

Методы датирования четвертичных отложений

В.Ю. Кузнецов
Проф. каф. геоморфологии,
д. г.-м. н., к.х.н.

What is the geochronology?

Geochronology is based on determination of age of different geological formations by physical, biological, lithological, isotopic and other dating methods. All these methods serve for the decision of problems of stratigraphy both ocean and terrestrial deposits.

Deposits and other stratified rocks covering a terrestrial surface and an ocean bottom, contain the information on history of the environment.

Text 1.

Sedimentary profiles, and in particular the oceanic sediments and formations, are fine "archives". They give us the most part of knowledge of evolution of a life and changes of environment on the Earth in the past:

- History of paleoclimates;
- Oceanic circulation
- Changes of ocean level
- Fluctuations in chemical composition of ocean water
- Evolution of hydrothermal processes, and so on

Stratigraphy is engaged in studying of:

- age interrelations (relationships) between layers of sedimentary rocks (and sediments),
- their forms and abundance,
- lithological composition,
- fossil fauna and flora,
- reconstruction of ancient conditions of sedimentation,
- and geological history.

All geological samples consist of two kind of information concerning the history of the Earth:

- 1 - relative and absolute age;
- 2 – data on palaeoenvironment.

Thus, all methods of studying of oceanic and marine deposits which will be considered in our lectures keep within or serve interests of a stratigraphy of ocean deposits, palaeoclimatology, palaeoceanology and geology.

More than for hundred years there was well developed stratigraphic system which forms a basis for reception of the information on history of the Earth.

In a general view it includes:

- determination of sequence of events;
- determination of their relative age (by methods of litho- and biostratigraphy);
- determination of their absolute age (by methods of chronostratigraphy);
- correlation of sedimentary profiles (cores, columns) or historic, geological, palaeogeographic etc. events, established by the first three researches.

There are 3 main branches of stratigraphy:

1 – lithostratigraphy

2 – biostratigraphy

3 – chronostratigraphy

Lithostratigraphy and biostratigraphy make a basis of relative geochronology, and chronostratigraphy concerns to absolute geochronology.

Методы литостратиграфии, биостратиграфии и хроностратиграфии

Литостратиграфия - занимается классификацией, описанием и пространственным распространением осадочных комплексов по их литологическим особенностям.

О методах литостратиграфии я уже немного рассказывал, говоря о гранулометрическом анализе осадков, определении их цвета, консистенции, генетических типах отложений (т.е., являются ли они терригенными, биогенными, вулканогенными, гидротермальными и т.д., определение размеров зерен минералов). Однако сведения, которые мы получаем с использованием этих методов, дают представления только о зональных или региональных характеристиках изучаемых осадков.

Основные методы литостратиграфических исследований морских и озерных отложений:

- Гранулометрия
- Минералогия (минеральный состав)
- Варвометрия
- Тефрохронология

- ***Варвометрический метод*** – один из литостратиграфических методов исследования озерно-ледниковых и морских отложений. Этот метод был предложен в начале XX века шведским ученым Де Геером для хроностратиграфии озерно-ледниковых осадков. Метод, предложенный ученым, основан на подсчете и сопоставлении годовых лент (варвов) в этих отложениях. Обычно типичные ленточные отложения образуются в крупных приледниковых пресноводных бассейнах, которые характеризуются относительно одинаковым режимом осадконакопления на больших пространствах.
- ***Механизм формирования годовых лент***. Летом талые воды ледника несут в приледниковые бассейны взвешенный песчано-алевритовый и глинистый материал, который осаждается с неодинаковой скоростью. Сначала происходит осаждение крупных песчано-алевритовых частиц, а позднее, уже в зимних условиях, более мелких – глинистых. В результате получается закономерное и отчетливо различимое чередование годовых лент на летние и зимние слои, которые отличаются не только по гранулометрическому и вещественному составу, но и по цвету (летние слои более светлые).

- Мощность ленточных глин колеблется в больших границах, достигая 20-25 м, но чаще всего находятся в пределах 2-10 м.
- Мощности лент меняются от нескольких миллиметров до нескольких см и даже нескольких десятков см.
- В одном конкретном разрезе обычно можно подсчитать от нескольких десятков до нескольких сотен годовых лент. Сопоставляя верхние слои из одного разреза с нижними из другого, можно построить единую хронологическую последовательность для изучаемой территории.
- ***Сущность подсчетов заключается*** в предположении, что годовые ленты начинают отлагаться на дне приледникового озера сразу же после исчезновения ледника в данном месте. А вновь образующиеся годовые ленты по мере отступления края ледника отлагаются на все больших и больших площадях

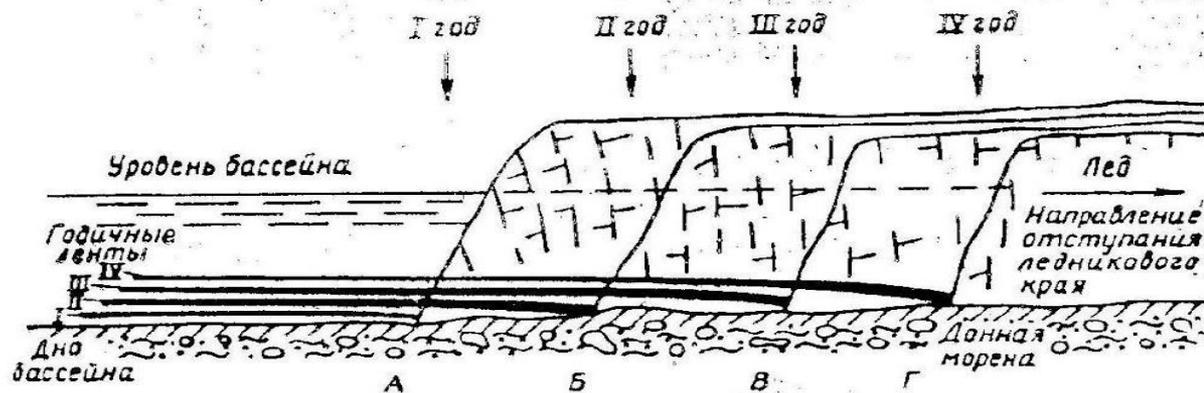


Рис. 16. Принципиальная схема образования варвов по И.И. Краснову [71]

Следовательно, нижняя лента (рис), залегающая непосредственно на морене, в точке А образовалась в течение первого года с момента отступления ледника, а IV-ая лента – в течение четвертого года. И если в разрезе А годовых лент на 2 больше, чем в разрезе В, то край ледника отступил из пункта А на 2 года раньше, чем из пункта В. Сопоставляя таким образом удаленные друг от друга разрезы, т.е. устанавливая разности в количестве лент от морены, можно определить, сколько лет отступал ледник между исследованными разрезами.

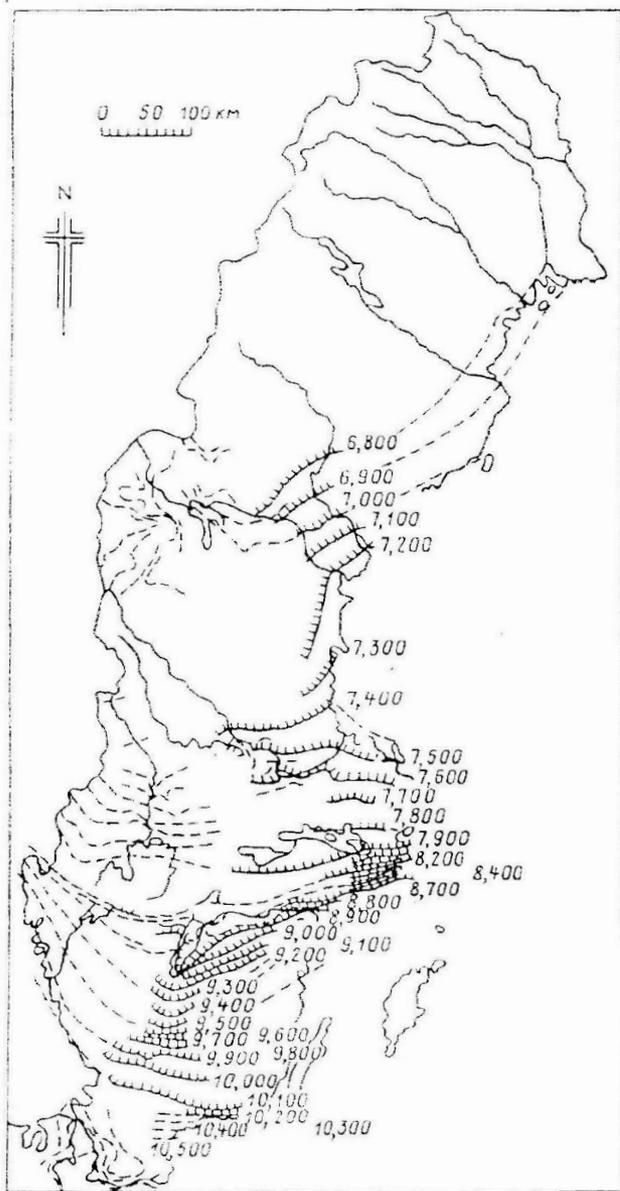


Рис. 15. Хронология стадий отступления ледника в Швеции, основанная на анализе озерно-ледниковых ленточных глин [284]

- Таким образом в Швеции разработана хронология отступления последнего ледникового покрова от юга Швеции до озера Рагунда, на дне которого годовые ленты продолжали отлагаться до 1974 г, когда это озеро было спущено. Это позволило привязать геохронологические профили к точно датированному историческому событию и, таким образом, получить точную временную варвометрическую шкалу.

- ***Позднее подсчет слоев ленточных глин*** (так принято называть варвометрический метод в морских исследованиях) стал использоваться в морской стратиграфии. Слои ленточных глин – это «древесные кольца» океанов. Они формируются в результате обусловленных климатом сезонных изменений в накоплении обломочного материала или сезонной цикличности биологической продуктивности. Метод используется для замкнутых морских бассейнов (с большой скоростью осадконакопления): фьордов, заливов, внутренних морей.
- ***Примерами могут служить*** диатомовые ленточные глины бассейна Гуаймас в Калифорнии, образующиеся за счет усиления осадконакопления зимой, когда на суше выпадает большое количество атмосферных осадков, и в море сносится повышенное (по сравнению с летом) количество обломочного материала. Следует отметить, что слоистые толщи сохраняются в тех обстановках, где процессы биотурбации незначительны, нет каких-либо вторичных процессов, нарушающих обычный седиментогенез.
- ***Подсчет слоев ленточных глин*** ценен для геохронологических исследований тем, что он обеспечивает прямое определение количества прошедших лет. Отдельные слои могут быть очень тонкими (менее 1 мм) и их трудно различить. В таких случаях используется фотографирование в рентгеновских лучах. Варвометрические исследования всегда проводят в сочетании с методами биостратиграфических и хроностратиграфических (14-С) анализов. Подобные комплексные исследования дают возможность проводить климатические и биостратиграфические исследования на детальной основе. Хорошим примером служит детальная история палеоклимата бассейна Санта-Барбара в Калифорнии за последние 7000 лет, которая была реконструирована амер. ученым Писасом.

Озерные осадки с годовыми ритмами могут формироваться также в неледниковой обстановке.

Для применения варвометрического анализа необходимо:

- наличие глубоких озер небольшого размера с крутыми бортами;
- хорошая защищенность озер от ветра, который мог бы вызвать волнение и нарушить последовательность наслоения;
- наличие небольших притоков;
- резкие контрасты между зимой и летом, как это наблюдается в континентальных условиях;
- высокая органическая продуктивность поверхностных вод.

Тефрохронология

- Сведения, которые мы получаем с использованием ранее упомянутых методов, дают представления только о зональных или региональных характеристиках изучаемых осадков.
- Но есть метод, который позволяет проводить корреляцию (т.е. сопоставление и сравнение) разнесенных на громадные расстояния осадочных разрезов.

Это метод *тефрохронологии*,

- основан на выявлении и изучении прослоев вулканического пепла или стекла, которые являются хорошими маркирующими горизонтами.

Сущность метода:

Вулканогенный материал, образующий единичный слой пепла, выбрасывается вулканом в ходе извержения в течение нескольких дней или недель.

Отлагаясь практически мгновенно на огромной площади, иногда на расстоянии до 4 тыс. км от очага извержения, такие вулканогенные маркирующие слои представляют, в отличие от других литологических горизонтов строго синхронные поверхности в толще осадков. Изучение пепловых прослоев в океанских, озерных, болотных осадках, определение их возраста, площадей распространения и химического состава в стратиграфических целях получило название **тефрохронологии**.

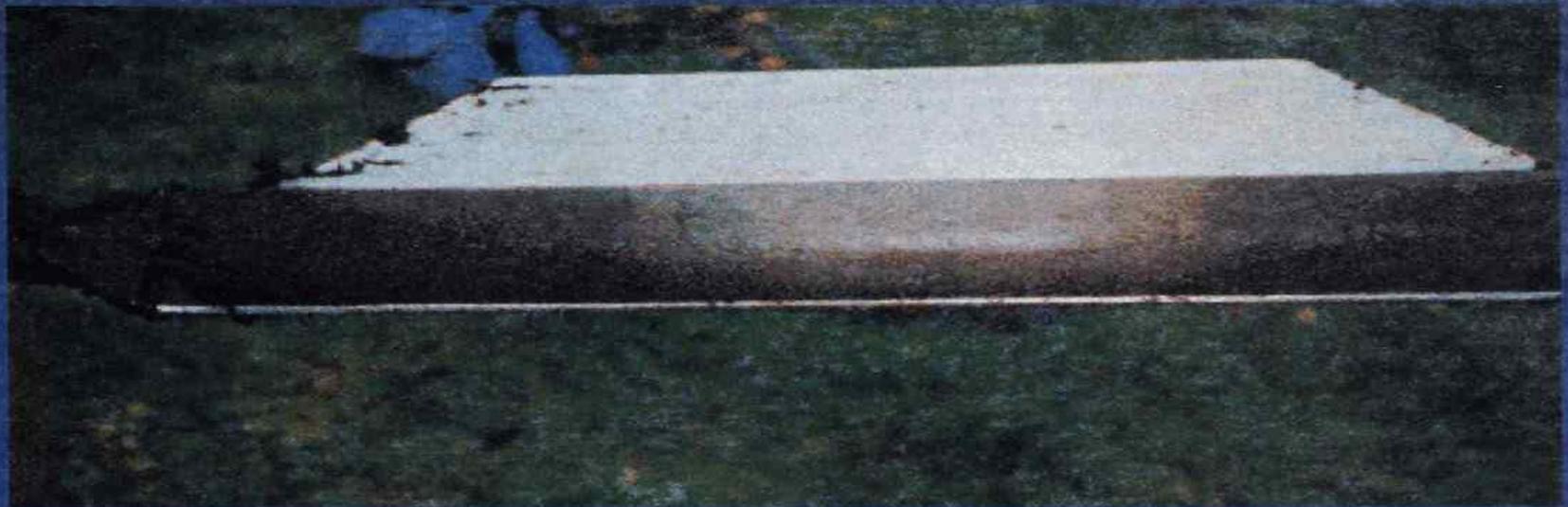
Обзор тефрохронологических исследований дан в работе Кеннета (у меня есть ссылка, если кто-нибудь заинтересуется).

Выявление и исследование пепловых прослоев можно проводить уже в судовых условиях, если эти горизонты четко проявлены, получив, хотя и предварительную, но достаточно нужную информацию. При этом, очень ответственным моментом является осмотр и описание поднятого керна. Например, кремнистые пеплы обычно имеют светлую окраску и хорошо выделяются на фоне других осадочных пород. А пеплы с малым содержанием кварца, наоборот, более темные за счет более высокого содержания железа, и они выделяются хуже.

Core of lake sediments from the North-Western Scotland.

Tephra sub-layer has a light colour

Borrobol NE Scotland



Методика выделения зерен вулканического стекла из пробы осадка для проведения тефрохронологического анализа.

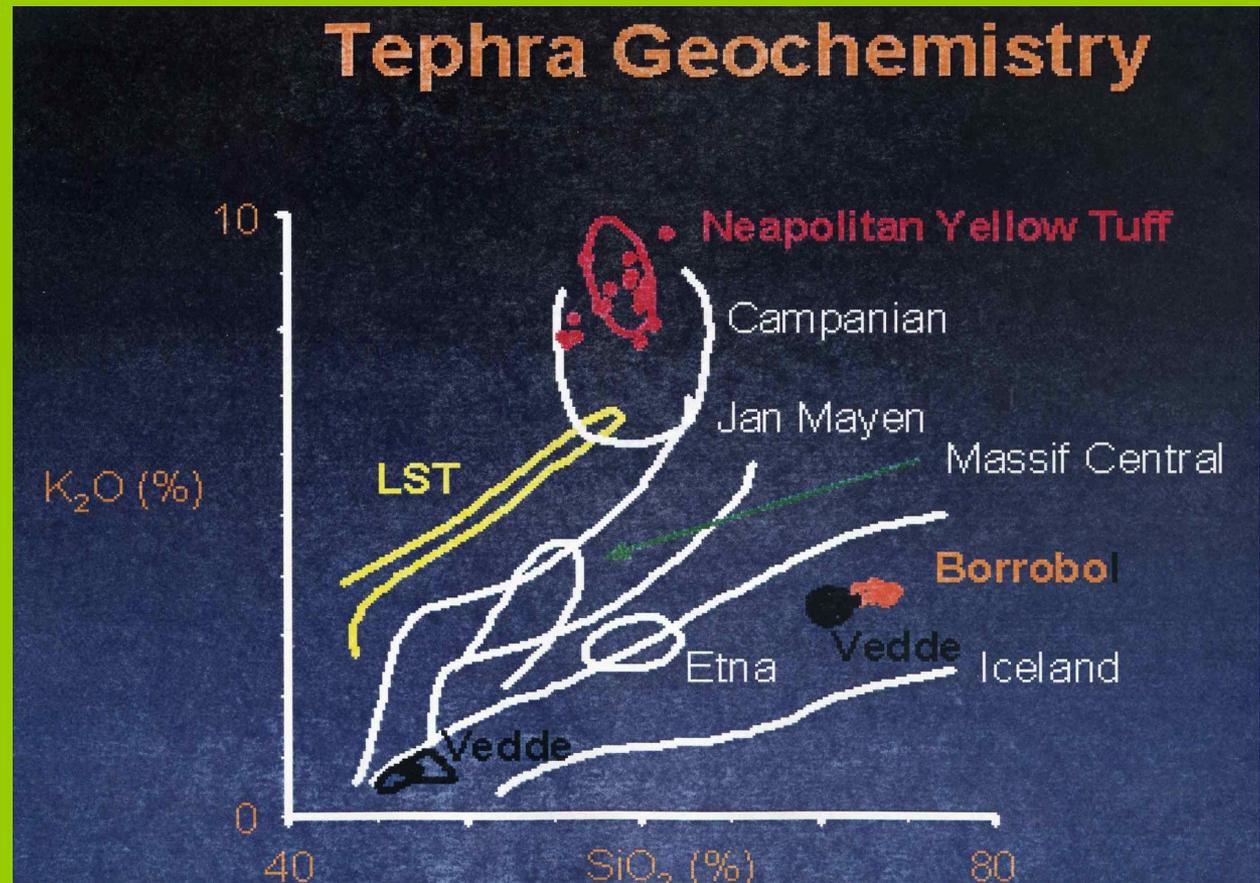
Для тефрохронологического анализа образцы обычно отбираются непрерывно по глубине керна, через каждые несколько см, а иногда и через 1 см.

- Образцы сжигаются при темп = 500-600 градусов в течение 4 часов,
- затем обрабатываются 10% сол кислотой в течение 12 часов (объяснить),
- просушиваются и просеиваются через соответствующие сита,
- полученный материал обрабатывается тяжелой жидкостью (натрий-вольфрамовой) с плотностью 2.4-2.4 г/см куб. При этом вулканические зерна всплывают, а минеральные осадочные частицы оседают.
- с помощью центрифугирования из раствора выделяют зерна стекла и отправляют для проведения минералогических и геохимических исследований.

- Дальнейшие лабораторные минералогические исследования с использованием электронной микроскопии дают возможность изучить полученные гранулометрическим методом различные фракции и выделить новые горизонты, проявляющиеся недостаточно четко. Данные гранулометрического анализа позволяют выделить также зерна вулканического стекла из осадка и оценить их концентрацию по глубине, поскольку при своем осаждении на дно вулканическое стекло оседает совместно с осадочной взвесью, тем самым смешиваясь с осадком.
- Частицы вулканического стекла в каждом отдельном пепловом слое могут иметь свой специфический химический состав – так называемый *геохимический «отпечаток пальца»*, который характерен для каждого извержения конкретного вулкана.
- Для определения особенностей строения прослоев вулканического пепла достаточно проанализировать несколько зерен стекла на электронном микропробном анализаторе (*микрозонде*). Из геохимических характеристик наиболее показательны содержания кремнезема в стекле и соотношение элементов примесей.

Particles of volcanic glass in the individual ash sub-layer have the specific chemical composition - so-called geochemical "finger-print".
It is characteristic for each (individual) eruption of a concrete volcano.

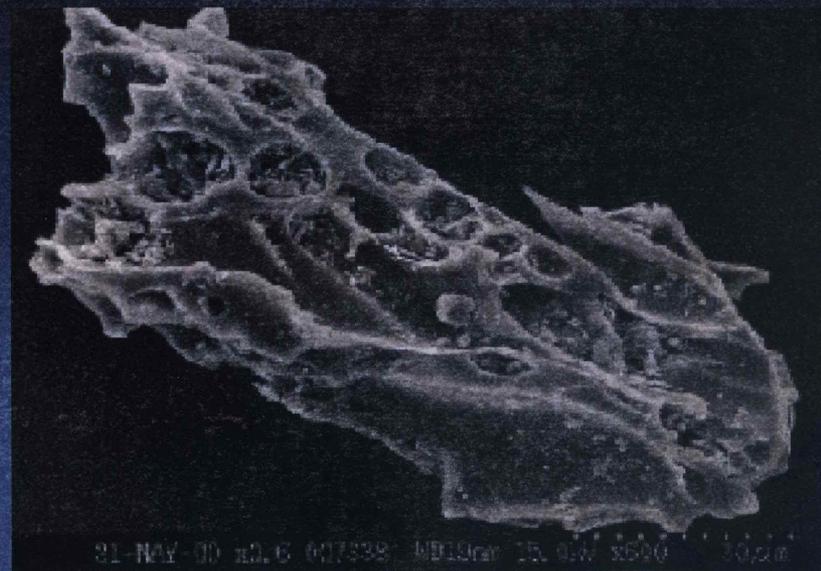
Geochemical "finger-print"



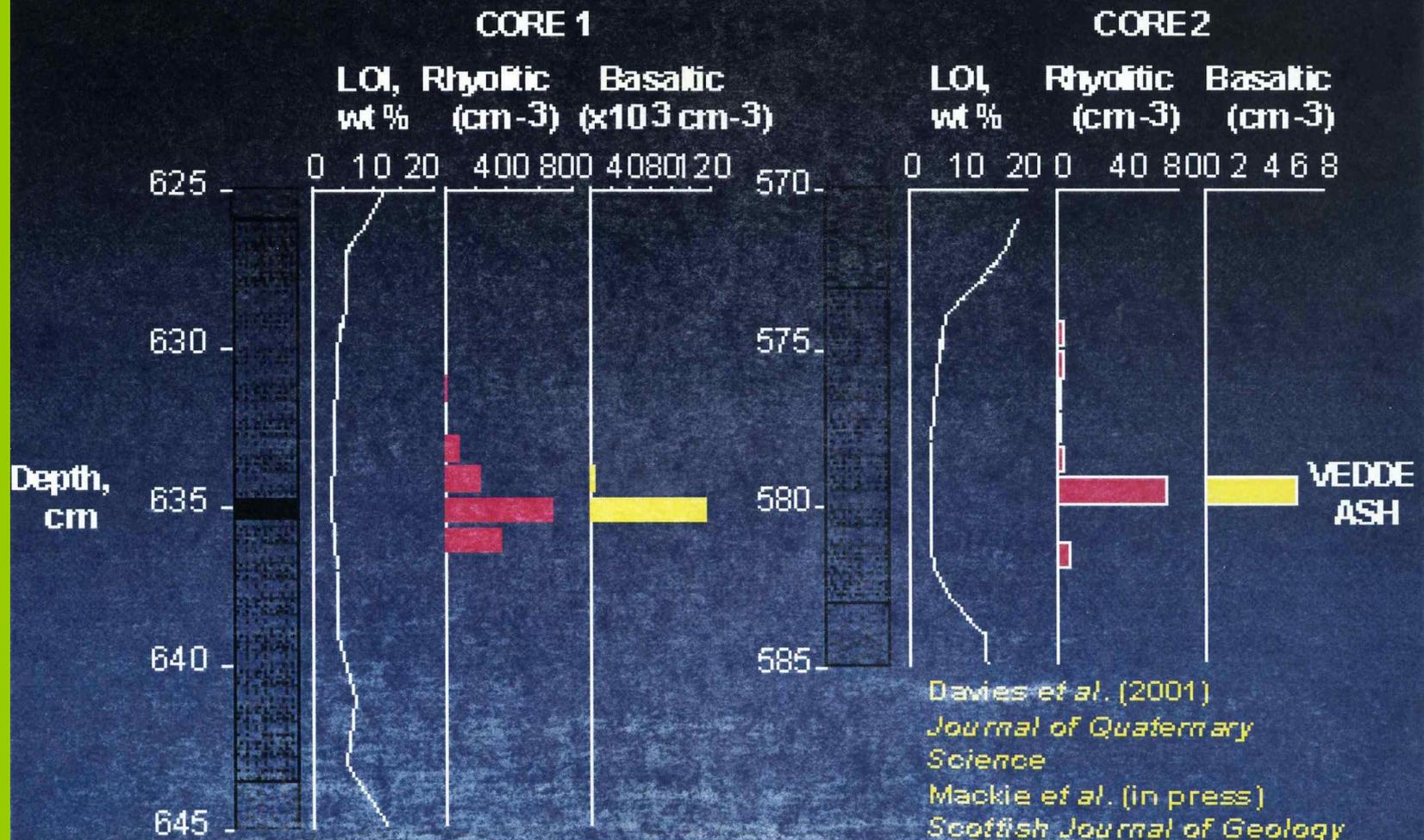
'Tephra'-Like Shards



Laacher See Tephra Shard



Loch Ashik



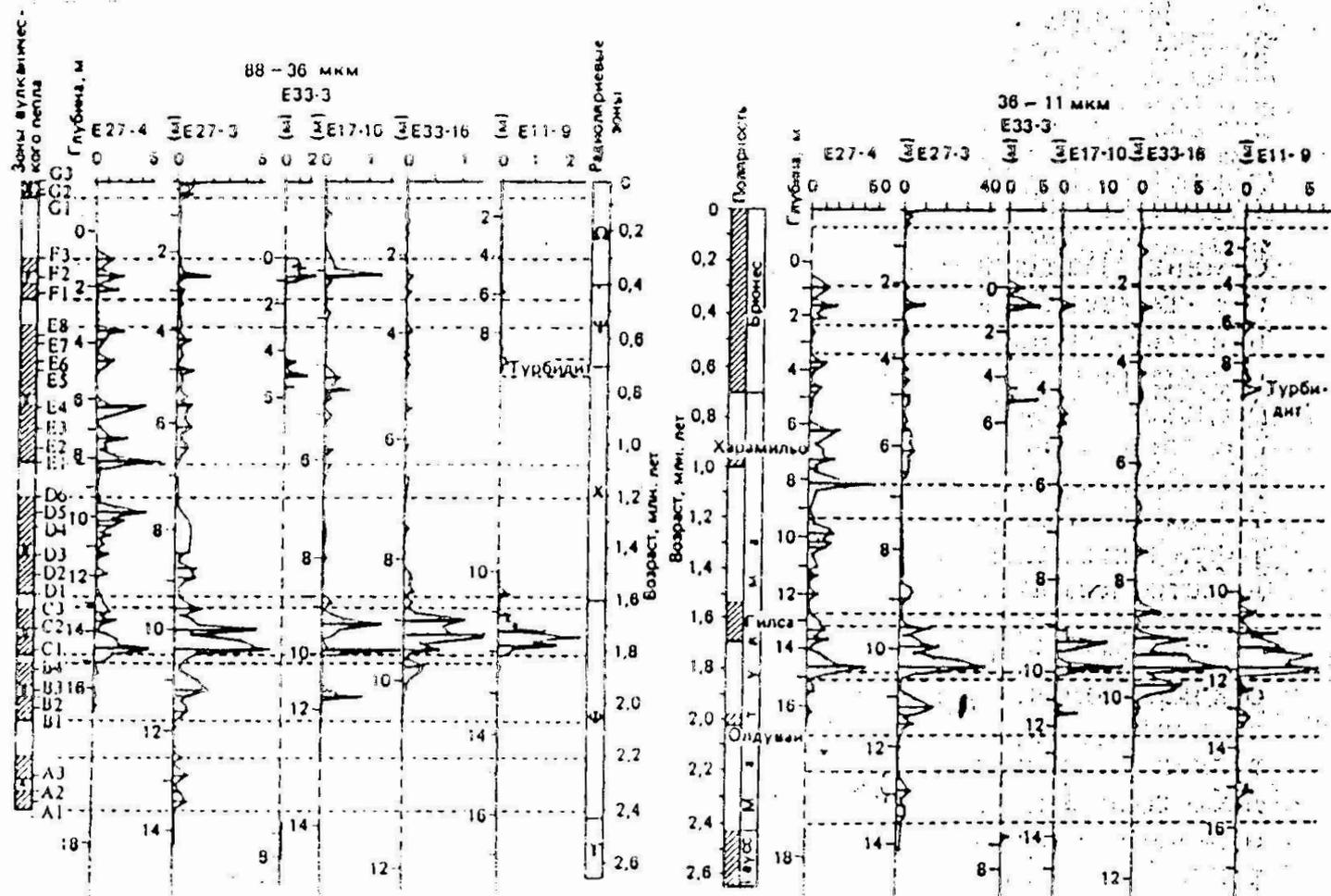


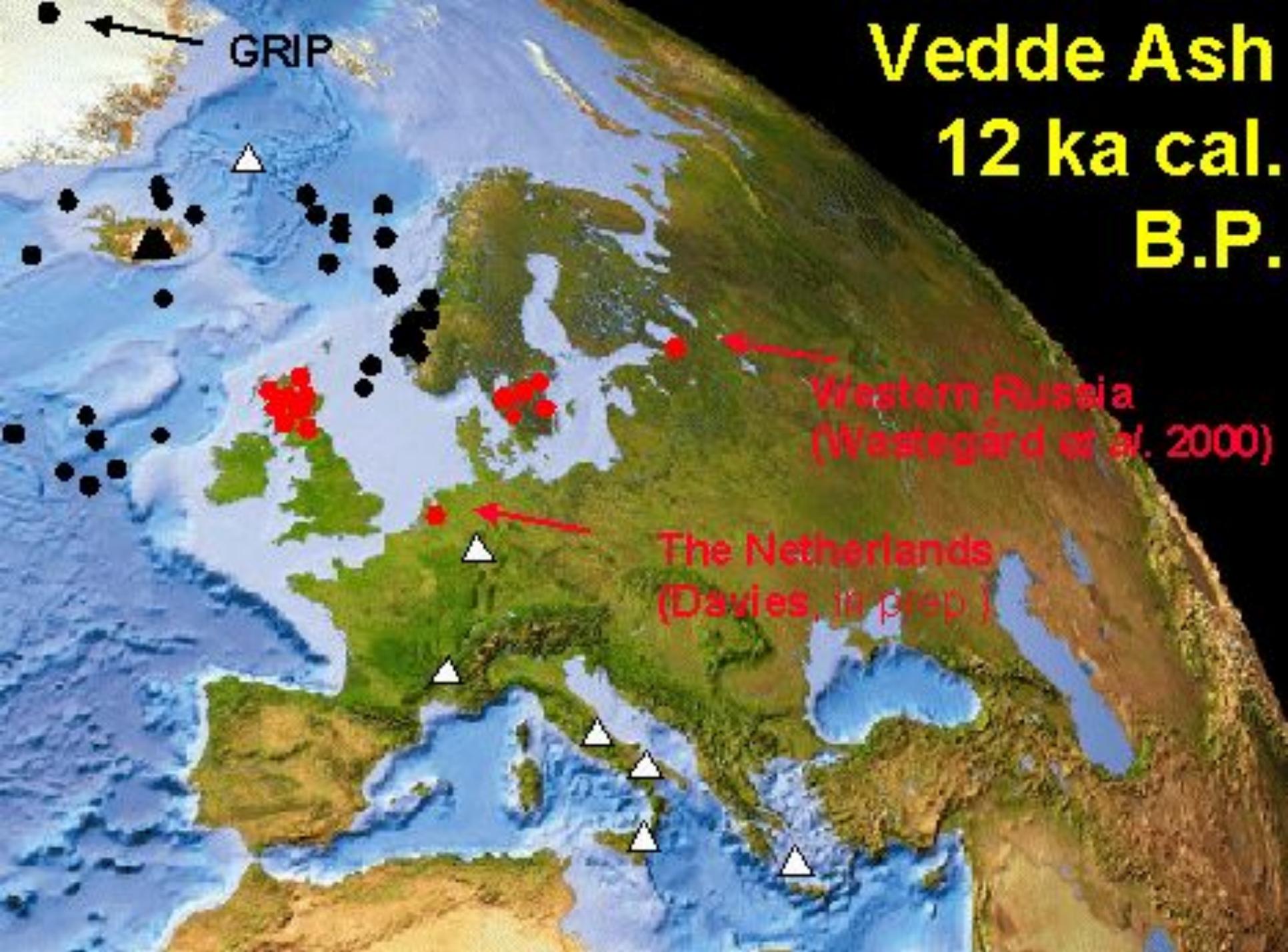
рис. 3-3. Тейфрохронология серни колонок Южного океана, взятых в секторе между морем Росса и юго-восточной частью Тихого океана. Периоды максимальных скоростей накопления вулканического стекла, (в двух фракциях различной размерности слева и справа) отмечены буквами от А до G. Цифрами (от 1 до 8), помещенными возле букв, отмечены возможные единичные вулканические извержения или серии близко расположенных извержений. Скорости аккумуляции даны в абсолютных массах ($\text{мг}/(1000 \text{ лет} \cdot \text{см}^2)$). Возрасты колонок определены палеомагнитным методом. Заимствовано у Хуанга и др. [499, с. 1307]; публикуется с разрешения Геологического общества США.

- **Вещество пепловых прослоев пригодно также для радиологических датировок, по которым можно судить об их абсолютном возрасте вмещающих пород и содержащихся в них ископаемых остатков. Помимо определения возраста методами тефрологии удастся решить еще ряд других важных задач, а именно:**

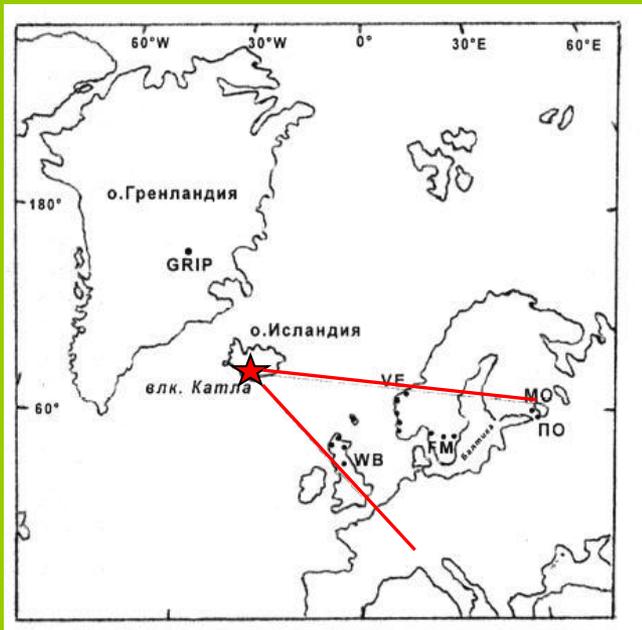
- 1 – получить информацию об отдельных извержениях или о сериях извержений. С помощью тефрологии удастся оценить объем выброшенного материала, силу извержения, а возможно, и даже его длительность;**
- 2 – получить информацию о геохимических особенностях вулканических очагов и об их изменениях во времени;**
- 3 – проследить тектоническую историю вулканических регионов по разрезам, содержащим прослой тефры. Делаются попытки связать историю вулканизма с локальными или региональными тектоническими движениями. Начало вулканизма может служить предвестником зарождающейся тектонической активности региона;**
- 4 – изучить временные соотношения между палеоклиматами и историей вулканических извержений по глубоководным тефровым отложениям.**

- **Тефрологический метод используется в гляциологии при изучении ледников. Выделение отдельных пепловых горизонтов в ледниковом керне гораздо проще, чем в осадочных толщах. Превосходные условия консервации продуктов вулканических извержений и отсутствие вторичных процессов вымывания и выщелачивания позволяют выделить отдельные слои с большой достоверностью.**
- **Таким образом, тефрологический метод является весьма перспективным для стратификации осадочных толщ. Кроме того, предполагается, что в будущем на основании географического распространения одновозрастных пепловых горизонтов удастся определить направление атмосферной циркуляции. Большой толчок к развитию метода дают положительные корреляции между периодами активизации вулканической деятельности и ухудшением климатических условий**

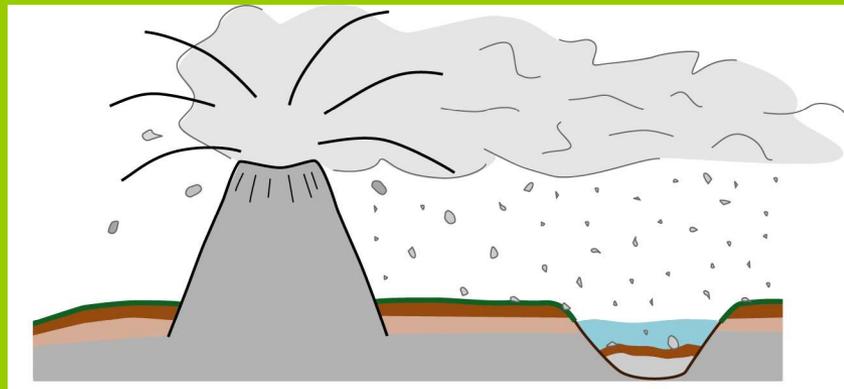
Vedde Ash 12 ka cal. B.P.



Вулкан Катла, 10300 л.н.



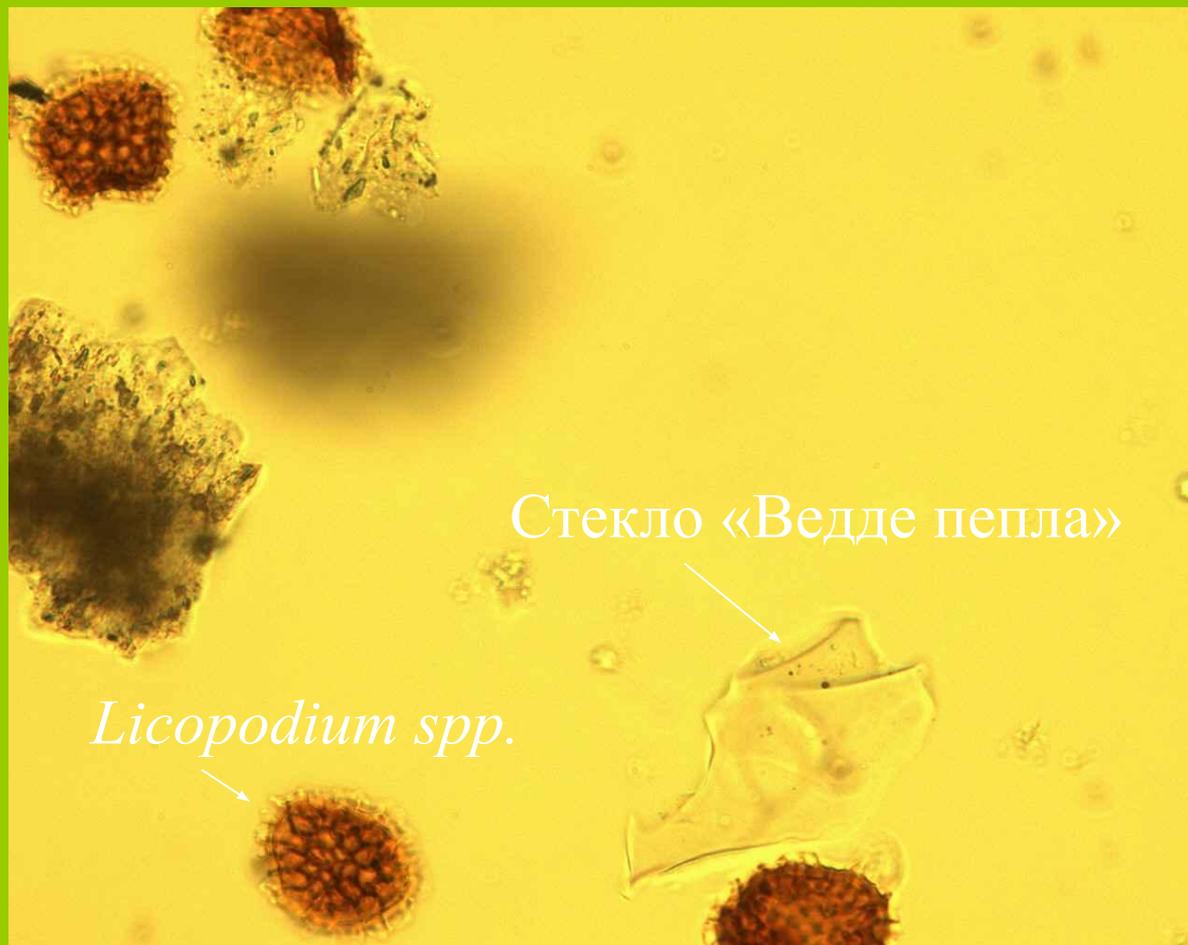
Веер разноса вулканического
«Ведде» пепла 10300 л.н.
МО-оз.Медведевское
ПО-оз.Пасторское
GRIP-Greenland Ice Project



Район исследования



Вулканические стекла



Стекло «Ведде пепла»

Licopodium spp.

Фото: Д.Кузнецов

Геохимический состав стекол Ведде пепла

Главные окислы	МО (n=11)	ПО (n=7)	Whitrig Bog (n=30)	Fegelmossen (n=9)	Vedde Ash (n=21)
Среднее значение, %					
SiO ₂	69,84	69,92	70,32	69,28	72,87
TiO ₂	0,29	0,25	0,28	0,28	0,31
Al ₂ O ₃	13,23	13,42	13,1	13,22	13,25
FeO _{вал}	3,73	3,73	3,69	3,76	3,79
MnO	0,18	0,15	0,13	0,14	0,15
MgO	0,25	0,25	0,2	0,25	0,21
CaO	1,25	1,27	1,23	1,39	1,23
Na ₂ O	4,61	4,77	4,51	4,71	2,11
K ₂ O	3,28	3,31	3,54	3,35	3,21
Всего	96,65	97,07	97,01	96,29	97,13

Корреляция разрезов болотных и озерных отложений по найденному прослою Ведде пепла

