

Проект № I58 "Палеогидрология"

Project No 158 "Palaeohydrology"

ACADEMY OF SCIENCES OF THE ESTONIAN SSR

Department of chemical, geological and biological sciences

Preprint

STRATIGRAPHIC AND PALAEOGEOGRAPHIC INVESTIGATIONS OF LACUSTRINE AND BOG SEDIMENTS FROM VÄLLAMÄE KETTLE-HOLE (SE ESTONIA)

by J.-M. Punning, M. Ilomets, T. Koff, R. Rajamäe
Institute of Geology of the Acad Sci of ESSR

I. Petersen, T. Tiits
Institute of Cybernetics of the Acad Sci of ESSR

Tallinn, 1985

АКАДЕМИЯ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

Отделение химических, геологических и биологических наук

Препринт

Я.-М.Пуннинг, М.Илометс, Тийу Кофф, Р.Раямяэ,
Институт геологии АН ЭССР

И.Петерсен, Т.Тийтс,
Институт кибернетики АН ЭССР

КОМПЛЕКСНЫЕ СТРАТИГРАФО-ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕРНО-БОЛОТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВО ВПАДИНЕ ВЯЛЛАМЯГИ (Ю. - В. ЭСТОНИЯ)

Таллин 1985

Комплексные стратиграфо-палеогеографические исследования озерно-болотных отложений во впадине Вялламяги (Ю.-В. Эстония).

Пуннинг Я.-М., Илометс М., Кофф Т., Раямяэ Р., Петерсен И., Тийтс Т.

В статье приводятся данные комплексного изучения озерно-болотных отложений в мелкой замкнутой впадине Вялламяги в центральной части Хааньяской возвышенности (Ю.-В. Эстония). Установлено, что спорово-пыльцевые диаграммы по изученным отложениям отражают особенности развития растительности на узколокальной территории. По этой причине выделение отдельных палинозон согласно региональной стратиграфической схеме является весьма затруднительным и целесообразнее выделять местные палинокомплексы, при сопоставлении которых со стратиграфической схемой были применены радиоуглеродные датировки. Для выделения палинокомплексов была применена математическая обработка данных методом главных компонент.

На основе полученных данных было проведено восстановление палеогеографических условий. В развитии болота выделяются периоды изменения трофности около 7000 - 6200, 5500, 3000 и 1500 - 1400 лет назад. Наиболее быстрым было повышение уровня воды во впадине Вялламяги 6200 - 5500 лет назад.

© Академия наук Эстонской ССР, 1985.

Введение

Основными индикаторами изменений палеогеографических условий в голоцене являются залежи болотных и озерных отложений, в которых содержится непрерывная информация о развитии растительного и животного мира и об изменениях условий осадконакопления в прошлом. Для достоверной реконструкции хода палеоусловий на основе фиксации изменений в биоценозах необходимо, во-первых, выявить причинно-следственные взаимосвязи между этими изменениями и природными факторами и, во-вторых, разработать надежную временную шкалу. В этих целях в настоящее время наиболее широкое применение находит комплексное изучение торфяных залежей радиоуглеродным и палеоботаническим методами, особенно спорово-пыльцевой анализ. При интерпретации спорово-пыльцевых данных как в целях стратиграфического расчленения и корреляции озерно-болотных отложений, так и реконструкции палеогеографических условий надо учитывать, например, следующие осложняющие факторы: 1) развитие растительности наряду с климатическими условиями определяется и многими другими физико-географическими условиями среды (рельефом, мезо- и микроклиматом, эдафическими условиями, гидрологическим режимом и т.д.); 2) трудно оценимы размеры территории, являющейся источником пыльцы изученного профиля; 3) возможности перерыва в осадконакоплении или сноса уже накопленной толщи; 4) различное релаксационное время разных видов растений к климатическим изменениям; 5) различная пыльцевая продуктивность отдельных видов и различная сохранность пыльцы в зависимости от условий залегания.

Весьма сложными являются взаимосвязи между климатическими изменениями и закономерностями формирования определенных растительных сообществ и частотой их смены в торфах. Довольно часто, особенно в развитии больших болотных массивов, выявляется определенная автономность и тренды климатических изменений прямым образом не отражаются в образовании разновидностей торфов.

Большие затруднения встречаются также при хронологическом обеспечении биоиндикационных данных. По вышеприведенным причинам климатостратиграфическое расчленение голоценовых органогенных толщ на основе спорово-пыльцевых данных нередко связано с большими погрешностями; разработка хроностратиграфических схем с использованием единичных радиоуглеродных дат возможна только в случае постоянного прироста торфа, что далеко не всегда правильно.

Основными задачами наших исследований были:

1) применение комплекса методов для хроностратиграфического расчленения озерно-болотных толщ;

2) разработка оптимальных вариантов для расчленения спорово-пыльцевых диаграмм группировкой численных данных по комплексу взаимосвязанных признаков;

3) проверка представительности отражения палеогеографических условий среды на спорово-пыльцевых диаграммах и сравнение данных по двум близкорасположенным разрезам;

4) восстановление хода изменений физико-географических условий среды на основе спорово-пыльцевых и ботанических данных.

Комплексному исследованию подвергались болотные отложения в мелкой замкнутой впадине в центральной части Хааньяской возвышенности Эстонской ССР, на северном склоне холма Вялламяги.

Хааньяская возвышенность принадлежит к типу аккумулятивных островных возвышенностей. Поверхность древнего рельефа (девонские отложения) достигает здесь в среднем отметки 100, местами 160 м над уровнем моря (Raukas, Karukäpp, 1979). Современный рельеф начал формироваться в готигляциале, около 13 000 лет назад, когда активизирующим ледником была образована почти непрерывная цепь краевых образований от Западной Литвы до Онежского озера. Краевые образования представлены сочетанием моренных холмов, флювиогляциальных и лимногляциальных образований. Определенное значение в развитии современного рельефа имели потерявшие связь с ледниковым массивом поля и глыбы "мертвых льдов". Захороненные под минеральным материалом отдельные глыбы могли сохраняться значительное время. По-видимому, изученные нами озерно-болотные отложения накапливались также в гляциокарстовой воронке, которая окончательно сформировалась в пребореальное время, вероятно не позднее чем 9 000 лет назад. Толща органогенных отложений во впадине имеет значительную мощность, которая в самой глубокой части достигает 17 метров. Болото с размерами поверхности 150 на 110 м (площадью 1,62 га) заполняет котловину, склоны которой, особенно западный, довольно крутые (рис. 1). Озерно-болотные отложения лежат на озерных средне- и мелкозернистых песках.

Современный растительный покров представляет переходный тип развития болот. В средней части встречаются виды, характерные для верхового типа болот (рис. 3). Моховой покров здесь в основном сложен из таких видов сфагновых мхов, как Sphagnum magellanicum и S. fuscum, из травянистых растений распространены шейхцерия

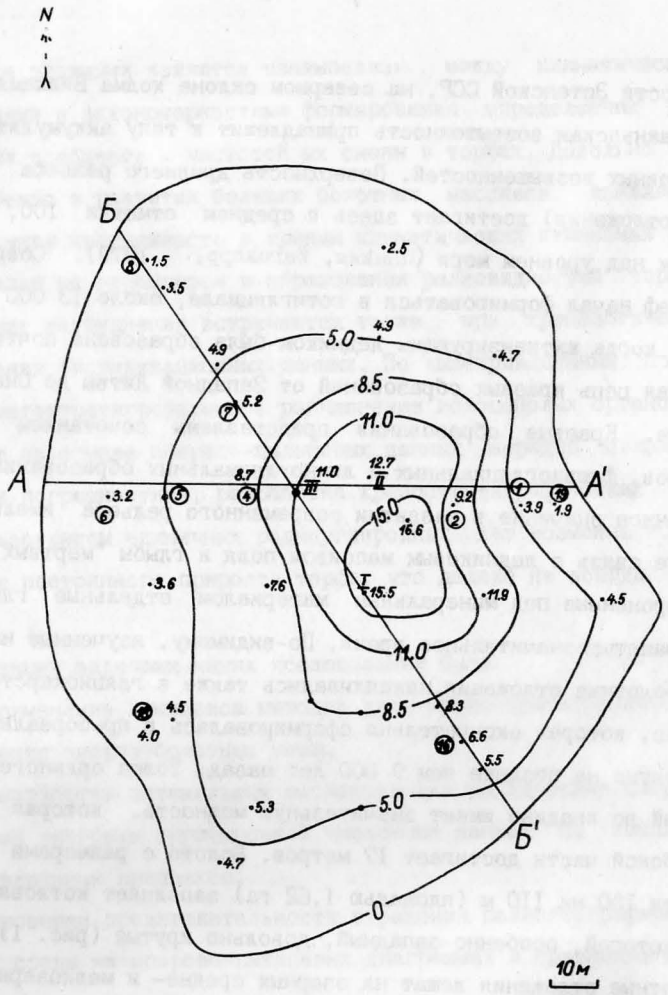


Рис. I. Расположение скважин и изолинии мощностей органогенной залежи в мелкой впадине Вялламяги.
Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 1. Location of drill-holes and isolines of thickness of organogenic layer in the small kettle-hole of Vällamägi. For legend see fig. 2.

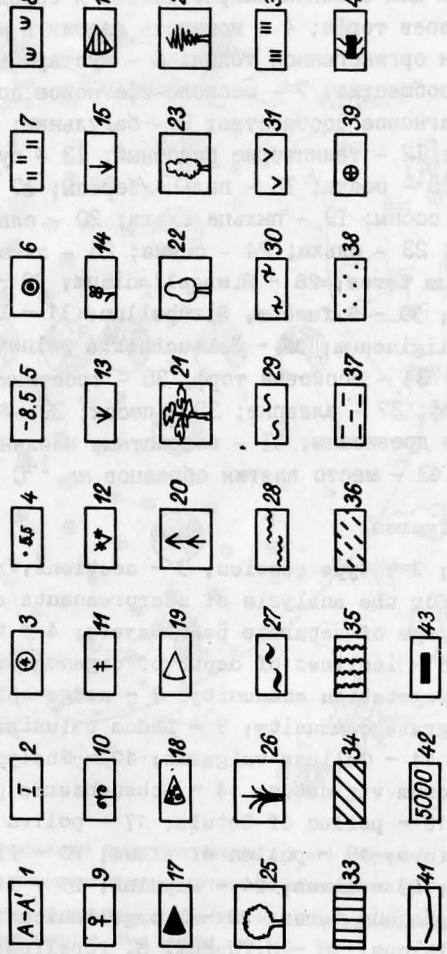


Рис. 2. Условные обозначения см. на следующей странице.

Fig. 2. Legend to figures see the next page.

Условные обозначения к рисункам.

I - профиль; 2 - опорные разрезы; 3 - разрезы, откуда отбирались образцы для анализа макроостатков и определения возраста отдельных слоев торфа; 4 - мощность залежи в метрах; 5 - изолинии глубин органогенной толщи; 6 - кустарнико-сосновое растительное сообщество; 7 - осоково-сфагновое сообщество; 8 - пушицево-сфагновое сообщество; 9 - багульник; I0 - голубика; II - вереск; I2 - телиптерис болотный; I3 - пушица; I4 - шейхцерия; I5 - осока; I6 - пыльца берёзы; I7 - пыльца ели; I8 - пыльца сосны; I9 - пыльца ольхи; 20 - ель; 2I - сосна; 22 - берёза; 23 - ольха; 24 - осина; 25 - липа; 26 - лещина; 27 - Sphagnum teres; 28 - S.magellanicum; 29 - S.cuspidatum, S. balticum; 30 - S.fuscum, S.rubellum; 31 - Ledum palustre, Vaccinium uliginosum; 32 - Scheuchzeria palustris; 33 - древесный торф; 34 - осоковый торф; 35 - тростниковый торф; 36 - гипновый торф; 37 - алеврит; 38 - песок; 39 - кусочки угля; 40 - остатки древесины; 4I - возрастные изолинии; 42 - возраст, л.н.; 43 - место взятия образцов на ^{14}C анализ.

Legend to figures.

1 - profile; 2 - type section; 3 - sections, from which samples were taken for the analysis of macroremnants and for determination of the age of separate peat layers; 4 - thickness of layer in meters; 5 - isolines of depth of organogenic stratum; 6 - shrub-pine vegetation community; 7 - sedge-sphagnum community; 8 - cotton-grass community; 9 - Ledum palustris; 10 - Vaccinium uliginosum; 11 - Calluna vulgaris; 12 - Thelypteris palustris ; 13 - Eriophorum vaginatum; 14 - Scheuchzeria palustris; 15 - Carex sp.; 16 - pollen of Betula; 17 - pollen of Picea; 18 - pollen of Pinus; 19 - pollen of Alnus; 20 - Picea; 21 - Pinus; 22 - Betula; 23 - Alnus; 24 - Populus; 25 - Tilia; 26 - Corylus; 27 - Sphagnum teres; 28 - S.magellanicum; 29 - S. cuspidatum, S.balticum; 30 - S.fuscum, S. rubellum; 31 - Ledum palustris, Vaccinium uliginosum; 32 - Scheuchzeria palustris ; 33 - woody peat; 34 - sedge peat; 35 - reed peat; 36 - hypnofen peat; 37 - aleurite; 38 - sand; 39 - pieces of coal; 40 - arborescent remains; 41 - isolines of age; 42 - age, y.a.; 43 - places where samples were taken for ^{14}C analysis.

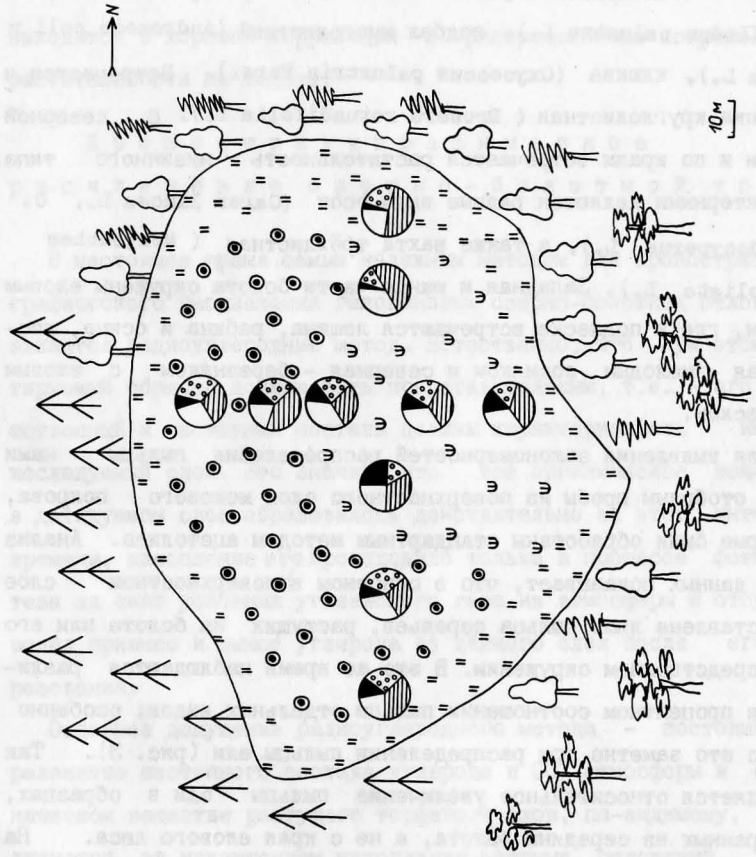


Рис. 3. Современный растительный покров на болоте и в его окружении и содержание спор и пыльцы в поверхностных образцах. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 3. Current vegetation on the bog and in its vicinity and contents of spores and pollen in surface samples. For legend see fig. 2.

болотная (Scheuchzeria palustris L.), из кустарничков багульник (Ledum palustre L.), подбел многолистный (Andromeda polifolia L.), клюква (Oxycoccus palustris Pers.). Встречается и росянка круглолистная (Drosera rotundifolia L.). В северной части и по краям встречается растительность низинного типа. Характерными являются разные виды осок (Carex limosa L., C. pseudocyperus L.), а также вахта трёхлистная (Menyanthes trifoliata L.). Западная и южная части болота окружены еловым лесом, где в подлеске встречаются лещина, рябина и осина, восточная - молодым сосняком и северная - березняком с еловым подлеском.

Для выявления закономерностей распределения пыльцы нами были отобраны пробы из поверхностного слоя мохового покрова, которые были обработаны стандартным методом ацетолиза. Анализ этих данных показывает, что в основном в поверхностном слое представлена лишь пыльца деревьев, растущих на болоте или его непосредственном окружении. В это же время наблюдаются различия в процентном соотношении пыльцы отдельных видов; особенно чётко это заметно при распределении пыльцы ели (рис. 3). Так выявляется относительное увеличение пыльцы ели в образцах, отобранных из середины болота, а не с края елового леса. На это обратила внимание и Р. Муркайте (1969), по данным которой пыльца ели встречается на расстоянии 180 - 320 м от края леса в девять раз больше, чем на расстоянии 5 - 10 м. Пыльца остальных древесных пород распределяется более равномерно. Кроме древесной пыльцы, встречались и пыльца вересковых и некоторых травянистых растений, как Gramineae , Cyperaceae , а также споры папоротников и сфагновых мхов. Их состав, в основном,

находится в хорошей корреляции с распределением современной растительности на болоте.

Хроностратиграфическое расчленение озерно-болотной толщи

В настоящее время самым надежным методом для хроностратиграфического расчленения голоценовых озерно-болотных отложений является радиоуглеродный метод. Естественно, что при этом датируемый образец должен быть представительным, т.е. - его вещественный и изотопный составы должны характеризовать именно исследуемый слой. Это значит, что всё органическое вещество в датируемом слое образовалось действительно за этот интервал времени, накопление его происходило только в процессе фотосинтеза за счет усвоения углекислого газа из атмосферы и отсутствовал привнос и вынос углерода из данного слоя после его образования.

Основное допущение радиоуглеродного метода - постоянное равенство изотопного состава углерода в CO_2 атмосферы и органическом веществе растущего торфяного слоя, по-видимому, реализуется, за исключением накопления озерных отложений, где из-за усвоения неактивного углерода в форме бикарбоната в органогенных отложениях может быть определенный дефицит изотопа ^{14}C "удревнение" образцов. Сложнее обстоит вопрос с гомогенностью вещественного состава исследуемых слоев. Здесь надо учитывать, что торф представляет собой полидисперсную систему, которая состоит из стеблей и корней растений. Последние, однако, могут проникать в нижезалегающие слои, тем самым "омо-

лаживая " их возраст. Особенно необходимо считаться с этим фактором при исследовании разрезов, где встречаются заметные изменения в составе растительных сообществ и скорости торфонакопления. Кроме того, в процессе разложения и гумификации органическое вещество частично превращается в легкорастворимые гумусовые соединения, которые становятся миграционноспособными.

При детальных реконструкциях несомненно надо учитывать этот фактор, но в это время нельзя преувеличивать его влияние. Явно неправильной является интерпретация радиоуглеродных и спорово-пыльцевых данных, приведенная К.Е. Ивановым и Г.И. Клейменовой (I984). Опираясь на данные спорово-пыльцевого анализа образцов по разрезам в разных частях единого болотного массива и радиоуглеродные датировки, эти авторы приходят к выводу, что из-за интенсивного массообмена циркулирующими водами происходит привнос органического материала, из-за чего отдельные голоценовые образцы могут "омолаживаться" вплоть до 5 000 лет. Если предполагать, что приведенные в указанной работе в качестве примера бореальные слои были "омоложены" до суббореального возраста из-за привноса современного материала, простые вычисления показывают, что требуется привнос вторичного материала почти в количестве 50%. Очевидно, что миграция органического вещества в торфяной залежи в таком количестве немыслима, тем более что все ^{14}C лабораторий при химической обработке образцов извлекают из них легкоподвижные гумусовые вещества. Таким образом, в вышеназванной работе просто игнорируются широкоизвестные закономерности формирования спорово-пыльцевых спектров (напр.

Tauber , I965; Кабайлене, I969 и др.).

Определенные различия между ^{14}C и истинными возрастами могут возникать также при отборе образцов без учета закономерностей развития торфяной залежи. Особенно это проявляется при отборе тонкослойных образцов, когда для получения нужного количества материала необходимо заложить несколько скважин. При этом возникают затруднения в достижении одной и той же глубины отбора и искажения, связанные с тем, что одноглубинные слои из-за различий в динамике накопления даже на незначительных расстояниях могут иметь разное время формирования. Учитывая это, а также то, что практически невозможно полностью исключить влияние проникающих в нижезалегающие слои корней растений, неразумно слишком уменьшать толщину датируемых слоев. Возможно, что оптимальным является слой, который накопился за время, сравниваемое с величиной статистической ошибки радиоуглеродных датировок (т.е. I00-I50 лет).

Чтобы получить нужное количество материала для ^{14}C анализа (и учитывая прирост торфа), образцы толщиной от 3 до 20 см были отобраны в среднем из 5 параллельно заложенных скважин.

При отборе материала наряду с глубинами следили за тем, чтобы образцы из отдельных скважин отбирались из схожих по литологическим и ботаническим характеристикам слоев. Используя кислотно-щелочную обработку, из образцов были извлечены гумусовые вещества. Всего было датировано 24 образца (рис.I, 4, табл.I).

Следует отметить, что торфяная залежь в замкнутой впадине Вялламяги является весьма надежным объектом для радиоуглеродных исследований, так как там прирост торфа большой, из-за че-

Таблица I

Список радиоуглеродных датировок по озерно-болотным отложениям в замкнутой впадине Вялламяги

Номер скважины (см.рис.I)	Глубина отбора, м	Конвенциональный радиоуглеродный возраст, лет	Лабораторный индекс и номер образца
	2,20-2,25	500 ± 80	Tln -7I6
	4,50-4,55	I345 ± 40	Tln -7I8
	7,00-7,05	2205 ± 40	Tln -7I9
	7,75-7,80	2245 ± 35	Tln -7I7
B-I	8,80-8,85	3085 ± 45	Tln -722
	9,90-9,95	3485 ± 35	Tln -720
	II,75-II,80	5590 ± 30	Tln -72I
	I3,23-I3,30	6220 ± II0	Tln -686
	I3,44-I3,50	6980 ± 90	Tln -687
	I,I5-I,I8	современный	Tln -656
	I,20-I,25	6I0 ± 40	Tln -726
	2,26-2,29	I500 ± II0	Tln -665
	5,43-5,47	3240 ± 2I0	Tln -657
	7,I3-7,I6	4I00 ± 200	Tln -658
B-III	7,80-7,84	4670 ± II0	Tln -666
	9,I3-9,33	5450 ± 240	Tln -659
	9,64-9,68	6730 ± I00	Tln -664
	9,9I-9,94	6765 ± 65	Tln -652
	I0,25-I0,28	85I0 ± 70	Tln -655
	I0,69-I0,73	8640 ± 55	Tln -65I
	I0,86-I0,90	8820 ± 60	Tln -650
B-7	4,90-5,00	4925 ± 45	Tln -743
B-I9	I,63-I,68	2350 ± 25	Tln -728
	I,68-I,78	2020 ± 20	Tln -727

го вклад проникающих вглубь корней отдельных растений относительно невелик. Используя данные анализов макроостатков в изученных профилях (рис. II, I2), мы вычислили максимально возможные отклонения радиоуглеродных возрастов от истинных из-за проникновения корней (табл. 2). При вычислениях предполагалось, что ризомы **Thelypteris palustris, Scheuchzeria palustris, Phragmites australis,** а также корни кустарничковых и деревьев в данном случае могут проникать до глубины I м.

Таблица 2

Максимально возможное "омоложение" датируемого слоя из-за проникновения ризом и корней из вышележащих слоев

Лабораторный индекс и номер образца	Конвенциональный радиоуглеродный возраст, лет	Возможное искажение, лет
Tln -7I6	500 ± 80	+II5
Tln -7I8	I345 ± 40	+ 65
Tln -7I7	2245 ± 35	+ 35
Tln -722	3085 ± 45	+II5
Tln -72I	5590 ± 30	+230
Tln -652	6765 ± 65	+ 35
Tln -650	8820 ± 60	+II5

Как видно, величины теоретически возможных отклонений довольно малы, и в дальнейшем они учитываться не будут.

При вычислении возраста отдельных слоев также был использован метод постоянного объемного веса (Илометс, I980), достоверность основ которого уже нашла экспериментальное подтверждение (Илометс и др., I984). При помощи этого метода

становится возможным вычислять возраст отдельных слоев, что имеет значение при непрерывной возрастной интерпретации данных спорово-пыльцевого и ботанического анализов профилей.

Основой метода является предпосылка временного постоянства скорости аккумуляции массы органического вещества в залежи сфагнового торфа. Экспериментальное подтверждение такого допущения выявлено для верхового сфагнового торфа (Илометс, 1979). Вычисление возраста отдельных слоев сфагнового торфа можно представить следующим образом.

Во-первых, находят предполагаемые мощности (h_{o_i}) слоев торфа при определенной, принятой за константу величине объемного веса (δ_o) торфа:

$$h_{o_i} = \frac{\delta t_i}{\delta o} h_{t_i},$$

где δt_i - объемный вес торфа i -го слоя, г/см^3,

$h t_i$ - мощность i-го слоя торфа, см.

Затем все найденные величины h_{o_i} до глубины радиоуглеродной датировки в данной скважине суммируют и получается мощность залежи h_o при δ_o:

$$h_o = \sum_{i=1}^{n} h_{o_i},$$

где i - номер слоя,

n - количество слоев.

На основе величин h_o и радиоуглеродного возраста T вычисляют линейный прирост L_o торфа при δ_o

$$L_o = \frac{h_o}{T}.$$

Далее можно уже вычислить время образования каждого слоя торфа в профиле:

$$T_i = \frac{h_{o_i}}{h_o} \cdot T = \frac{h_{o_i}}{L_o},$$

Необходимой предпосылкой применения метода является непрерывность накопления торфа, т.е. возраст слоев можно вычислить только для тех частей залежи, которые не подвергались пожарам. Кроме того, для получения достоверных величин необходимо послойное изучение залежи - при бурении надо выделить и самые тонкие (до I см) прослойки торфа, имеющие различный состав растительных остатков и разную степень разложения, и находить их объемные веса.

Стратиграфическое изучение залежи Вялламяги показывает, что в ее нижней части примерно 7000 лет назад имел место перерыв в осадконакоплении продолжительностью около 500 лет. Поэтому возраста слоев торфа можно вычислять только в части залежи моложе 7000 лет.

Вычисления возрастов в разрезах В-I и В-III основывались на радиоуглеродных датировках образцов Tln-687 и Tln -652 соответственно. В разрезе В-III отклонения вычисленных образцов от датированных незначительные. Некоторые отклонения имеются в разрезе В-I, причем вычисленные возраста по обоим разрезам оказываются немного древнее, чем датированные ^{14}C методом возраста (рис.4). Это отчасти объясняется тем, что из-за непостоянства в скорости генерации ^{14}C радиоуглеродные возраста образцов с истинным возрастом около 7000 лет занижены приблизительно на 600 лет. По этой причине вычисленный средний прирост несколько меньше истинного, из-за чего и вычисленные возраста превосходят радиоуглеродные.

Так как скорость накопления массы торфа в разрезе В-I колеблется во времени существенно больше, чем в разрезе В-III (рис.5), ошибки в усреднениях в первом случае больше и расхож-

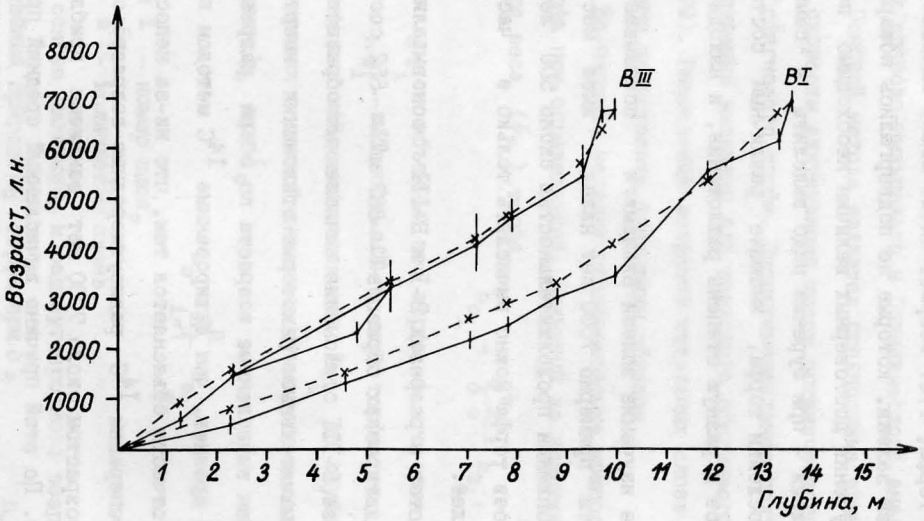


Рис. 4. Возраста отдельных слоев торфа в скважинах В-I и В-III по данным ^{14}C (сплошная линия, ^{14}C датировки приведены со статистической ошибкой) и по данным постоянного объемного веса (пунктир).

Fig. 4. ^{14}C ages of separate peat layers in drill-holes B-I and B-III (solid line - ^{14}C datings with statistical error) and ages according to constant peat density data (dotted line).

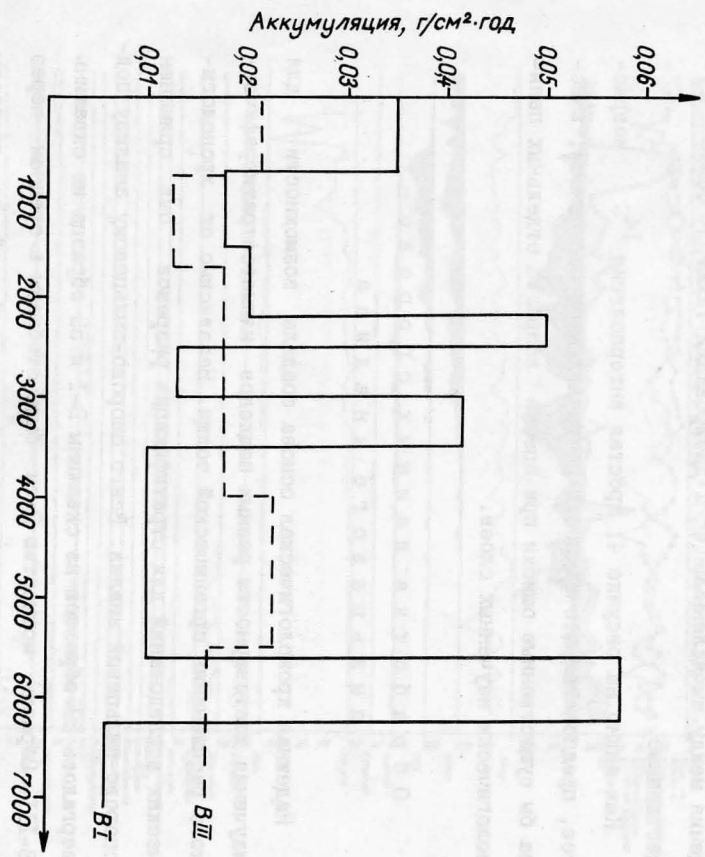


Рис. 5. Динамика аккумуляции торфа в скважинах В-I и В-III.

Fig. 5. Dynamics of peat accumulation in drill-holes B-I and B-III.

дения между вычисленными и ^{14}C датировками также более существенные.

Как видно на рисунке 4, простая интерполяция ^{14}C возрастов, предполагая, что скорость роста является постоянной, внесла бы существенные ошибки при оценке возраста отдельных палинологически изученных слоев.

Обработка данных спорово-пыльцевого анализа

Надежная хронологическая основа создала возможности для изучения достоверности разных подходов климатостратиграфического расчленения органической толщи. Независимо от хронологических исследований для стратификации разрезов был применен спорово-пыльцевой анализ. Всего спорово-пыльцевому анализу подвергалось 59 образцов из скважины В-I и 53 образца из скважины В-III. Образцы мощностью 2 см были отобраны в среднем через 20-25 сантиметров с расчётом, что изучаемый слой по возрасту охватит около 20 лет. Обработка образцов для спорово-пыльцевого анализа проводилась методом ацетолиза. Из каждого образца суммарно было подсчитано 200 древесных пыльцевых зёрен. Процентное содержание всех компонентов спектра представлено на диаграммах (рис. 6,7).

Так как изученные скважины находятся в непосредственной близости, на расстоянии 30 м друг от друга, большой интерес представляет сравнение диаграмм. Как видно на рисунках 6 и 7, диаграммы довольно сходные. В то же время выявляются значительные различия в относительных количествах пыльцы отдельных видов.

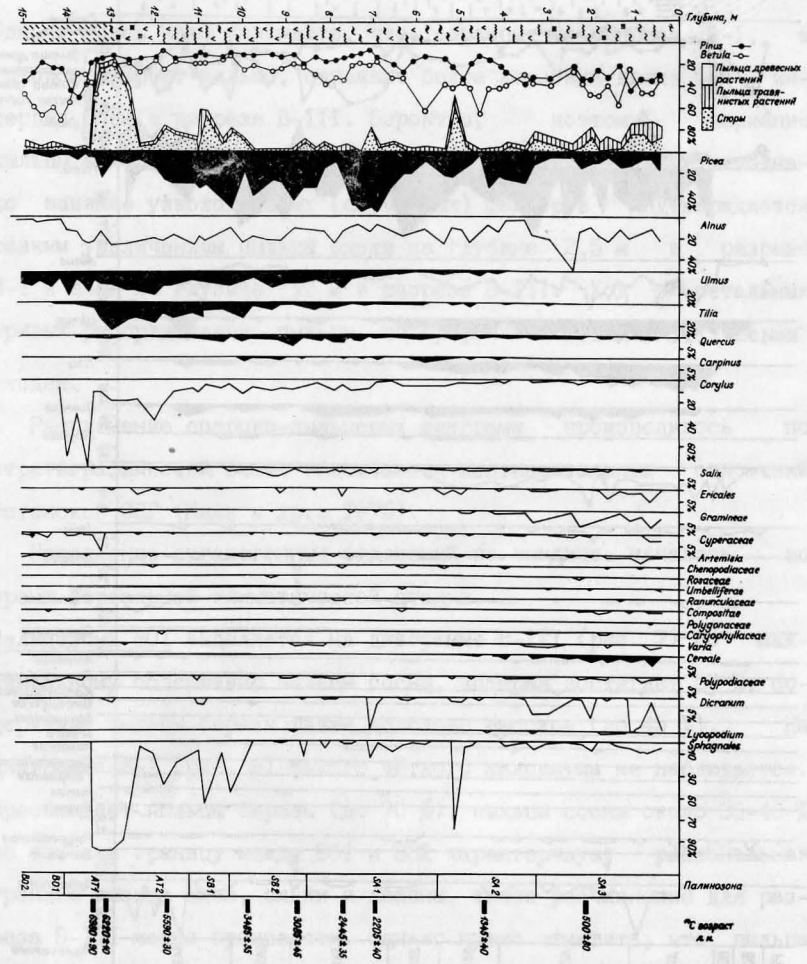


Рис. 6. Спорово-пыльцевая диаграмма по скважине В-I. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 6. Spore-and-pollen diagram of B-I drill-hole. For legend see fig. 2.

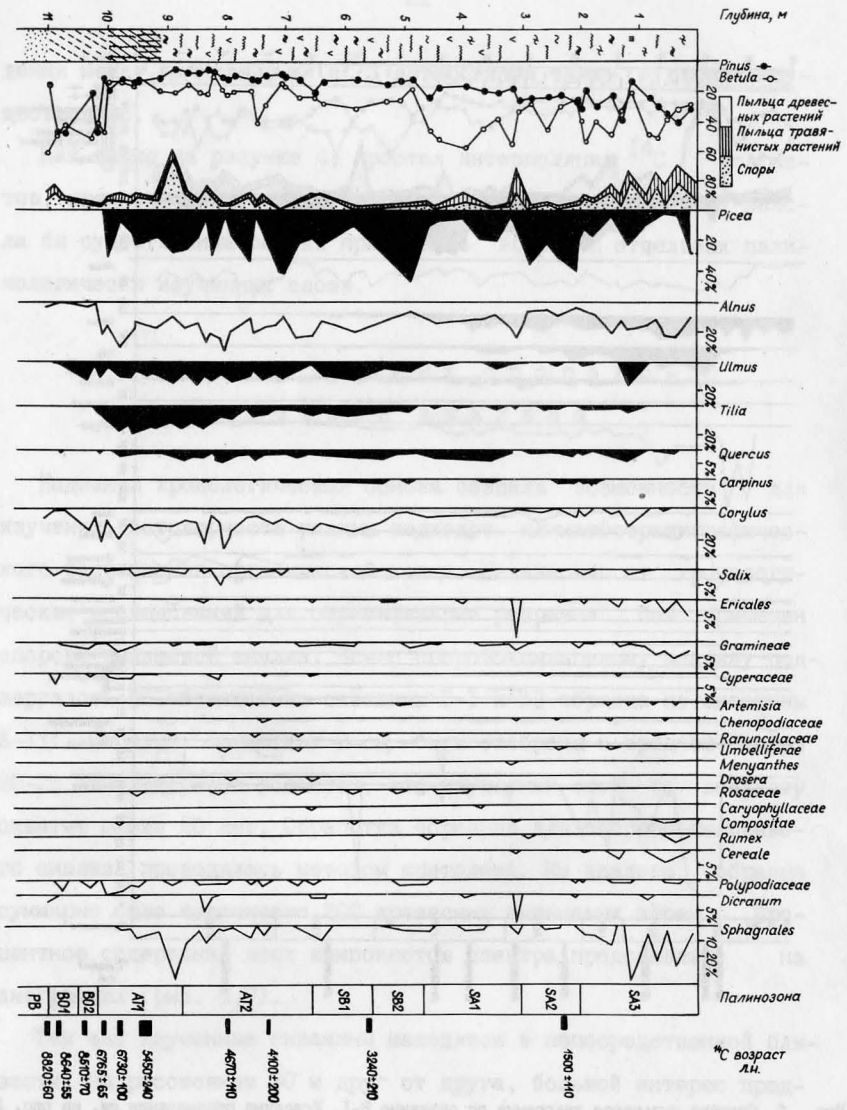


Рис. 7. Спорово-пыльцевая диаграмма по скважине B-III. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 7. Spore-and-pollen diagram of B-III drill-hole. For legend see fig. 2.

Однако здесь надо учитывать, что образцы из разреза Б-I, в котором прирост больше, отражают более короткий временный интервал, чем в разрезе B-III. Вероятно, поэтому вариации пыльцы ели в спектрах этой скважины более значительные. Однако влияние узколокальных (случайных) факторов подтверждается резким увеличением пыльцы ольхи на глубине 2,5 м в разрезе B-I и вяза на глубине I,2 м в разрезе B-III. Ход остальных кривых распределения пыльцы по профилям B-I и B-III весьма сходен.

Расчленение спорово-пыльцевых диаграмм производилось по стратиграфической схеме голоценовых континентальных отложений Эстонской ССР (Каяк и др., I976).

Накопление органогенных отложений во впадине началось во время бореальной климатической стадии.

Палинозона BOI выделяется на диаграмме B-III (рис. 7) по максимальному содержанию пыльцы сосны, которая достигает 50 %, содержание пыльцы березы также довольно высокое (до 45 %). На диаграмме B-I (рис. 6) такого чёткого максимума не наблюдается. Преобладает пыльца березы (до 70 %), пыльцы сосны около 30-40 %, но так как границу между BOI и BO2 характеризует рациональная граница пыльцы вяза, ольхи и лещины, такое расчленение для разреза B-III можно произвести. Однако нужно отметить, что пыльца вяза встречается в довольно значительных количествах (до I0-I5 %) уже с начала бореальной стадии.

Палинозона BO2 характеризуется пыльцой сосны (до 50 %) и березы (до 50 %). Содержание пыльцы ольхи и вяза достигает 20%. Пыльцы лещины I0-I5 %. Выделение палинозон BOI и BO2 на диаграмме Б-I является довольно затруднительным и спорным. Если учитывать,

что граница между бореальной и атлантической стадиями фиксируется по четко выраженному увеличению содержания пыльцы широколиственных пород. ольхи и максимумом содержания пыльцы лещины, то границу AT/BO на диаграмме B-I можно было бы провести примерно на глубине I4,5 м, но в том случае спорово-пыльцевой спектр, в котором преобладает береза (до 70 %), не является характерным для бореальной стадии. Если это объяснить как локальное явление, то можно было бы объяснить и повышение пыльцы лещины до 70% и считать максимумом следующее повышение до 40%. Учитывая и ^{14}C датировки, это было бы целесообразнее.

Палинозона AT1 характеризуется по стратиграфической схеме как палинозона вяза (содержанием в среднем I5%) и лещины (25 %). На диаграммах B-I и B-III эти палинозоны характеризуются повышением содержания пыльцы ольхи (до 30%) и ели (до 30%). Такое высокое содержание пыльцы ели в отложениях атлантической стадии других разрезов Юго-Восточной Эстонии не отмечается, в среднем оно составляет I5%. Несколько увеличивается и содержание пыльцы липы и дуба (в среднем достигает I5-20%).

Палинозона AT2 характеризуется как зона липы с максимумом пыльцы широколиственных, на диаграммах B-I и B-III таких чётких критериев мало. Как было отмечено выше, особого максимума пыльцы широколиственных не отмечается, он замаскирован высоким содержанием пыльцы ели (30-40%). Содержание пыльцы ольхи колеблется в пределах I5-20%. Граница между атлантической и суббореальной стадиями по стратиграфической схеме сопоставляется с уровнем уменьшения содержания пыльцы широколиственных, особенно вяза и липы. Особенно трудно выделить границу SBI/AT2 на

диаграмме B-I, где в течение всей суббореальной стадии количество пыльцы широколиственных пород практически на одном уровне.

Палинозона SBI, кроме уменьшения пыльцы широколиственных, характеризуется содержанием березы до 40%, сосны до 20%, ольхи до 20% и лещины I0-I5%. Хотя палинозона SBI имеет название - зона дуба (содержание I5%), на диаграммах B-I и B-III повышения содержания пыльцы дуба не отмечается, оно остается на стабильном уровне (до 5%). Следует отметить, что четкого максимума дуба не отмечается и на других диаграммах Юго-Восточной Эстонии (Ильвес и др., I974; Мяэметс, I983).

Палинозона SB2 выделяется по определенному признаку - повышению содержания пыльцы ели. Зону нижней ели можно выделить и на диаграммах из болота Вялламяги, где начинается повышение пыльцы ели от I0% до 40%. Однако нужно отметить, что такого рода повышения встречаются и на более ранних стадиах, например, на диаграмме B-I в конце атлантической стадии и B-III в начале суббореальной стадии. Количество пыльцы других древесных пород уменьшается. Содержание пыльцы сосны и березы остается в пределах 20-30%. Уменьшается содержание пыльцы ольхи от 20% до I0%, а также содержание пыльцы широколиственных.

В верхней части палинозоны отмечается и уменьшение содержания пыльцы ели. По одновременному повышению пыльцы березы и сосны выделяется и граница между суббореальной и субатланти - ческой стадиями.

Палинозона SAI характеризуется повышением пыльцы березы до 60%. Содержание пыльцы ольхи не достигает заметного повышения, лишь в верхней части оно доходит до 20%. Пыльца сосны достигает 20-

30%, пыльца широколиственных - 10-12%.

Граница между зонами SA1 и SA2 проводится ниже верхней кульминации пыльцы ели.

Палинозона SA2 выделяется по увеличению содержания пыльцы ели с 5% до 40%. Содержание пыльцы сосны 20%, березы 30-40%, ольхи 15-20%.

Граница между палинозонами SA2 и SA3 выделяется по уменьшению содержания пыльцы ели и увеличению пыльцы сосны и березы.

Палинозона SA3 характеризуется содержанием пыльцы березы до 50%, сосны до 40%, ольхи 20-30%. Содержание пыльцы ели уменьшается до 20%. Однако, учитывая большие колебания содержания пыльцы ели в поверхностных пробах и ее нерегулярные вариации по обоим профилям, разделение субатлантической стадии на отдельные зоны затруднено.

Следует также отметить, что данные анализа торфа показывают, что в окружающих болото лесах неоднократно происходили пожары (примерно 2000, 1200, 800, 500 и 300 л.н.). Это могло повлиять и на развитие растительных сообществ.

Для оценки надёжности и объективности выделения отдельных палинозон в Институте кибернетики АН ЭССР была проведена математическая обработка спорово-пыльцевых данных, используя соответствующие программы (Кукс, Каролин, Тийтс, 1981; Dixon , 1977).

За последние 15 лет накопился богатый опыт (Prentice , 1980) по применению статистических методов многомерного анализа для обработки спорово-пыльцевых диаграмм. Установлено, что наилучшим методом анализа изменений спорово-пыльцевых

спектров во времени является метод главных компонент. Идея применения этого метода при анализе временного хода спорово-пыльцевых спектров заключается в определении в многомерном пространстве спектров таких маломерных линейных подпространств, в которых по всем спектрам произошли наибольшие изменения.

В качестве исходных данных для каждого образца являлись процентные содержания пыльцы десяти древесных пород (ель, сосна, береза, ольха, вяз, липа, дуб, граб, ясень, клён). Таким образом, каждый спорово-пыльцевой спектр представлен точкой в десятимерном пространстве, а вся диаграмма по одной скважине-множеством точек в этом же пространстве. Для перехода в одномерное линейное пространство определяется прямая линия, от которой сумма квадратов расстояний до всех точек была бы минимальной. Проекция точек на эту прямую - первая главная компонента (Φ_I) - является наилучшей одночисловой функцией для изменчивости в спектрах.

Когда первая главная компонента определена, то вторая главная компонента (Φ_2) определяется перпендикулярно к первой таким образом, чтобы образованная ими двухмерная плоскость наилучшим образом аппроксимировала бы данное множество точек. Если две первые главные компоненты еще не позволяют достаточно точно описать изменчивость в данных, то аналогично определяется третья главная компонента (Φ_3) и т.д.

Первым шагом в применении статистических методов многомерного анализа является вычисление средних значений и стандартных отклонений отдельных переменных, в данном случае процентных долей пыльцы древесных пород по всем образцам в обеих скважинах.

Таблица 3

Средние значения и стандартные отклонения процентных долей древесной пыльцы отдельных родов

Род	Средние значения		Стандартные отклонения		Коэффициенты вариации	
	BI	BIII	BI	BIII	BI	BIII
Ель	I7,8	20,I	I4,0	I3,4	0,79	0,67
Сосна	20,2	I9,9	I0,5	I0,9	0,52	0,55
Береза	34,I	32,5	I4,I	I4,I	0,4I	0,43
Ольха	I6,3	I5,I	8,I9	8,07	0,50	0,54
Вяз	6,8I	6,44	6,I0	5,72	0,90	0,89
Липа	3,33	4,28	5,56	5,46	I,67	I,28
Дуб	I,I3	I,48	0,94	I,20	0,83	0,8I
Граб	0,2I	0,I9	0,42	0,32	I,98	I,66
Ясень	0,03	0,05	0,II	0,I5	4,36	3,I6
Клён	0,008	0,0	0,06	0,0	7,68	-

Как видно (табл. 3), средние величины и стандартные отклонения для обеих скважин практически совпадают. Наиболее стабильными компонентами являются пыльца березы, ольхи и сосны, менее стабильными- пыльца ясени, граба и липы.

Используя данные, можно ещё вычислить матрицу корреляционных коэффициентов между пыльцой отдельных древесных пород для обеих скважин (табл. 4, 5). Как видно, существует четкая отрицательная корреляция между процентным содержанием пыльцы ели и сосны, ели и березы, но положительная - между долей пыльцы ели и дуба и т.д. Расхождение в отдельных соответствующих коэффициентах корреляции для двух скважин остается в допустимых пределах, если учесть, что они вычислены на основе небольших выборок (59 при B-I и 53 при B-III).

При вычислении главных компонент применяются или ковариа-

Таблица 4

Матрица корреляционных коэффициентов для скважины B-I

	Ель	Сосна	Берёза	Ольха	Вяз	Липа	Дуб	Граб	Ясень	Клён
Ель	I									
Сосна	-0,495	I								
Береза	-0,546	0,2I7	I							
Ольха	-0,I85	-0,I96	-0,393	I						
Вяз	-0,035	-0,322	-0,37I	-0,003	I					
Липа	0,026	-0,465	-0,5I5	-0,325	0,554	I				
Дуб	0,393	-0,293	-0,366	0,I78	-0,059	0,II3	I			
Граб	0,I96	-0,336	0,007	0,046	-0,032	0,052	0,I35	I		
Ясень	0,I86	-0,264	0,004	-0,063	-0,002	0,038	0,I50	0,477	I	
Клён	-0,047	-0,039	0,086	0,099	-0,I48	-0,022	0,038	-0,067	-0,030	I

Таблица 5

Матрица корреляционных коэффициентов для скважины В-III

	Ель	Сосна	Берёза	Ольха	Вяз	Липа	Дуб	Граб	Ясень	Клён
Ель	I									
Сосна	-0,452	I								
Береза	-0,658	0,473	I							
Ольха	-0,113	-0,516	-0,452	I						
Вяз	0,150	-0,639	-0,514	0,349	I					
Липа	0,142	-0,573	-0,664	0,552	0,615	I				
Дуб	-0,010	-0,434	-0,139	0,379	0,243	0,212	I			
Граб	0,245	-0,177	-0,097	-0,035	-0,013	-0,021	0,152	I		
Ясень	0,185	-0,175	-0,210	0,018	0,187	0,194	-0,020	0,008	I	
Клён	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ционные (Prentice , 1980), или корреляционные (Birks , Berg - lund, 1979) матрицы. Применение корреляционной матрицы равносильно трансформации исходных переменных (процентных долей) делением их значений на соответствующие стандартные отклонения. Без такой трансформации (ковариационная матрица) большее влияние на образование первых главных компонент имеют те породы, пыльца которых имеет большую вариабельность. Это, как правило, те виды, процентные доли которых тоже большие. В нашем случае это означает, что структура первых главных компонент определялась бы вариабельностью пыльцы березы, ели, сосны, ольхи, зато пыльца липы, вяза, дуба почти не оказала бы влияния. Нами проводилась обработка данных по обеим матрицам, но наиболее информативными были результаты, полученные по корреляционной матрице, поэтому в данной работе мы приводим только их.

В это же время надо отметить, что в случае ковариационной матрицы аппроксимируемость первыми главными компонентами возрастает с увеличением числа компонент быстрее, чем в случае корреляционной матрицы. Так, при ковариационной матрице уже первая главная компонента объясняет половину вариабельности, а три компоненты - девяносто процентов. При корреляционной матрице первая главная компонента объясняет только 28%-ную вариабельность, и только шесть главных компонент - девяносто процентов. При ковариационной матрице первые главные компоненты по обоим разрезам имеют также весьма близкие нагрузки, а образованные в десятимерном пространстве углы между векторами главных компонент равны:

$$\Phi_I^{\,I} \wedge \Phi_I^{\,III} \sim 10^{0},$$

$$\Phi_2^{I} \wedge \Phi_2^{III} \sim 37^{o},$$

$$\Phi_3^{I} \wedge \Phi_3^{III} \sim 44^{o}.$$

Углы между соответствующими векторами главных компонент при корреляционной матрице имеют большие значения:

$$\Phi_I^{I} \wedge \Phi_I^{III} \sim 15^{o},$$

$$\Phi_2^{I} \wedge \Phi_2^{III} \sim 50^{o},$$

$$\Phi_3^{I} \wedge \Phi_3^{III} \sim 77^{o}.$$

Таким образом, при применении корреляционной матрицы данные по двум скважинам согласуются хуже, что вполне понятно, учитывая, что при этой матрице пыльца всех древесных пород имеет почти равносильное значение.

На основании данных по определению возраста отдельных слоев в обоих профилях, на рисунках 8 и 9 приведены изменения временного хода первых двух компонент, вычисленные по корреляционной матрице для обеих скважин.

Наиболее информативным является ход первой главной компоненты, изменения второй и особенно третьей главных компонент воспроизводят больше случайного шума и их интерпретация является более сложной задачей. Временной ход первой главной компоненты по обеим скважинам очень похожий, что является свидетельством того, что эти графики весьма хорошо описывают ход спорово-пыльцевых спектров в многомерном пространстве за изучаемый интервал времени и, кроме того, показывают, что временная шкала для обеих скважин является достоверной.

Основываясь на изменении морфологических признаков кривой

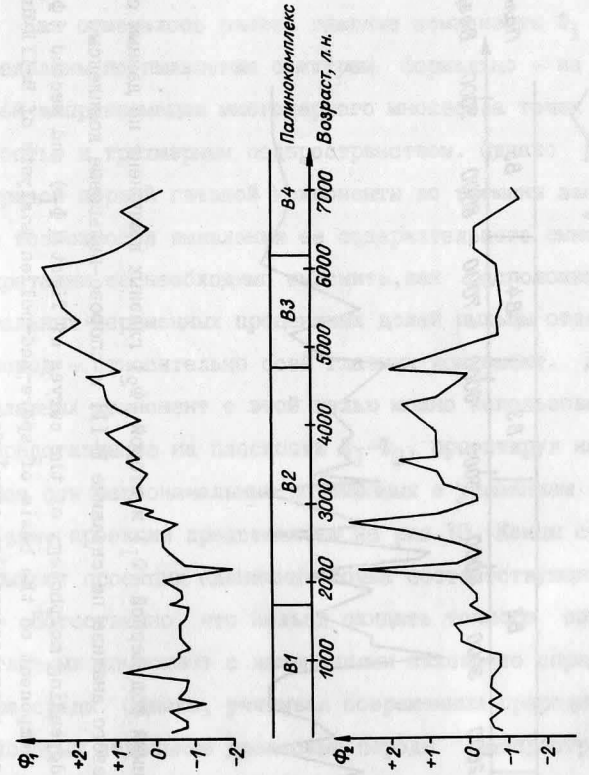


Рис. 8. Временный ход первой (Φ_I) и второй (Φ_2) главных компонент по данным спорово-пыльцевого анализа по скважине B-I и спорово-пыльцевые комплексы.

Fig. 8. Time depending morphology of the curves of first (Φ_I) and second (Φ_2) principal component on the basis of spore-and-pollen analysis of B-I drill-hole and spore-and-pollen complexes.

Рис. 9. Временный ход первой (Φ_I) и второй (Φ_2) главных компонент по данным спорово-пыльцевого анализа по скважине B-III и спорово-пыльцевые комплексы.

Fig. 9. Time depending morphology of the curves of first (Φ_I) and second (Φ_2) principal component on the basis of spore-and-pollen analysis of B-III drill-hole and spore-and-pollen complexes.

второй и третьей главных компонент, можно весьма уверенно выделить по обоим разрезам временные отрезки с одинаковыми признаками кривых (B5 - BI).

Как отмечалось ранее, главные компоненты Φ_I и Φ_2 были определены по пыльцевым спектрам формально - из условий наилучшей аппроксимации многомерного множества точек прямой плоскостью и трехмерным подпространством. Однако регулярный ход кривой первой главной компоненты во времени заставляет думать о возможности выявления ее содержательного смысла. Для интерпретации ее необходимо выяснить, как расположены оси первоначальных переменных процентных долей пыльцы отдельных древесных пород - относительно осей главных компонент. Для двух первых главных компонент с этой целью можно использовать наглядное представление на плоскости Φ_I-Φ_2, проектируя на эту плоскость все оси первоначальных переменных с указанием единичных точек. Такие проекции представлены на рис.I0. Концы стрелок осей указывают проекции единичных точек соответствующих осей.

Естественно, что нельзя ожидать точного совпадения осей главных компонент с изменениями какого-то определенного фактора среды. Однако, учитывая современные природные условия, в которых отдельные древесные породы распространяются, можно предположить, что с осью Φ_I весьма близко совпадают температуры, т.е. увеличение величины Φ_I говорит о повышении температуры и, соответственно, увеличении доли теплолюбивых пород. В пользу такого вывода свидетельствует и общий ход кривых первой главной компоненты по спорово-пыльцевым данным разрезов Вялламяги (рис.

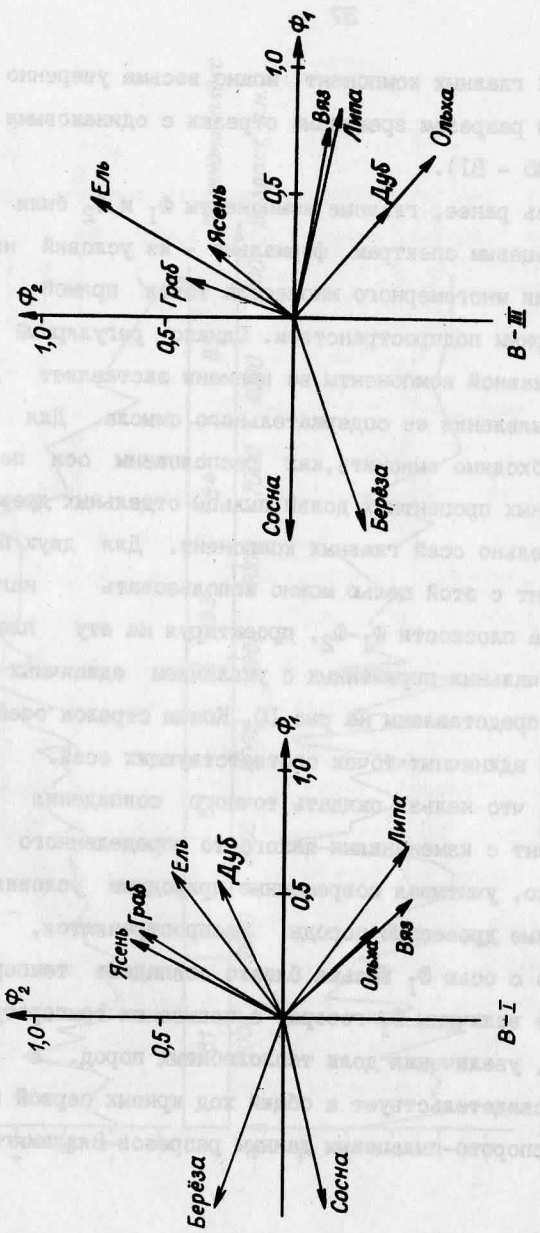


Рис. 10. Представление осей процентных долей на плоскости первых двух главных компонент, вычисленных по корреляционной матрице.

Fig. 10. Vectors of pollen distribution of separate trees on the first and second principal component flat according to correlation matrix.

8, 9) и Южной Швеции (Birks, Berglund, 1979), а также общеизвестные данные об изменениях климатических условий в голоцене. Интерпретация содержания второй главной компоненты является более затруднительной. Вероятно, что в данном случае увеличение величины второй главной компоненты близко отражает увеличение влажности и тенистости. Таким образом, кажется, что полученные аппроксимации в виде главных компонент отражают изменения климатических и экологических условий и на их основе можно проводить климатостратиграфические корреляции.

Сравнительный анализ расчленения спорово-пыльцевых диаграмм

В таблице 6 приведены сводные данные о стратификации озерно-болотных толщ на основе спорово-пыльцевых диаграмм. Как и ожидалось, выделенные отдельные палинозоны в возрастной шкале существенно различаются между собой, также отсутствует чёткая корреляция с региональной стратиграфической схемой Эстонской ССР (Каяк и др., 1976) даже на уровне отдельных климатических стадий. Это говорит о существенном влиянии узколокального растительного состава на формирование спорово-пыльцевых спектров. Зато математическая обработка данных (рис. 7, 8) позволяет выделить на обеих диаграммах 4 палинокомплекса, возрастные рубежи которых между собой довольно хорошо совпадают.

Комплекс В5 характеризуется высокими содержаниями пыльцы сосны и березы. Встречается пыльца ольхи, вяза и лещины. Этот комплекс можно сопоставить с бореальной климатической стадией

Таблица 6

Хроностратиграфическое сопоставление разрезов В-I и В-III и характеристика палинокомплексов

^{14}C возраст л.н.	Палинозоны		Палинокомплексы		Характеристика палинокомплексов
	В-I	В-III	В-I	В-III	
1000	SA3	SA3	B1	B1	сосны до 40% березы до 40%
	SA2	SA2			
2000	SA1	SA1			ели до 50%
3000	SB2	SB2	B2	B2	широколиственных 10-20%
		SB1			
4000	SB1	AT2			
5000	AT2		B3	B3	максимум широколиственных липы до 40%
		AT1			
6000	AT1		B4	B4	сосны до 40% березы до 60% вяза до 20% лещины до 50%
7000		BO2			
8000	BO2 BO1			B5	сосны до 40% березы до 60%

в стратиграфической схеме голоцена Эстонской ССР.

На фоне больших содержаний пыльцы сосны и березы около 7000 лет назад резко повышается содержание пыльцы лещины (которое в профиле В-I достигает 60-70%) и вяза. Это является характерным для комплекса В4, который сопоставим с первой половиной атлантической стадии.

В комплексе В3 количество пыльцы широколиственных пород достигает максимальных величин (до 40-50%). Основной вклад в эту сумму дает пыльца липы, несколько уменьшается содержание пыльцы лещины. По времени верхний рубеж комплекса В3 соответствует концу атлантической стадии (около 4800 л.н.).

Следующий комплекс (В2) характеризуется переходными условиями развития растительности. По данным обеих диаграмм этот комплекс можно подразделить на 2 части, но математическая обоснованность этого разделения меньше. Во время формирования всего комплекса содержание пыльцы широколиственных относительно высокое (10-20%), постоянно уменьшается содержание пыльцы лещины, доминирующей становится пыльца ели, достигающая 40-50%. Характерным для этого комплекса, соответствующего суббореальной и первой трети субатлантической стадии , является высокое содержание пыльцы ели при относительно высоких содержаниях пыльцы широколиственных.

Комплекс В1 характеризуется повышением содержания пыльцы сосны (до 40%) при высоком содержании пыльцы березы. На обеих диаграммах можно выделить подкомплекс, который может отражать начало антропогенного влияния или связан с пожарами.

Как показывает приведенный анализ на спорово-пыльцевых диаграммах из болота Вялламяги, выделение отдельных палинозон

на основе их палинологической характеристики довольно затруднительной субъективно. Более увереннее выделяются более крупные подразделения на основе анализа главных компонент. Эти подразделения по обеим скважинам хорошо сопоставимы и характеризуются определенным соотношением пыльцы отдельных древесных пород. Следует обратить внимание на то, что возрастные рубежи полученных таким образом локальных подразделений плохо сопоставимы с временными рубежами климатических стадий и палинозон на сводной стратиграфической схеме Эстонской ССР (Каяк и др., 1976).

Развитие болота Вялламяги

Пространственно-временной анализ результатов спорово-пыльцевого и ботанического исследований торфов вертикальных профилей залежи во впадине Вялламяги позволяет реконструировать ход развития растительности и изменений природных условий. Как показывают спорово-пыльцевые данные, которые отражают тенденции в развитии растительности в пределах впадины и ее узком окружении, в раннем голоцене состав древесной растительности здесь мало отличался от типичного для Юго-Восточной Эстонии - доминировали сосна и береза, но во всяком случае уже 8000 лет назад в отложениях появляется и пыльца ели. Начиная со среднего голоцена, во впадине и ее окружности существуют условия, благоприятствующие широкому распространению тепло- и влаголюбивых пород. Теневыносливая ель очень быстро вытесняет сосну, на более влажных низких частях крутых склонов растут ольха, лещина и вяз. Наиболее благоприятные условия для развития тепло- и

влаголюбивых пород существовали около 6500-5500 л. н. Далее начинается длительный период, во время которого роль ели в составе древесных пород постепенно увеличивается. При этом отсутствуют признаки похолодания около 5000 лет назад, типичные для начала суббореального периода. По-видимому, развитие растительности во впадине в это время в первую очередь определялось режимом влажности. Ощутимые изменения в межвидовых отношениях начинаются только с середины субатлантической стадии, когда снова доминирующими стали сосна и береза.

Представляет интерес, каким образом развитие древесных пород связано с гидрологическим режимом во впадине, а также с пространственным развитием торфяной залежи в котловине. Ведь колебания уровня воды непосредственно определяли темпы напластования торфа, а также и расширение болота. В ходе поднятия уровня торфяной залежи во впадине с ее склонов шаг за шагом были вытеснены лесные сообщества.

Данные ботанического анализа торфов (рис. 11, 12) и временная динамика прироста торфяной залежи в разрезах В-I и В-III (рис. 4) говорят о сложном характере смены растительных сообществ как во времени, так и в пространстве. На рисунке 13 обобщены результаты ботанического анализа макроостатков в разрезе торфяной залежи. Изменения ботанического состава и видовых соотношений торфов, а также различия в скорости роста торфяной залежи говорят о неоднократных колебаниях уровня воды во впадине. Полученная палеоботаническая информация вместе с достоверной шкалой позволяет реконструировать ход развития растительности во впадине Вялламяги (рис. 14).

Как отмечалось выше, формирование впадины произошло после

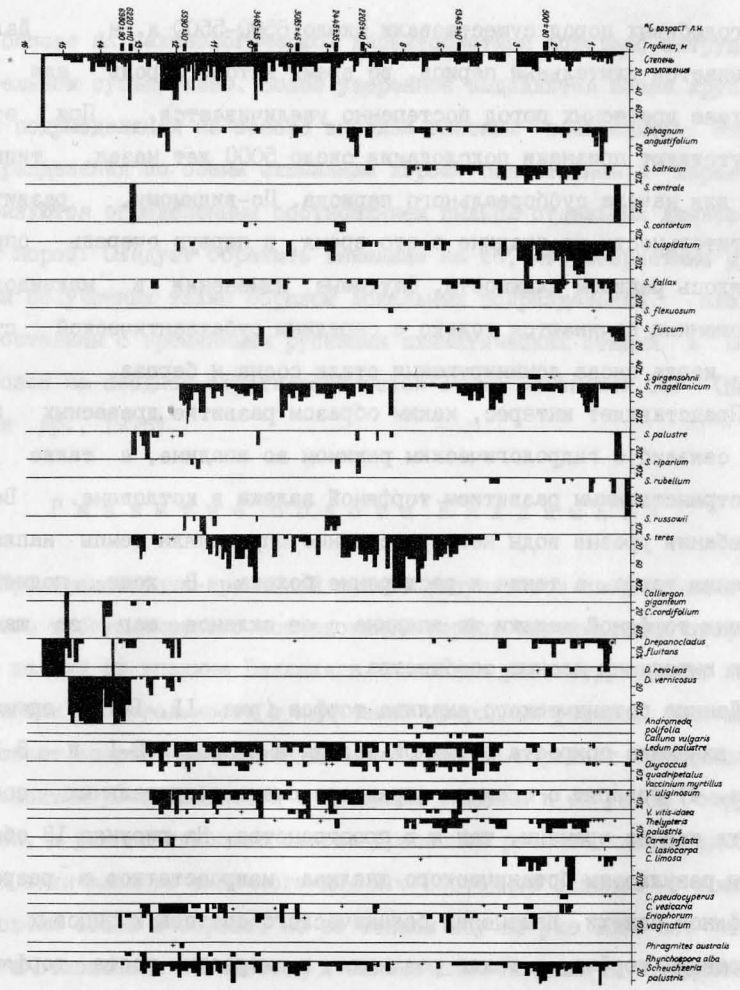


Рис. II. Ботанический состав торфяной залежи разреза B-I. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 11. Botanical composition of peat layer from section B-I. For legend see fig. 2.

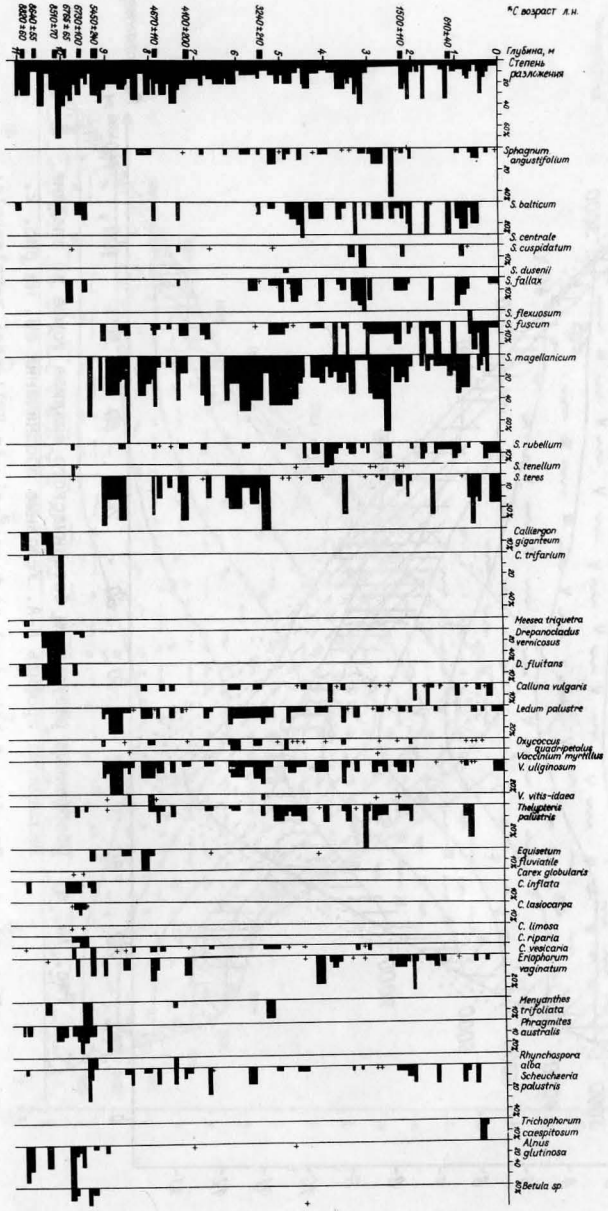


Рис. I2. Ботанический состав торфяной залежи разреза B-III. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 12. Botanical composition of peat layer from section B-III. For legend see fig. 2.

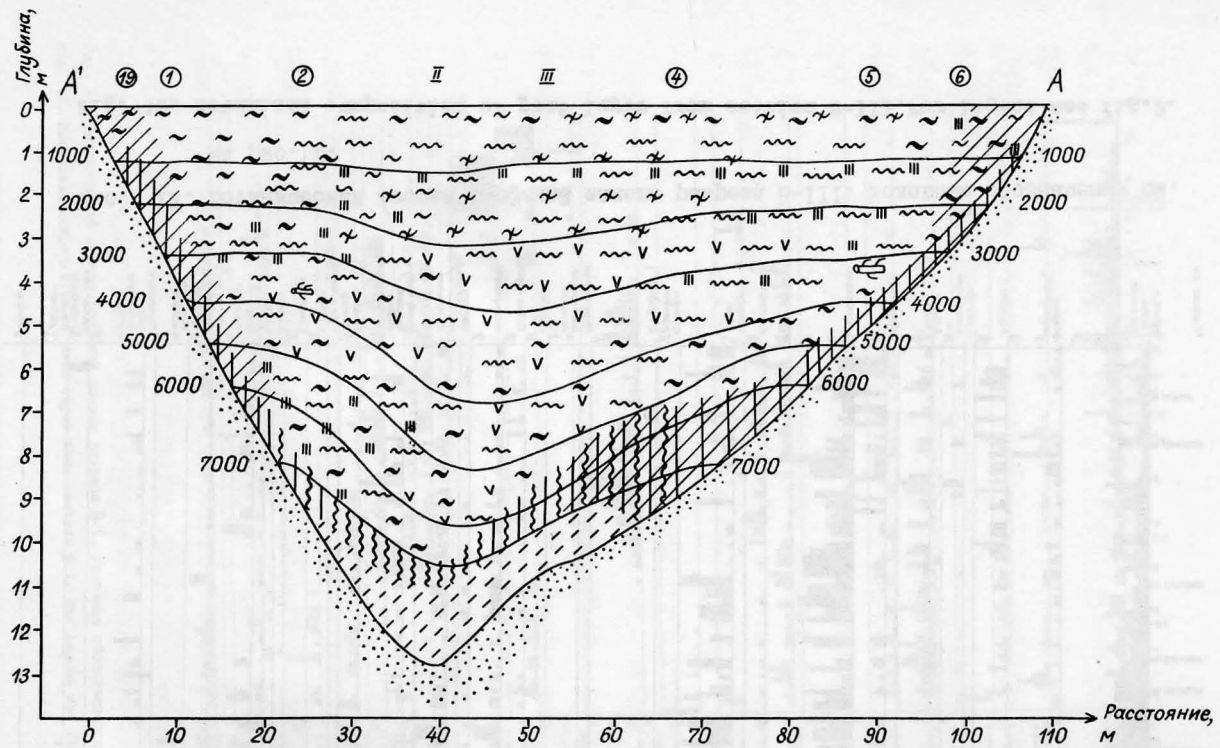


Рис. 13, а. Обобщенные результаты ботанического анализа торфа во впадине Вялламяги: профиль А–А. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 13, a. Results of botanical peat analysis in Vällamägi kettle-hole: profile A-A. For legend see fig. 2.

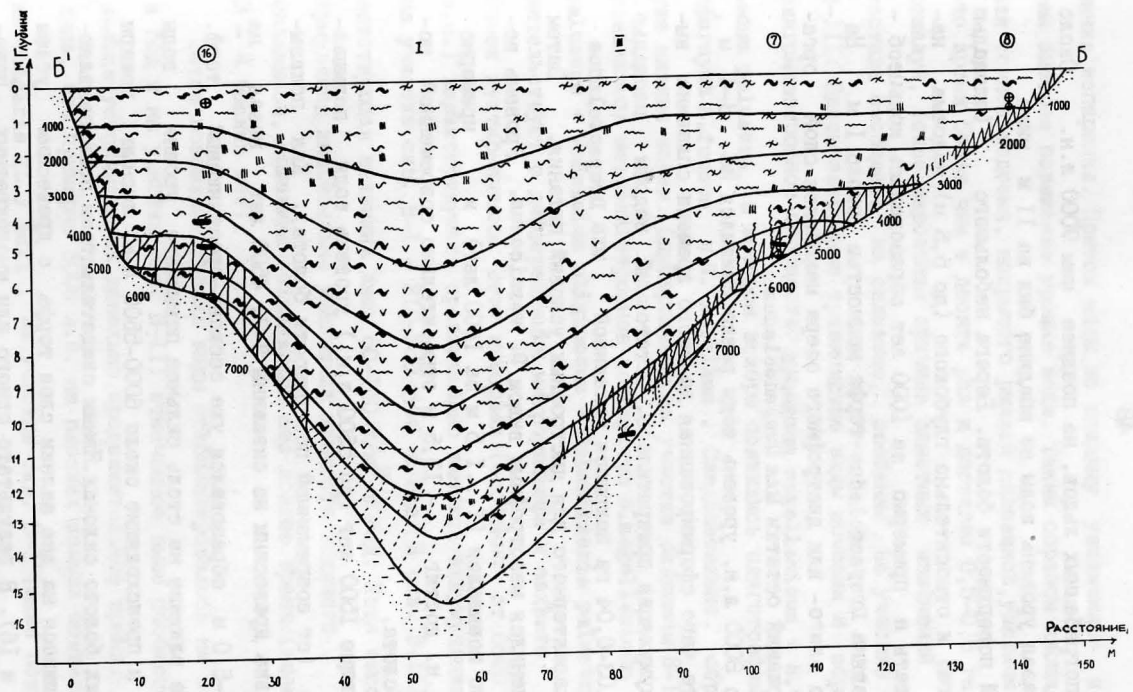


Рис. 13, б. Обобщенные результаты ботанического анализа торфа во впадине Вялламяги: профиль Б–Б. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 13, b. Results of botanical peat analysis in Vällamägi kettle-hole: profile B-B. For legend see fig. 2.

растаяния погребенных льдов, не позднее чем 9000 л.н. Около 9000 лет назад уровень воды во впадине был на II м ниже современной поверхности болота. Берега небольшого (площадью 0,I2-0,20 га) и относительно глубокого (до 5,5 м) водоема начали зарастать и примерно за I000 лет образовалась кольцеобразная сплавина Drepanocladus-торфа мощностью около I м. На дне данного олиго- или дистрофного озера накопился слой органики, содержащий остатки мха Drepanocladus.

Примерно 8000 л.н. уровень воды резко снизился на 3-4 м, в результате чего сформированная до этого времени сплавина высохла и аккумуляция прекратилась. Остаточный водоем площадью не более 0,03-0,04 га покрылся сплавиной мха **Drepanocladus fluitans**, характерного для дистрофных условий питания. Затем этот вид сменился мезотрофным видом **D. vernicosus.** Уровень воды постоянно повышался (I...I,5 м за I000 лет) и примерно 7000-6700 л.н. достиг - I3,5 м относительно современной поверхности болота.

За следующие I500 лет (до 5500 л.н.) уровень воды повышался до - 8 м (от современной поверхности болота). Как показывает датировка древесины из скважины В-7, 4500 лет назад на глубине 4,9-5,0 м образовался уже осоково-тростниковый торф. Немаловажное влияние на столь сильное повышение уровня воды могут иметь и происходящие около 6000-5500 л.н. лесные пожары на окружающих болото склонах. Явным свидетельством пожаров являются встречающиеся на дне залежи слои торфа с древесным углем (скважины 7 и I6). В результате одного или многократных пожаров и уничтожения окружающих лесов площадь питания болота (около 20 га) оставалась безлесной, что послужило причиной умень-

шения испарения. Приток воды во впадину увеличился и вызвал там быстрое повышение уровня воды. Таким образом площадь болота, или точнее водоема, покрытого рыхлой сплавиной, увеличилась за это время более чем в десять раз и достигла 0,5-0,6 га. Это, пожалуй, более вероятная причина заметных изменений видового состава сообществ на сплавине, особенно на участке скважины В-III. Здесь эвтрофные травянистые виды исчезли и образовалось олигомезотрофное сообщество **Sphagnum magellanicum + S.teres + Ledum palustre**, в котором вскоре появились олиготрофные виды сфагнума **S.fuscum** и **S. rubellum**. Следовательно, образовались уже низкие кочки. Одновременно на участке скважины В-I сформировавшееся мезоолиготрофное сообщество **S.magellanicum - Ledum palustre + Vaccinium uliginosum - Scheuchzeria palustris** свидетельствует о дифференциации микрорельефа и захвате плоских кочек кустарничками. Этот интервал (особенно от 6500 до 5500 л.н.) характеризуется сравнительно высокой аккумуляцией торфа на участке скв. В-I - 2I0-530 г/м^2 в год. В скв. В-III соответствующая величина лишь 60-I60 г/м^2 в год. Хотя высокая аккумуляция значительно уменьшила мощности водяного слоя под сплавиной, сплавина сохранялась еще долгое время (возможно, что 3 - 4 тысячи лет).

Затем повышение уровня воды стабилизировалось на I,0 - I,2мм в год и на участке скв. В-III отмеченное выше сообщество оказалось устойчивым на довольно продолжительное время. Отметим лишь, что примерно 5000 л.н. на плоских кочках появился **Calluna vulgaris (L.) Hull**. На участке скв. В-I также появился **S. teres (Schimp.) Aongstr.**, который занимал доминирующее значение в моховом покрове, и данные сообщества существовали при-

мерно до 3500-3200 л.н. Краевые участки болота занимали **Phragmites-Carex** или **Carex-Sphagnum** - зе- и мезотрофные сообщества, а в торф, образующийся под ними, прибавилась древесина со склонов болота. Около 3500-3200 л.н. режим питания болота обеднел. Значительно уменьшилась роль вида **S. teres** (Schimp.) **Aongstr.** и доминантным в моховом покрове стал **S.magellanicum Brid.** Появились некоторые новые олиготрофные виды, а роль кустарничков немного уменьшилась. Вероятно, на это время подсплавиновая водяная подушка была заполнена рыхлым торфом.

В некоторых скважинах (В-I, III, I6 и I8) были выделены четкие желтые слои торфа возрастом примерно 2700-2400 лет. Это свидетельствует об аккумуляции торфа при повышенном уровне воды. Такие слои торфа встречаются и выше (возраста II00-I000 лет) (скв. В-III, 7 и I6). Одновременно в скв. В-I вид **S.teres** исчезает и сменяется **S.cuspidatum.** Появляются также **Drepanocladus fluitans , Scheuchzeria palustris** и впервые **Carex limosa.** В скв. В-III роль видов **S.magellanicum** и **S.angustifolium, Ledum palustre, V.uliginosum** уменьшается, а **Thelypteris palustris** исчез. Однако увеличилась роль видов **S.fuscum, Eriophorum vaginatum** и **Scheuchzeria palustris,** вообще преобладают сфагновые мхи. Следовательно, при дифференциации микрорельефа режим питания еще обеднялся и болото стало олиготрофным.

Последние заметные изменения происходили около 350 л.н. (скв. В-III) или I50 л.н. (скв. В-I). В условиях продолжающейся дифференциации микрорельефа на обоих участках (т.е. в западной половине болота) образовался кочечный микрорельеф. Кочки образовались из олиготрофных видов **S.fuscum** и **S.rubellum,** там росли **Calluna vulgaris** и **Ledum palustre,** а в межкочьях имелись

мезотрофные условия и доминировали сообщества **S.centrale + S.palustre** и **S.teres + S.fallax** соответственно на участках скв. В-I и В-III. Роль видов травяно-кустарничкового яруса сокращалась.

Основываясь на результатах ботанического анализа торфа и математической обработке спорово-пыльцевых данных, можно восстанавливать динамику развития древесной растительности во впадине и ее окружении, а также изменения гидротермических условий.

Спорово-пыльцевой комплекс В5 характерен для этапа первичного заселения впадины древесной растительностью. К концу этого этапа наряду с пыльцой березы и сосны встречается пыльца лещины и вяза. Окончание комплекса по времени совпадает примерно со спадом уровня воды. Во время первой половины атлантической климатической стадии (спорово-пыльцевой комплекс В4) уровень воды во впадине был относительно низким. Постепенное увеличение влажности и повышение уровня воды вызывали смену растительности на склонах впадины, что отражается в смене спорово-пыльцевого комплекса В4 на В3. Последний характеризуется максимумом содержания пыльцы широколиственных. По-видимому, были созданы хорошие условия развития широколиственных, в первую очередь теневыносливых видов.

Во второй половине голоцена происходили неоднократные колебания уровня воды. Продолжается вертикальное увеличение и расширение торфяного массива. Судя по спорово-пыльцевым данным, именно последнее обстоятельство могло сыграть решающую роль при изменении состава древесных пород. Всё расширяющееся болото постепенно вытесняло растущие на крутых берегах глубокой

впадины лещину, липу, вяз. Все более доминирующее место занимала в котловине ель. Об относительно стабильных климатических условиях говорит отсутствие чётких признаков для выделения перехода от атлантической к суббореальной климатической стадии. Чётко выделяется верхний рубеж спорово-пыльцевого комплекса В2 около 2000 л.н. В это время резко уменьшается количество пыльцы широколиственных пород, доминирующее место на диаграммах занимает пыльца сосны и березы. Кроме изменения микроклимата в котловине, существенное значение имело и постоянное повышение поверхности болота и его расширение (рис. I4). Ведь к этому времени уже была заполнена отложениями нижняя часть котловины, и болото в изученной впадине соединилось в один массив с прилегающим на западе болотом.

Резкие колебания величин первой главной компоненты (рис. 8, 9) по данным вариаций пыльцы в отложениях, накопившейся от I000 до 500 л.н., в основном отражают уменьшение количества пыльцы ели и увеличение пыльцы широколиственных. Причина этих колебаний, по-видимому, двоякая. Как известно, в этом временном интервале происходили весьма существенные климатические изменения - теплое время (т.н. период викингов) около I000 л.н. и резкое похолодание (т.н. малый ледниковый период). Однако однозначных палеогеографических выводов делать нельзя, так как в это время на развитии лесов, несомненно, сказывалось и антропогенное влияние, а также неоднократные пожары, следы которых установлены во многих разрезах.

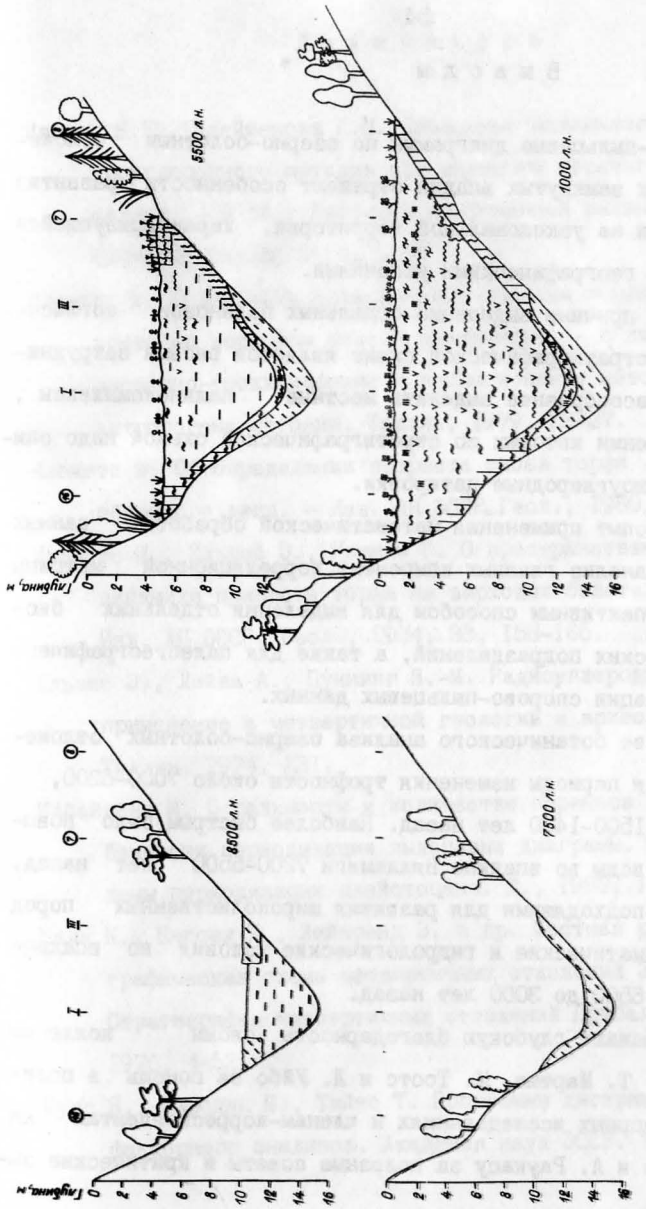


Рис. I4. Развитие болота Вялламяги. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 14. Development of Vällamägi bog. For legend see fig. 2.

Выводы

1. Спорово-пыльцевые диаграммы по озерно-болотным отложениям из мелких замкнутых впадин отражают особенности развития растительности на узколокальной территории, характеризующейся определенными географическими условиями.

2. По этой причине выделение отдельных палинозон согласно региональной стратиграфической схеме является весьма затруднительным и целесообразнее выделять местные палинокомплексы, при сопоставлении которых со стратиграфической схемой надо опираться на радиоуглеродные датировки.

3. Первый опыт применения математической обработки данных показал, что анализ главных компонент корреляционной матрицы является перспективным способом для выделения отдельных биостратиграфических подразделений, а также для палеогеографической интерпретации спорово-пыльцевых данных.

4. На основе ботанического анализа озерно-болотных отложений выделяются периоды изменения трофности около 7000-6200, 5500, 3000 и 1500-1400 лет назад. Наиболее быстрым было повышение уровня воды во впадине Вялламяги 7200-5500 лет назад.

5. Самыми подходящими для развития широколиственных пород были микроклиматические и гидрологические условия во впадине Вялламяги от 6500 до 3000 лет назад.

Авторы выражают глубокую благодарность своим коллегам Э. Карофельд, Т. Мартма, М. Тоотс и Л. Уйбо за помощь в полевых и лабораторных исследованиях и членам-корреспондентам АН ЭССР Д. Кальо и А. Раукасу за полезные советы и критические замечания.

Литература

Иванов К.Е., Клейменова Г.И. Сравнение палинологического и радиоуглеродного методов при изучении стратиграфии торфяной залежи. - В сб.: Проблемы современной палинологии. Новосибирск, Наука, 1984, 65-67.

Илометс М. О динамике фракционного состава торфогенного горизонта на верховом болоте Мянникярве. - В кн.: Физические, изотопно-геохимические и геологические методы в изучении антропогена Эстонии. Таллин, 1979, 22-37.

Илометс М. Об определении возраста слоев торфа на основе их объемного веса. - Изв. АН ЭССР. Геол., 1980, 29, 121.

Илометс М., Ильвес Э., Раямяэ Р. О пространственно-временной динамике прироста торфа на верховых болотах Эстонии. - Изв. АН ЭССР. Геол., 1984, 33, 158-165.

Ильвес Э., Лийва А., Пуннинг Я.-М. Радиоуглеродный метод и его применение в четвертичной геологии и археологии Эстонии. Таллин, 1974, 231.

Кабайлене М. О дальности и количестве переноса пыльцы и особенности периодизации пыльцевых диаграмм. - В кн.: Проблемы периодизации плейстоцена. Л., 1980, 105-114.

Каяк К., Кессел Х., Лийвранд Э. и др. Местная рабочая стратиграфическая схема четвертичных отложений Эстонии. - В кн.: Стратиграфия четвертичных отложений Прибалтики. Вильнюс, 1976, 4-52.

Кукс Я., Каролин М., Тийтс Т. Программы дискриминантного и факторного анализов. Академия наук ЭССР. Таллин, 1981, 50.

Муркайте Р. Рассеивание пыльцы ели обыкновенной. Тр. Литовск. НИИЛХ. Каунас, 1969, 2, 27-34.

Мяметс Х. Палинологические и радиоуглеродные данные о послеледниковой истории Хааньяской возвышенности ЭССР. - В сб.: Человек, растительность и почва, Таллин, 1983, 98-111.

Birks H., John B., Berglund B.E. Holocene pollen stratigraphy of southern Sweden: a reppraisal using numerical methods.- Boreas, 1979, 8, 3, 257-279.

Dixon W.J. edit. BMDP Biomedical Computer Programs. Los Angeles, Univ. of Calif. Press., 1977, 884.

Prentice I.C. Multidimensional scaling as a research tool in Quaternary palynology: a review of theory and methods. - Rev. Palaeobot. Palynol., 1980, 31, 1/2, 71-104.

Raukas A., Karukäpp R. Eesti liustikutekkeliste akumulatiiv - sete saarkõrgustike ehitus ja kujunemine. - Eesti NSV saarkõrgustike ja järvenõgude kujunemine. Tallinn, "Valgus", 1979, 192.

Tauber H. Differential pollen dispersion and the interpretation of pollen diagrams. - Danmarks Geol. Under., II Raekke, 1965, 89.

STRATIGRAPHIC AND PALAEOGEOGRAPHIC INVESTIGATIONS OF LACUSTRINE AND BOG SEDIMENTS FROM VÄLLAMÄE KETTLE-HOLE (SE ESTONIA)

J.-M.Punning, M.Ilomets, T.Koff, R.Rajamäe
Institute of Geology of the Acad Sci of ESSR

I.Petersen, T.Tiits
Institute of Cybernetics of the Acad Sci of ESSR

Detailed investigations of lacustrine and bog sediments from Vällamäe kettle-hole were carried out from 1982 to 1985.The investigations were aimed at stratigraphical differentiation of organogenic deposits, at comparing the different methods used for this purpose and at reconstructing palaeogeographical conditions.

The organogenic deposits, with a maximum thickness of 17 m, are situated in a steep-sloped depression of evidently glaciocarstic origin (Fig.1).The pollen spectra of the samples taken from the surface of the 1,62 ha bog reveal the pollen of only the trees growing on the slopes and in the nearest vicinity of the depression.

Pollen diagrams, compiled on the material from two closely situated drill-holes are,in general,similar. Differences occur only in the relative contents of pollen of some species (Fig. 6,7). Differentiation of the diagrams was based on the stratigraphic scheme of Estonian continental holocene deposits. A number of traits,uncharacteristic of the type diagrams of Estonian holocene deposits (the constantly high contents of fir pollen, the lack of a distinctly marked maximum in the pollen

of broad-leaved trees etc.) complicated the differentiation of separate pollen zones and caused the poor agreement of age limits of the zones (according to ^{14}C) (Table 6).

The chronostratigraphical differentiation of Vällamäe kettle-hole sediments was carried out on the basis of 24 ^{14}C datings (Table 1,2), when calculating the accretion of peat ^{14}C datings were extrapolated using the constant peat density method (Fig. 4, 5).

While differentiating pollen diagrams the analysis of principal components of correlation matrix was for the first time made use of in the Soviet Union. The time depending morphology of the first and second principal component curves according to the diagrams of both sections is quite analogical (Fig.8,9), which made it possible to differentiate parts of the curve with a similar morphological sign. The parts are characterized by a certain pollen community (Table 6). The palynocomplexes that were arrived at in the case of both diagrams are in good temporal agreement. Mathematical treatment shows that in this case the first principal component characterizes changes in the temperature regime while the second principal component characterizes those in the moisture regime (Fig. 10).

Botanical analysis of peat (Fig. 11,12) enabled to reconstruct the palaeogeographical situation in the depression during the holocene. The dynamics of bog development has essentially been influenced by changes in hydrological regime and climatic conditions, as well as by vertical and horizontal accretion of the bog (Fig.13,14). Changes in plant communities reveal that main fluctuations in trophics took place 7000-6200, 5500, 3000 and 1500-1400 years ago.

Академия наук Эстонской ССР, Отделение химических, геологических и биологических наук. П у н н и н г Я.-М., И л о м е т с М., К о ф ф Т., Р а я м я э Р., П е т е р с е н И., Т и й т с Т. Комплексные стратиграфо-палеогеграфические исследования озерно-болотных отложений во впадине Вялламяги (Ю.-З. Эстония). Препринт. На русском языке. Редакционно-издательский совет АН ЭССР, Таллин. Подписано в печать II.II.85. МВ- 08669 Бумага 60x84/I6. Печатных листов 3,75. Условно-печатных листов 3,48. Учетно-издательских листов 2,40. Тираж 200. Заказ № 320 Цена 35 коп. Ротапринт АН ЭССР, 200001 Таллин, бульвар Эстония, 7.