движется в положительном направлении
- Биостратиграф **должен** определить наилучшее положение **ЛОС** с помощью массива точек. Знание ископаемых и их экологических ограничений, последовательности появления и стратиграфических отношений **должно** играть роль в интерпретации

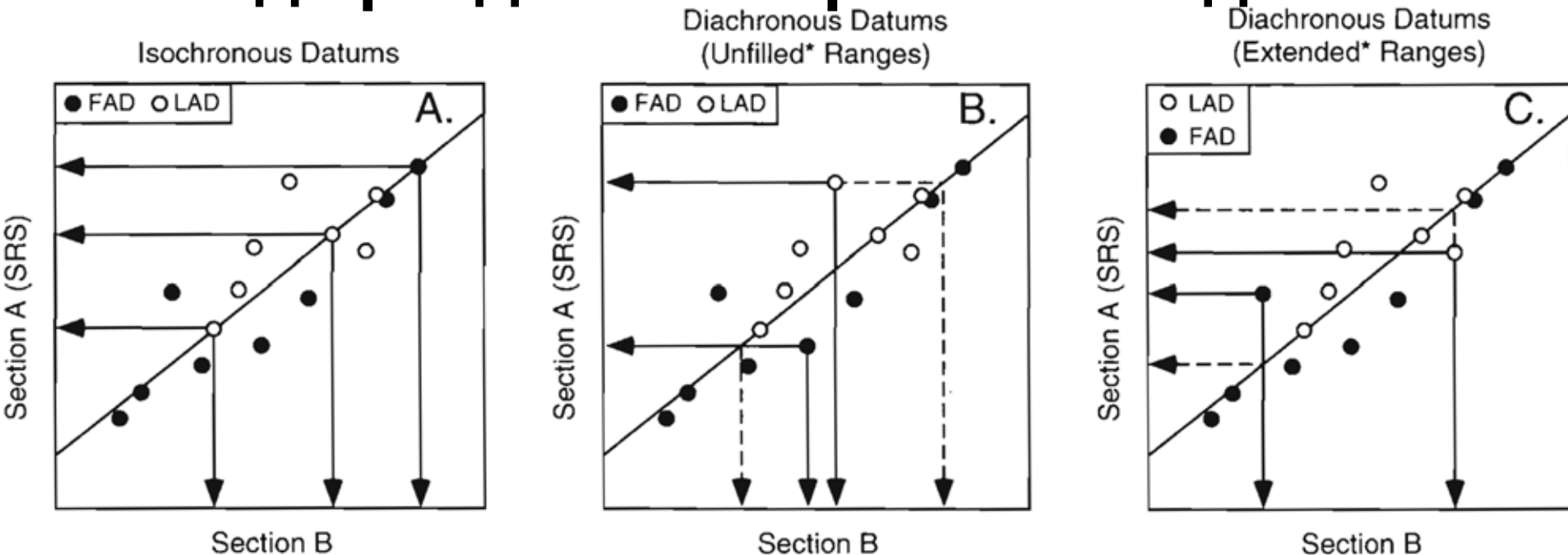
Выбор LOC

- (1) Некоторые точки на графике более точно фиксируют время, чем другие. Например, слой вулканического пепла. LOC должен проходить через эту точку. Биостратиграф будет делать выбор вместо точек, основанных на редких или спорадических появлениях, в пользу точек, основанных на хорошо представленных таксонах
- (2) Биостратиграфические последствия событий первого и последнего присутствия различны. Они рассматриваются по-разному, и эти различия помогают в позиционировании LOC
- (3) Седиментологические детали (литологические изменения, поверхности) могут дать представление или ограничить положение LOC

Выбор LOC

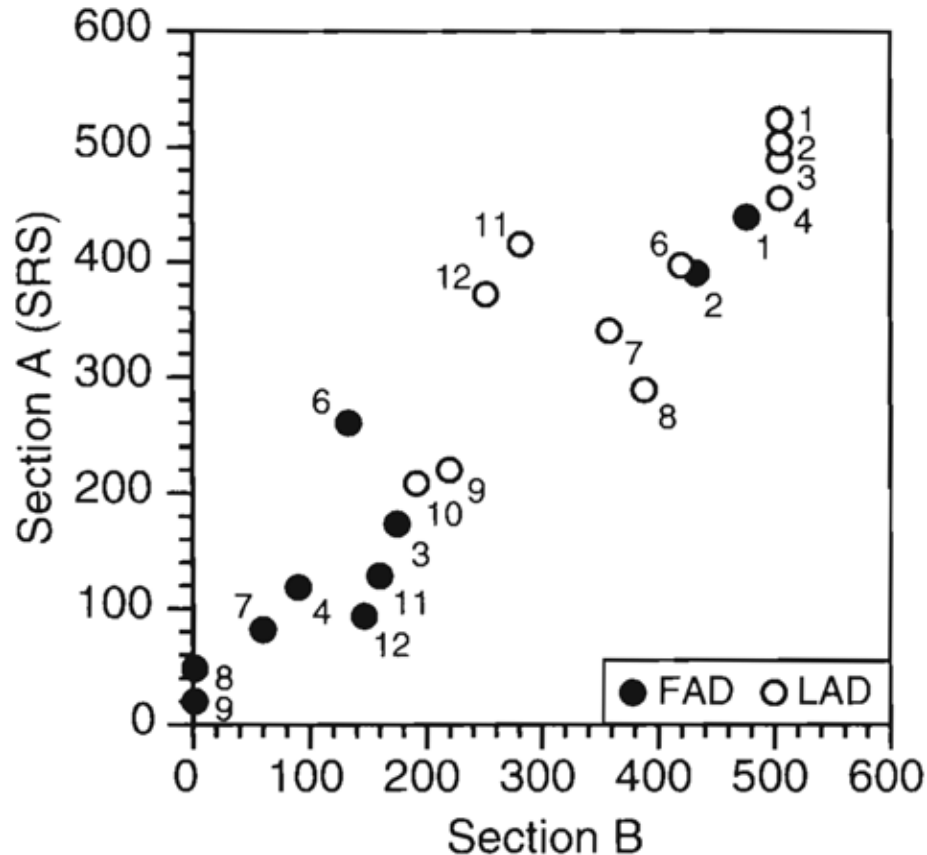
- Точный выбор **линии корреляции** (LOC) является важной составляющей графической корреляции
- Наиболее простой метод выбора LOC, называемый **«разделением кровли и подошвы»**, использует данные первого (FAD) и последнего (LAD) появления. Метод берет в качестве отправной точки стандартный опорный разрез (SRS), который содержит большое количество видов, распределенных по протяженному стратиграфическому интервалу без очевидных перерывов или структурных несогласий. Если SRS выбран удачно, большое количество встреченных в нем таксонов может встречаться на уровнях, близких к их глобальным FAD и LAD. В таких случаях графическая корреляция SRS с данными из других разрезов приведет к группировке FAD и LAD по разным сторонам истинной LOC. Поэтому LOC может быть выведена путем нахождения линии, которая разделяет FAD и LAD наиболее точно
- Дополнительные критерии для установления надежной LOC, включают рассмотрение «веса» исходных данных, ключевых уровней, оптимизации и статистики (регрессионный анализ)

Метод «разделения кровли и подошвы»



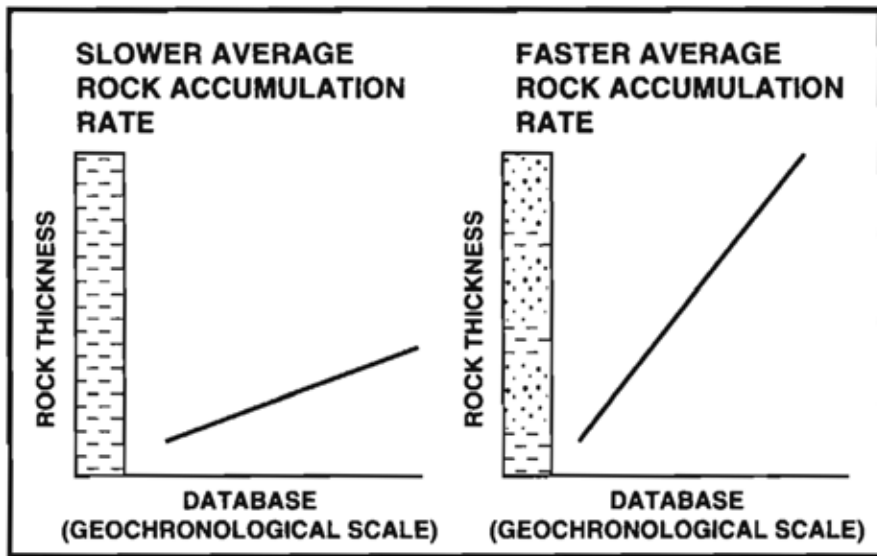
С помощью LOC - диагональной линии с положительным наклоном можно спроецировать любую точку в одном разрезе в ее временной аналог в другом разрезе. **А)** Точки, лежащие на LOC или близко к ней, занимают аналогичное положение в обоих разрезах. **В)** FAD, лежащие ниже LOC, и LAD, лежащие выше LOC - точки в В (сплошные линии) проходят позже и раньше, чем их временные эквивалентные положения в А (пунктирные линии). Поскольку разрез В не охватывает максимальные первое и последнее появление таксонов относительно А, SRS разреза В представляет субмаксимальные или незаполненные диапазоны. **С)** FAD, лежащие выше LOC и LAD, лежащие ниже LOC - точки, чье первое и последнее появление в А (сплошные линии) происходят раньше и позже, чем их временные эквиваленты в В (пунктирные линии). Поскольку SRS не охватывает максимальные первое и последнее появления этих таксонов, данные разреза В расширяют диапазон каждого вида, так что они более точно аппроксимируют максимальные FAD и LAD. Поэтому геометрия LOC может быть выведена через линию, которая размещает как можно больше FAD на- или под LOC и как можно больше LAD на- или над LOC. Эта стратегия выбора LOC названа «разделением кровли и подошвы». **SRS нанесена вдоль ординаты, чтобы соответствовать стандартному способу представления оси времени вертикально вверх (MacLeod, Sadler, 1995)**

Выбор LOC

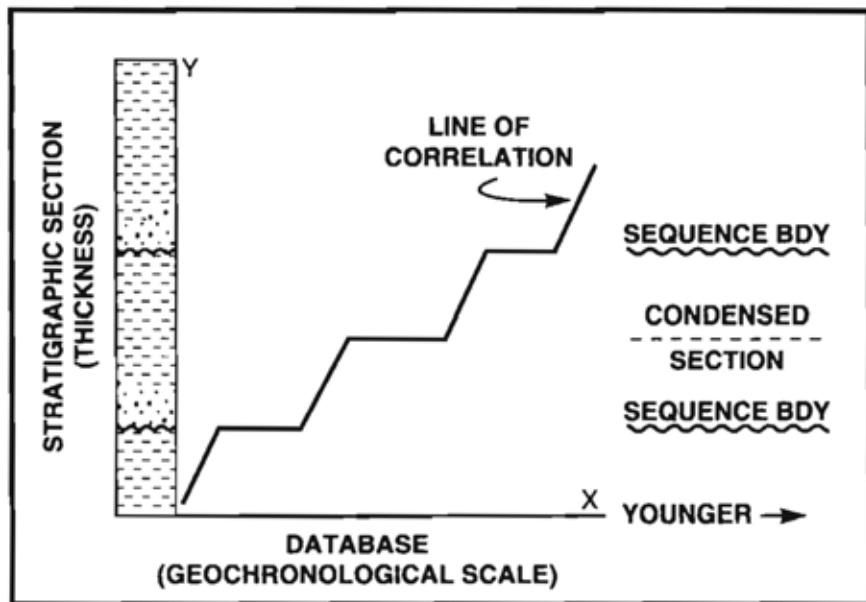


Пример графической корреляции разрезов А и В (MacLeod, Sadler, 1995). Первые точки FAD таксонов 8 и 9 вместе с последними точками LAD таксонов 1–4 выстраиваются в ряд перпендикулярно оси разреза В. Такая геометрия предполагает наличие двух перерывов в В, ограничивающих интервал непрерывного осадконакопления в обоих разрезах. Продолжительность перерывов может быть оценена путем определения расстояния между двумя вертикальными эпизодами вдоль оси А

Разные виды LOC



Наклон линии LOC можно использовать как показатель относительной скорости накопления горных пород (Carney, Pierce, 1995)



Интерпретация стратиграфических перерывов на основе графической корреляции может быть непосредственно применена к секвенс-стратиграфическим исследованиям (Carney, Pierce, 1995)

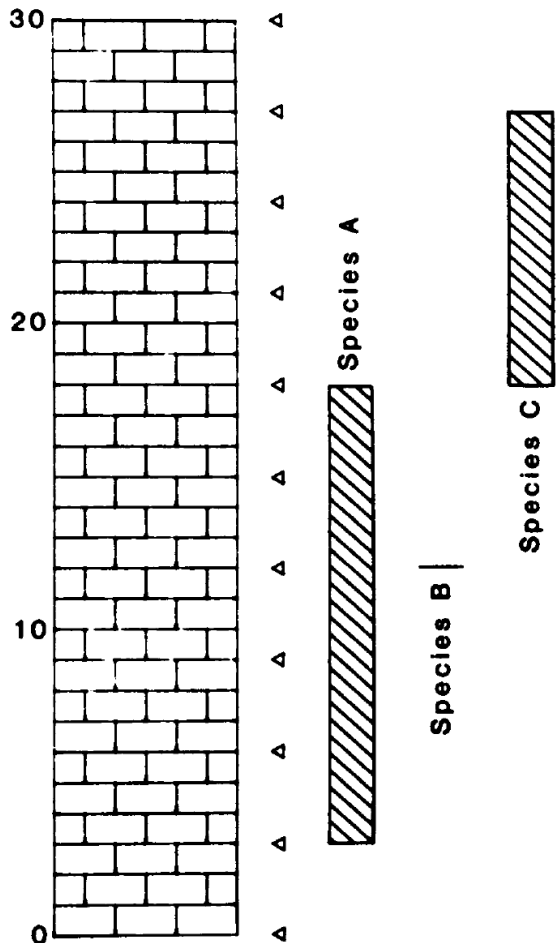
Процедура

1. Собрать и скомпоновать все данные, включая вхождения таксонов, каротажи, литологические наблюдения, заметки, сделанные во время бурения и отбора проб.
 2. Выбрать порядок составления (наилучший разрез становится опорным разрезом).
 3. Нанести биостратиграфические данные для первых двух разрезов на двухосевой график.
 4. Начертить начальный LOC.
 - ...
 9. Добавить биостратиграфические данные в составной стандартный разрез.
 10. Повторите 3–9 для каждого дополнительного раздела. Это завершает первый раунд.
 11. Повторите 3–10 для дополнительных раундов, пока диапазоны и LOC не стабилизируются. В этих раундах данные отдельных разделов наносятся на график в сравнении с композитом, который исключает значения, полученные из рассматриваемого раздела.
- 1–4 и 9–11 представляют собой раунды в графическом корреляционном методе Шоу

Процедура

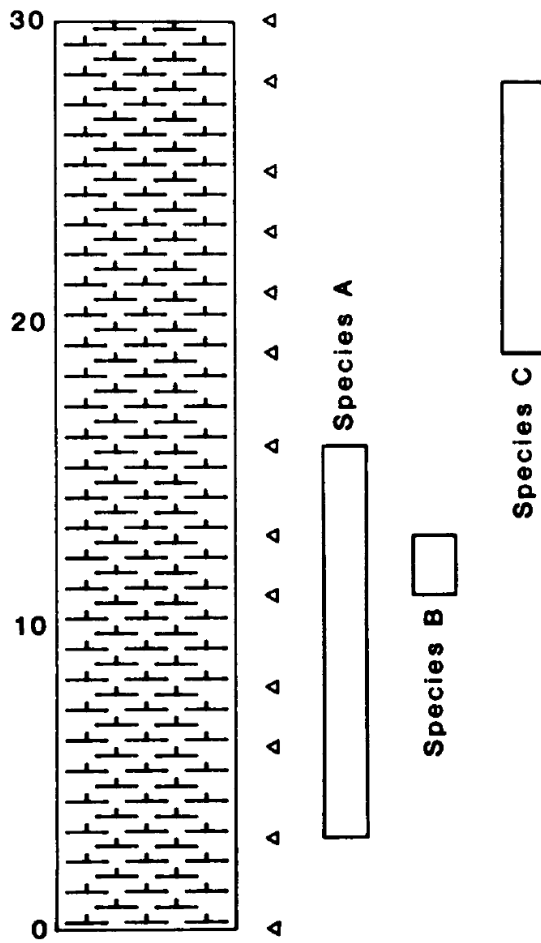
Полосатый

SECTION I "striped section"



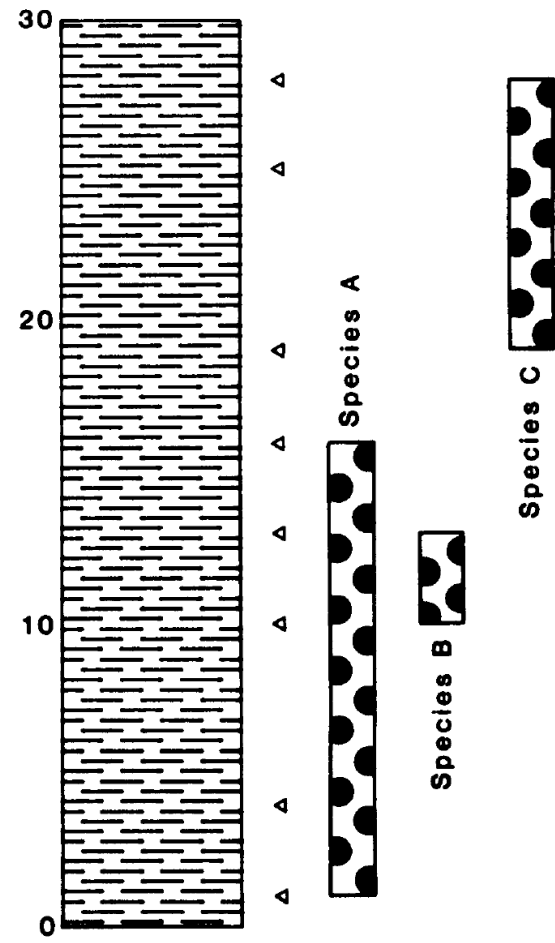
Белый

SECTION II "plain section"



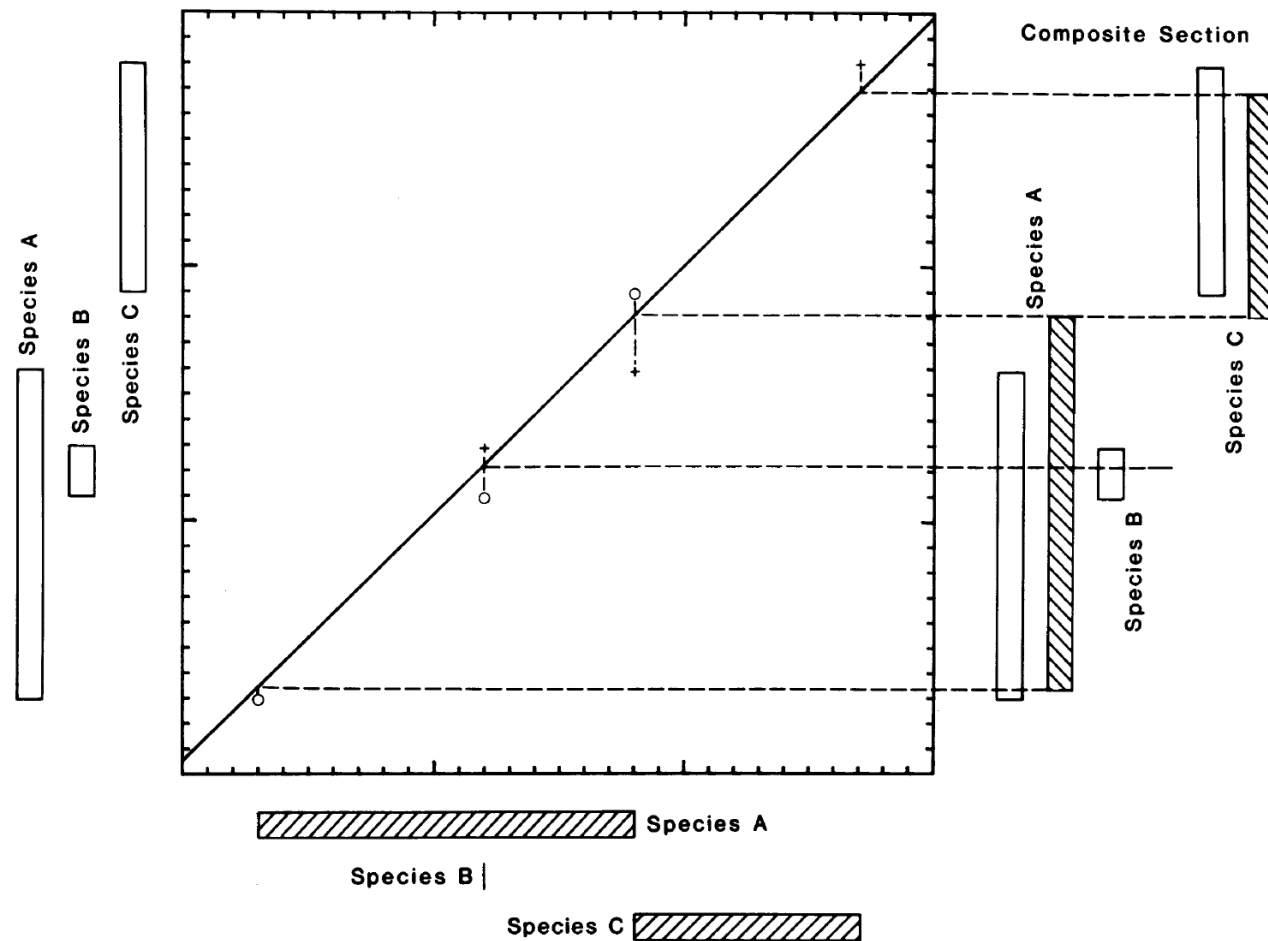
Пунктирный

SECTION III "stippled section"



Три разреза и наблюдаемое распространение видов А, В и С в каждом из них. Места отбора проб обозначены стрелками (Edwards, 1984)

Раунд 1

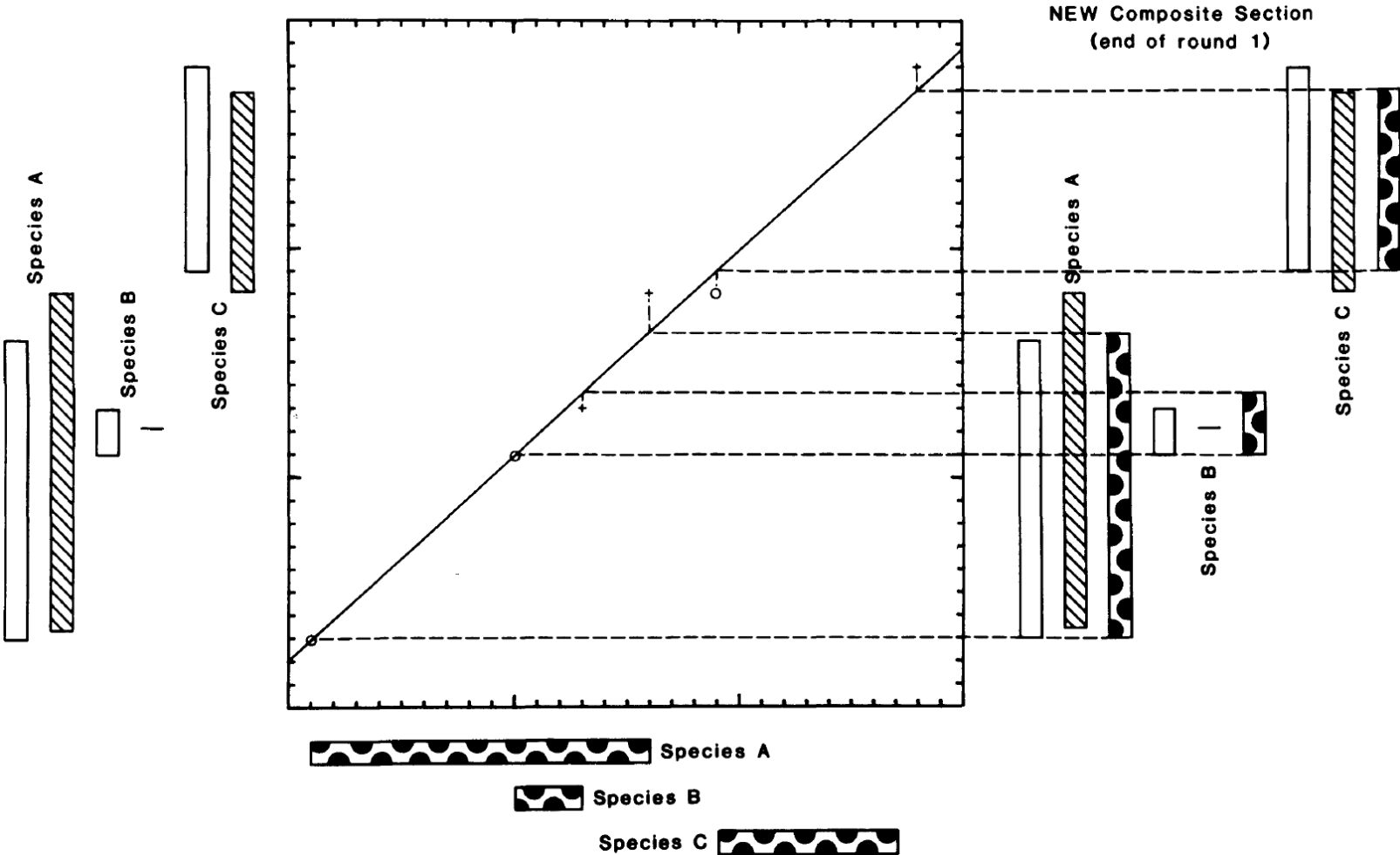


Распространение видов А, В и С в полосатом и белом разрезах с линией корреляции (ЛОС). Справа от отображаются диапазоны видов А, В и С в опорном разрезе (белом), на который нанесены диапазоны этих видов в полосатом разрезе. Это выполняется путем рисования линии, перпендикулярной полосатому разрезу к ЛОС, а затем проецирования значения параллельно полосатому разрезу из ЛОС на опорный разрез (Edwards, 1984)

Раунд 1

График распространения видов из пунктирного разреза (горизонтальная ось) против объединенных диапазонов из белого и полосатого разреза (вертикальная ось). На графике точки нанесены в соответствии с уровнями встречаемости видов на горизонтальной оси и максимальными значениями диапазона на вертикальной оси. Эти максимальные значения диапазона называются «значениями композитного разреза». LOC был нарисован, снова используя представления составителя. Геометрия графика такова, что точки, соответствующие диапазонам, которые являются неполными в пунктирном разрезе, лежат между осью пунктирного разреза и LOC для событий первого появления и между осью композита и LOC для событий последнего присутствия. Диапазоны, которые длиннее в пунктирном разрезе, чем в композите, попадают между LOC и композитной осью для точек первого появления и между LOC и осью пунктирного разреза для точек последнего присутствия. Справа от графика диапазоны из пунктирного разреза были спроецированы и добавлены в композит. Теперь композит содержит данные из всех трех разрезов, и это завершает первый раунд (Edwards, 1984)

Раунд 1



(Edwards, 1984)

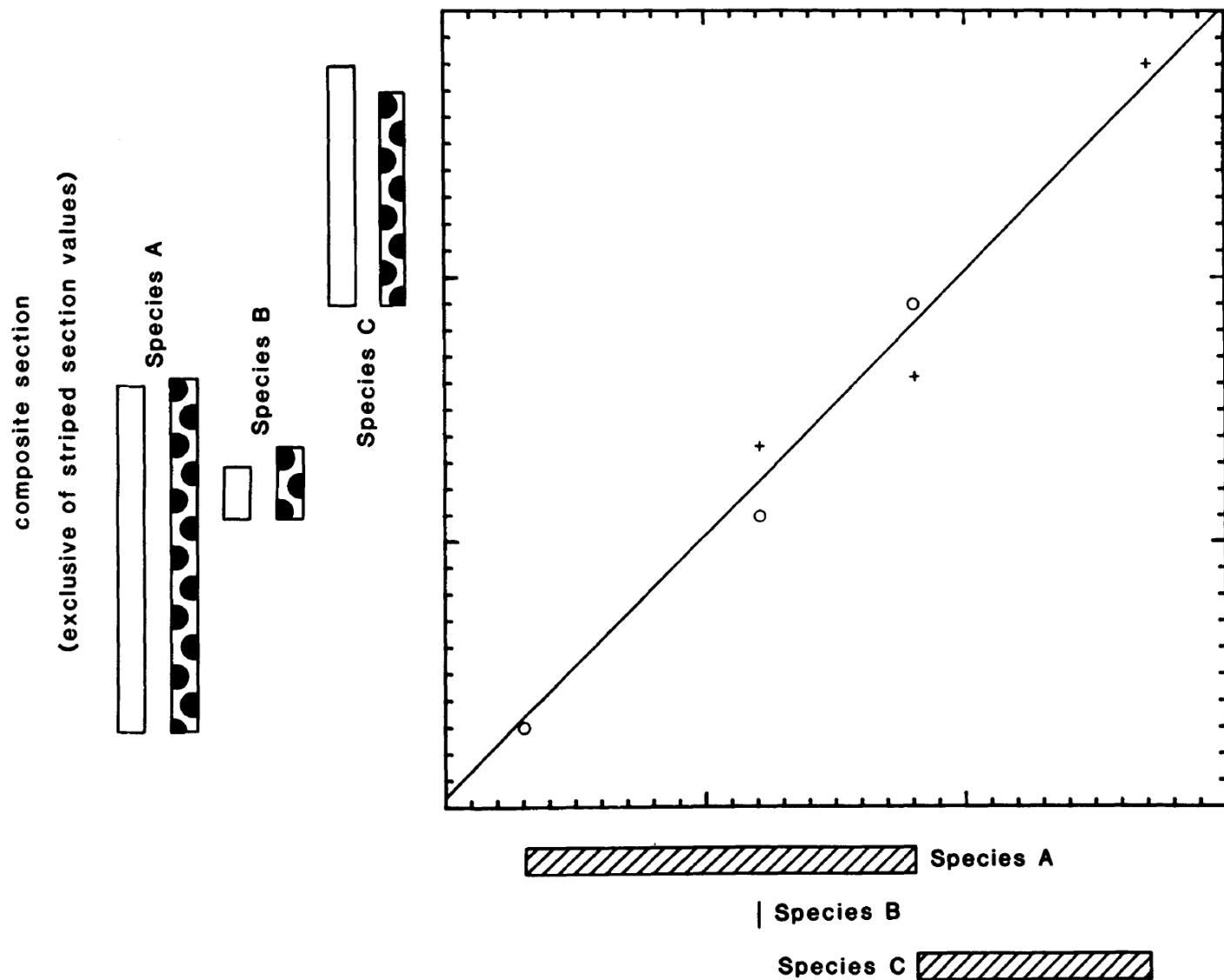
Раунд 2

Полосатый разрез (горизонтальная ось) наносится на композит, исключая значения в композите, которые получены из полосатого разреза (вертикальная ось). Этот график слегка отклоняется от рисунка, поскольку композит теперь включает в себя формирование из пунктирного разреза. Чтобы завершить второй раунд, пунктирный разрез должен быть нанесен на результирующий композит, исключая значения пунктирного разреза.

Перед повторным построением графика любого разреза важно удалить из CS информацию о диапазоне, полученную из этого разреза, если таковая имеется. Это позволяет избежать эффекта того, что разрез просто строится против самого себя.

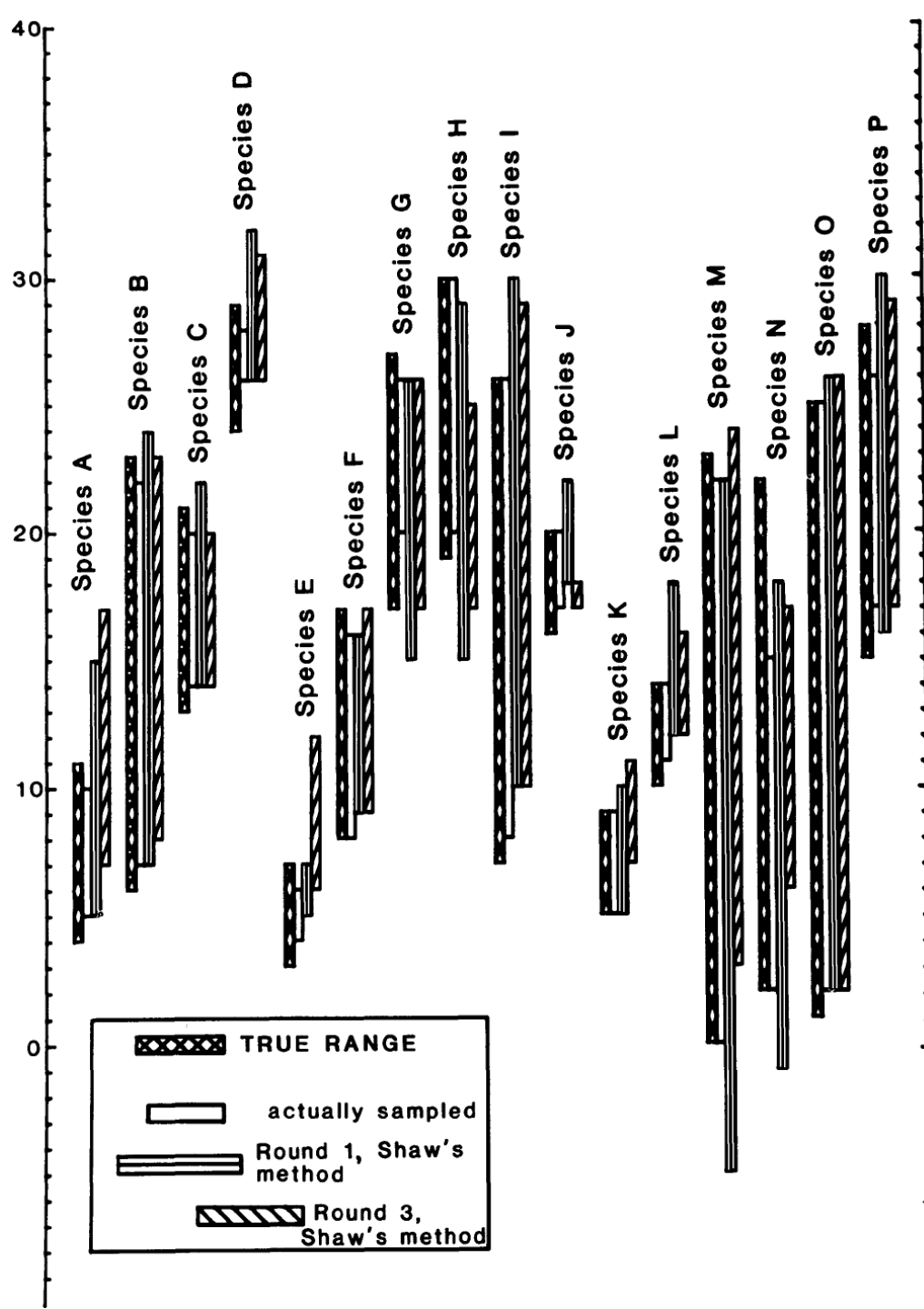
Третий и последний раунды будут завершены аналогичным образом, пока LOC не будут стабилизированы (Edwards, 1984)

Раунд 2



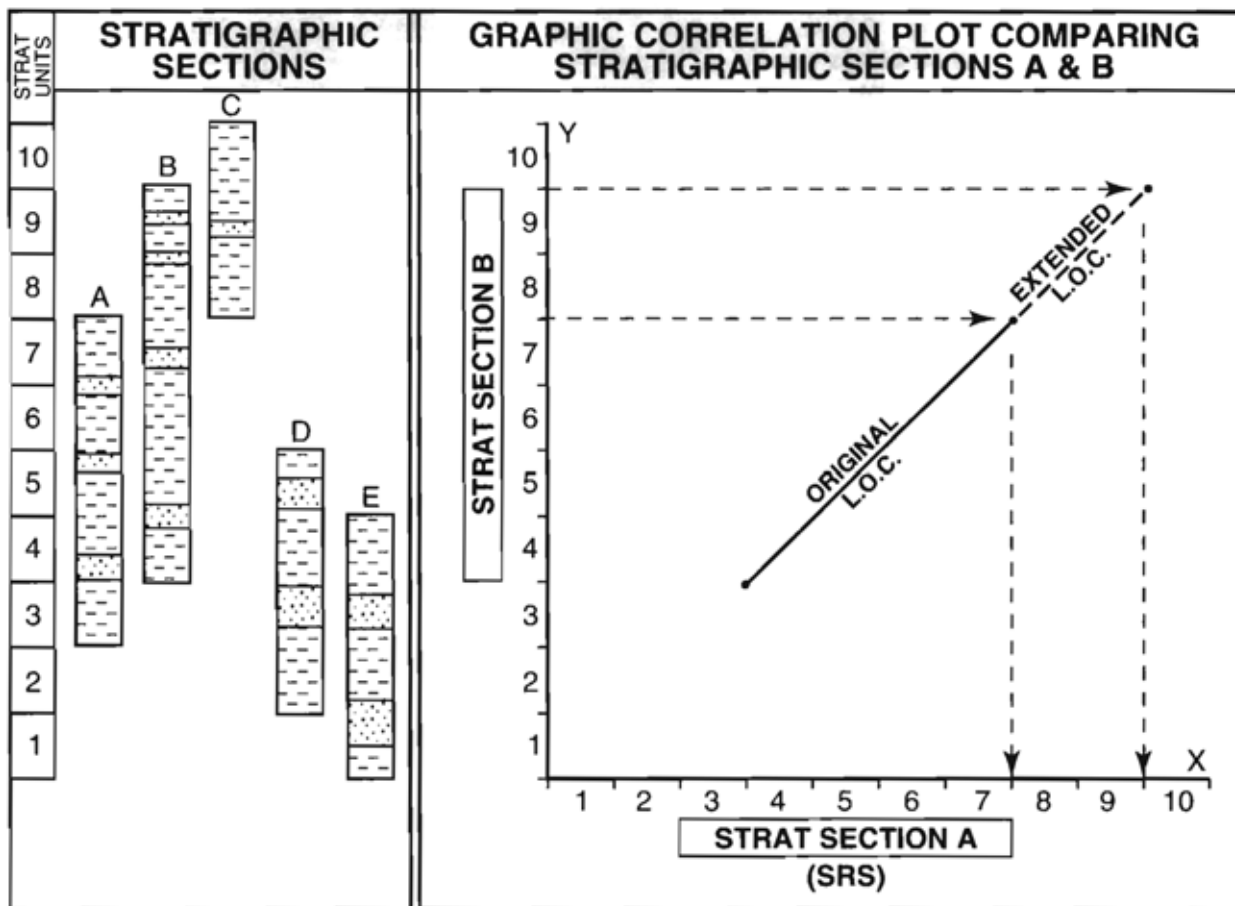
(Edwards, 1984)

Результаты



Сравнение диапазонов. Вертикальная ось представляет единицы времени. Шаблоны указывают истинные общие диапазоны, диапазоны, которые были фактически отобраны, диапазоны, полученные после первого раунда, и диапазоны, полученные после трех раундов (Edwards, 1984)

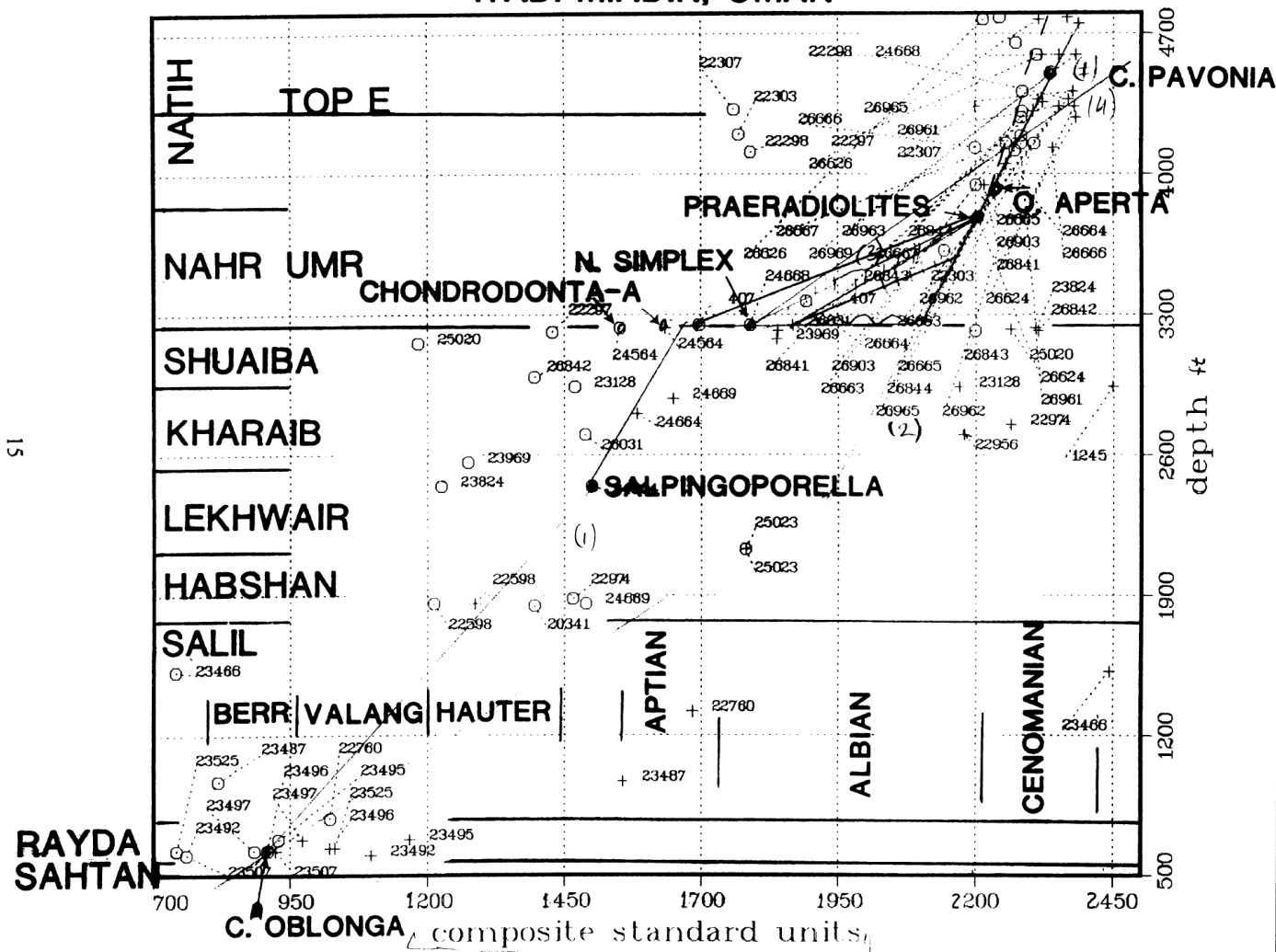
Расширение стратиграфического интервала



Расширение стратиграфического охвата базы данных достигается путем составления дополнительных стратиграфических разрезов с помощью процесса графической корреляции (Carney, Pierce, 1995)

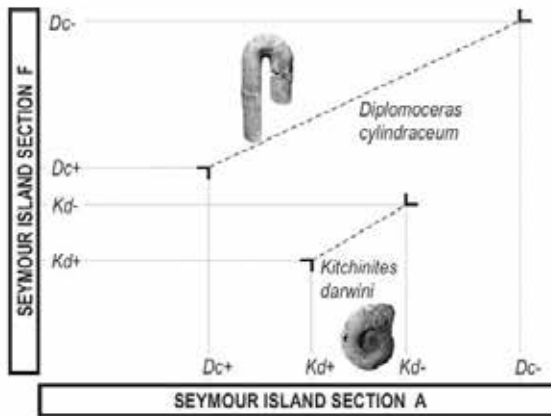
Пример

WADI MIADIN, OMAN

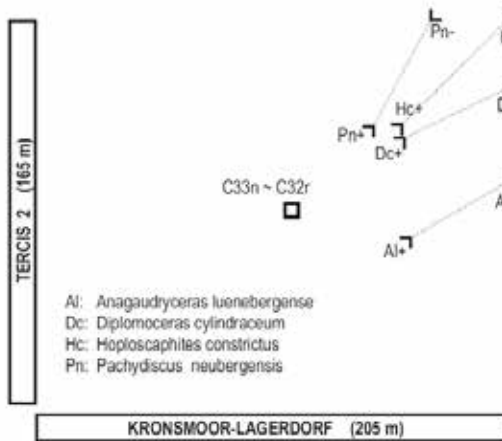


Примеры

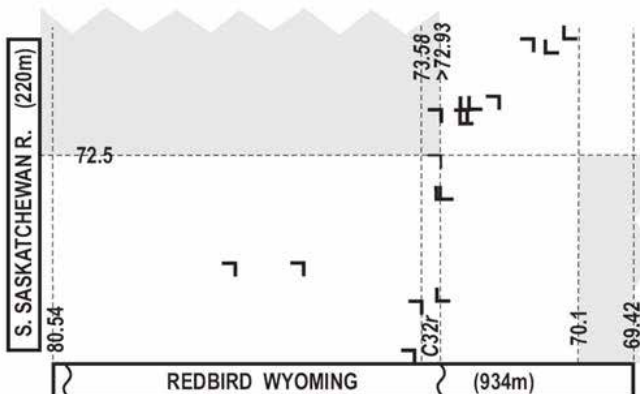
Графический кросс-плот двух диапазонов таксонов аммонитов из двух стратиграфических разрезов на острове Сеймур, Антарктида (Sadler, 2010)



Графическая корреляция двух европейских позднемеловых разрезов, которые разделяют палеомагнитную инверсию (открытый ящик) и четыре таксона аммонитов (Sadler, 2010)



Графическая корреляция разрезов позднемеловых рек Редберд и Южный Саскачеван в Северной Америке с использованием границ диапазонов аммонитов и датированных событий (четыре радиоизотопно датированных туфа и две калиброванные палеомагнитные инверсии) (Sadler, 2010)



Пример: К₂ Поволжья. Процедура

Границы стратонов	Коды	КРО	БОЛ
Подошва карсунской свиты		0	0
Кровля карсунской (= подошва радищевской) свиты		49,6	42,6
Кровля радищевской свиты		64,4	58,0
Таксоны			
<i>Belemnella lanceolata inflata</i> (Arkhangelsky)	1	1,5	18,0
<i>Belemnella lanceolata gracilis</i> (Arkhangelsky)	2	31,5	10,0
<i>Belemnella sumensis</i> Jeletzky	3	23,5	40,0
<i>Baculites anceps</i> Lamarck	4	29,5	45,0
<i>Hoploscaphites constrictus</i> (J. Sowerby)	5	2,5	13,5
<i>Hoploscaphites</i> sp.	6	51,0	13,5
<i>Cataceramus convexus</i> (Hall et Meek)	7	11,0	0,5
<i>Spiridoceramus caucasicus</i> (Dobrov)	8	2,0	32,0
<i>Echinocorys pyramidata</i> (Portlock)	9	1,0	13,0

Границы стратонов и расстояние (в метрах) до точек находок общих видов макрофоссилий в разрезах Красный Октябрь (КРО) и Большевик (БОЛ) (Амон, Алексеев, 2018)

Пример: К₂ Поволжья. Корреляция событий

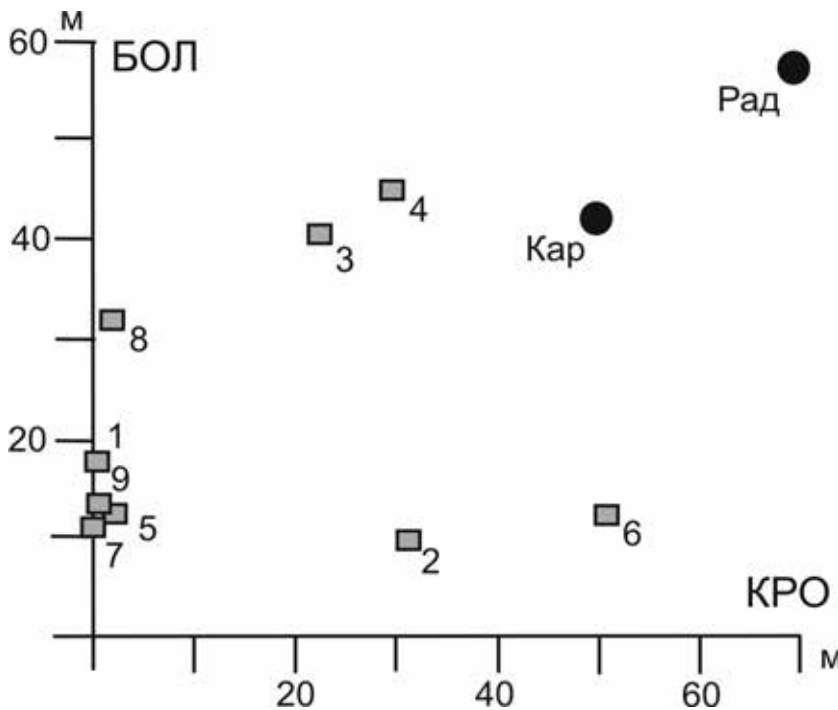
Границы стратонов и уровни находок общих видов макрофоссилий в разрезах Красный Октябрь (КРО) и Большевик (БОЛ) (Амон, Алексеев, 2018).

Оси – мощности (м);

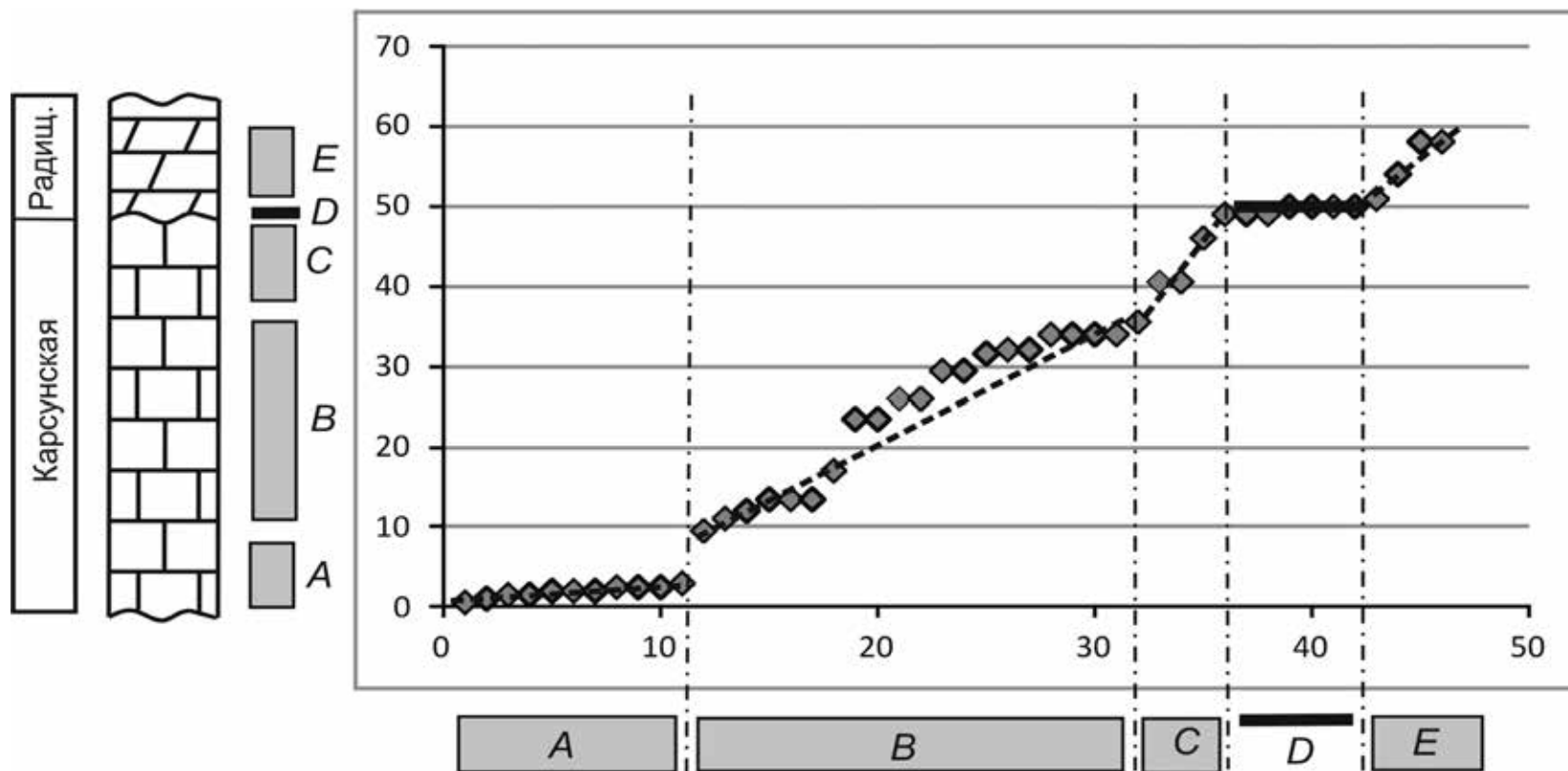
Черные кружки - положение кровли карсунской (Кар) и радищевской свит (Рад);

Серые прямоугольники – уровни находок общих видов макрофоссилий:

- 1 – *Belemnella lanceolata inflata*,
- 2 – *Belemnella lanceolata gracilis*,
- 3 – *Belemnella sumensis*,
- 4 – *Baculites anceps*,
- 5 – *Hoploscaphites constrictus*,
- 6 – *Hoploscaphites* sp.,
- 7 – *Cataceramus convexus*,
- 8 – *Spiridoceramus caucasicus*,
- 9 – *Echinocorys pyramidata*



Пример: К₂ Поволжья. Корреляция событий



Распространение макрофауны и интервалы эпизодов в композитном разрезе (Амон, Алексеев, 2018).

Ось абсцисс - коды таксонов, по оси ординат – мощность (м)

Пунктирные линии аппроксимируют разброс точек, штрих-пунктирные линии обозначают границы эпизодов, прямоугольные блоки – эпизоды