

Выходные данные: Рудая Н.А. Палинологический анализ: Учеб.-метод. пособие / Новосиб. гос. ун-т, Ин-т археол. и этногр. СО РАН. Новосибирск, 2010. 48 с.

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

(учебно-методическое пособие для археологов)

Рудая Наталия Алексеевна

Аннотация: В предлагаемом учебно-методическом пособии кратко рассмотрены основы современного палинологического (спорово-пыльцевого) анализа: дан обзор основных терминов палинологии, история метода, охарактеризованы объекты изучения, приведены методики отбора и химической обработки образцов, рассмотрены проблемы интерпретации палинологических данных и возможности применения палинологического метода при археологических исследованиях. Учебное пособие предназначено для студентов-археологов и всех интересующихся палинологическим анализом.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Предмет, история развития и основные термины палинологического метода

Глава 2. Объекты палинологического анализа

2.1. Пыльца

2.2. Споры

2.3. Палиноморфы

Глава 3. Применение палинологического метода для разных типов геологических отложений

Глава 4. Отбор и лабораторная обработка образцов для палинологического анализа. Спорово-пыльцевые диаграммы

Глава 5. Интерпретация спорово-пыльцевых диаграмм

Глава 6. Применение палинологического метода

6.1. Реконструкция растительности и флоры

6.2. Реконструкция климата

6.3. Применение палинологического анализа для стратиграфии и корреляции геологических отложений

6.4. Палинологический метод в археологии

Словарь основных терминов

Список использованной литературы

ГЛАВА 1. ПРЕДМЕТ, ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА

Палинологический или спорово-пыльцевой анализ применяется для реконструкции растительного покрова и климата прошлых эпох. Кроме этого, палинологический анализ может служить инструментом для установления стратиграфических границ в геологических разрезах и археологических раскопах. Палинологический анализ в последние десятилетия широко используется в археологических работах, причем данные, полученные с помощью этого метода, часто являются определяющими при решении вопросов палеоэкологии человека в древности и средневековье.

Объектами палинологического анализа являются **палиноморфы**. В первую очередь это пыльца покрытосеменных и голосеменных растений, а также споры растений и грибов, растительные устьица, остатки клеток водорослей, микроскопические остатки животных (например, яйца тихоходок) и т.д.

Наиболее ранние исследования пыльцы связаны с развитием световой микроскопии. Первые описания пыльцы и тычинок растений, а также догадка о том, что пыльца связана с репродукцией растений принадлежат английскому ботанику Неемии Грю (1640). Великий шведский ботаник Карл Линней первым использовал термин «пыльца» на латинском языке в 1751 г. Английские палеоботаники Р. Кидстон и П. Райнш впервые выделили споры из углей и сравнили их с современными [Bradbury, 1967]. Среди ранних зарубежных исследователей непыльцевых палиноморф следует назвать К. Эренберга (радиолярии и диатомеи), Г. Мантеля (десмидиевые водоросли) и Г. Уайта (динофлагелляты).

Собственно палинологический анализ был впервые применен Леннартом фон Постом – «отцом палинологии» в 1916 г. для озерных и болотных отложений с целью реконструкции позднечетвертичных изменений растительного покрова [Faegri, Iversen, 1989].

В 1950 г. датский ботаник и палеоэколог Йоханнес Иверсен и ученик Л. фон Поста, норвежец Кнут Фаегри, издали руководство по палинологическому анализу «Textbook of Modern Pollen Analysis», которое пережив несколько переизданий, является настольной книгой палинологов всего мира и по сей день.

Использование спорово-пыльцевого анализа в начале 20 века было ограничено североевропейскими странами и многие ранние публикации печатались на скандинавских языках [Faegri, 1973]. Эта изоляция закончилась в 1921 г. публикацией на английском языке диссертации шведского ученого Гуннара Эрдтмана, после чего палинологический метод начал свое распространение в Европе и Северной Америке.

В России метод спорово-пыльцевого анализа начал развиваться с работы известного болотоведа Владимира Семеновича Доктуровского «Метод анализа пыльцы в торфе», вышедшей в 1923 г. Параллельно с ним внедрению и развитию палинологии в России отдали много времени и сил известные

советские ученые В.Н. Сукачев, К.К. Марков и С.А. Яковлев. М.И. Нейштадтом построены региональные спорово-пыльцевые диаграммы, отражающие закономерности развития растительности в некоторых районах России в голоцене [Пыльцевой анализ, 1950].

Огромное значение для российской палинологии сыграл палеогеограф и палинолог Владимир Поликарпович Гричук, который выявил основные типы спорово-пыльцевых спектров (степной, лесной, тундровый), соответствующие типам современной растительности [Гричук, 1989]. В 1948 г. В.П. Гричук в сотрудничестве с Е.Д. Заклинской опубликовали работу «Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии», которая стала первым в России наиболее полным руководством по спорово-пыльцевому анализу. В 1950 г. В.П. Гричук с соавторами выпустили книгу «Пыльцевой анализ», которая и сейчас активно читается российскими палинологами.

Палинологический метод нашел применение в археологии довольно рано. Одним из первых ученых, использовавшим метод, был американец Пол Сирс, который уже в 1932 г. пытался реконструировать изменения климата и, связанное с этим, распространение сельскохозяйственных культур с юга на север Северной Америки в позднем голоцене, основываясь на данных изучения состава пыльцы отложений реки Огайо [Sears, 1932]. В пятидесятые годы прошлого века палинологический метод начинает активно применяться для изучения археологических памятников. Классическим руководством по использованию спорово-пыльцевого метода в археологии является книга Г. Димблеби «The palynology of archaeological sites» [1985]. В нашей стране с середины XX века спорово-пыльцевой метод успешно применяется для стратиграфии археологических памятников и реконструкции палеосреды. Примером тому могут служить палинологические исследования известного верхнепалеолитического памятника Костенки (Воронежская область), начатые еще в 1955 г. палинологами М.П. Гричук, В.П. Гричуком и Р.Ф. Федоровой [Природа и древний человек, 1981]. В это же время в России начало развиваться направление палинологии, связанное с изучением пыльцы культурных злаков в геологических отложениях, позволяющее восстанавливать особенности земледелия древнего человека [Федорова, 1959, 1965].

Термин «палинология» был предложен в 1944 г. Г. Гайдом и Д. Уильямсом, которые взяли за основу греческое слово *pale* - «пыль».

Палинология включает в себя широкий спектр различных научных направлений, таких как **палинология ископаемых пыльцы и спор**, **мелиттопалинология** (изучение состава перги и пыльцы в мёде), **палинотаксономия** (сравнительно-палиноморфологические исследования), **врачебная палинология** (выяснение причин возникновения некоторых видов аллергий), **судебная палинология** (применение спорово-пыльцевого анализа в криминалистике). Термин же «**палинологический** (спорово-пыльцевой) **анализ**» закрепился за методом исследования ископаемых палиноморф в геологических отложениях.

Сегодня спорово-пыльцевой анализ является одним из наиболее значимых методов реконструкции палеорастительности и природной среды

прошлого в целом. Среди преимуществ палинологического метода следует назвать следующие [по Faegri, Iversen, 1989]:

- пыльцевые зерна хорошо сохраняются и могут быть найдены в отложениях, где остальные ископаемые подвергаются диагенетическим преобразованиям;
- растения продуцируют пыльцу в огромных количествах;
- пыльца более широко и равномерно распространяется в отложениях, чем макроостатки продуцирующих ее растений;
- пыльцевые зерна могут быть извлечены из отложений в больших количествах, следовательно, результаты палинологического анализа могут подвергаться статистической обработке, и являются достоверными.

Статистическая обработка результатов определения и регистрации спор и пыльцы в геологических отложениях приводит к выявлению **спорово-пыльцевых спектров (палиноспектров)** и **спорово-пыльцевых комплексов (палинокомплексов)** [Филиппова, 1997].

Палиноспектром называют совокупность спор, пыльцы и других палиноморф, выделенных при анализе единичной пробы. В то время как, **палинологический комплекс** — это совокупность спор, пыльцы и других палиноморф определенного таксономического состава и структуры, характерной для отложений определенного стратиграфического интервала и отличающейся в качественном и количественном отношении от совокупности палиноморф из подстилающих и покрывающих пород.

Основой для выделения стратиграфических подразделений с применением спорово-пыльцевого анализа являются палинокомплексы. При выделении палиностратиграфических подразделений используются следующие критерии: изменение состава и соотношения таксонов, максимальное содержание таксонов — индикаторов палеоклиматических условий, исчезновение определенных форм.

Элементарными палиностратиграфическими подразделениями являются **палинозона** и **палиногоризонт**. Под **палинозоной** понимается совокупность слоев горных пород, характеризующаяся определенным палинокомплексом, отличающимся в структурном и таксономическом отношении от подстилающих и перекрывающих слоев, и отражающим соответствующие климатические условия.

Палиногоризонт объединяет разновозрастные разнофациальные отложения и содержит серию палинокомплексов одного типа, которая отражает определенные климатические условия и отличается от серий палинокомплексов подстилающих и перекрывающих горизонтов.

Таксономическое и стратиграфическое строение разреза отражается на **спорово-пыльцевой диаграмме**, которая затем интерпретируется как качественными, так и количественными методами.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

2.1. Пыльца

Пыльца состоит из отдельных пыльцевых зерен, образующихся в гнездах пыльника и служащих для полового воспроизведения. **Пыльцевое зерно** представляет собой мужской гаметофит семенного растения.

Пыльцевое зерно начинает свое развитие из микроспоры, находящейся в микроспорангии, и завершает его после опыления, т. е. перенесения в пыльцевую камеру семязпочки (у голосеменных) или на рыльце пестика (у покрытосеменных растений; рис. 1). Развитие пыльцевого зерна включает два процесса – **микроспорогенез** (рис. 1: 1-4) и **микрогаметогенез** (рис. 1: 5-9). **Микроспорогенез** начинается с дифференциации микроспоры материнской клетки, покрытой каллозной полисахаридной оболочкой (1). Эта диплоидная клетка подвергается мейотическому или митотическому делению с формированием четырех гаплоидных микроспор, образующих тетраду (2). Формирование стенок отдельных пыльцевых зерен происходит, когда пыльцевые зерна еще заключены в общую оболочку (3). В этот же момент начинается откладывание уникального биополимера **спорополленина**, формирующего резистентную к воздействиям и химическим реагентам внешнюю оболочку пыльцевого зерна.

Микрогаметогенез у покрытосеменных растений состоит из двух митотических делений, приводящих к формированию мужской гаметы. Гаметогенез начинается с образования центральной вакуоли внутри одноядерной микроспоры (5). Постепенно вакуоль начинает отодвигать ядро к клеточной стенке и формировать пыльцевое зерно. Первый митоз ведет к образованию маленькой генеративной клетки и большой вегетативной (6). Затем генеративная клетка отделяется от клеточной стенки и покрывается собственной оболочкой (7). Во время второго митотического деления генеративная клетка делится на две - это финальная стадия развития гаметофита (8). Вегетативная клетка преобразуется в пыльцевую трубку, после чего начинается прорастание пыльцевого зерна (9).

Микрогаметогенез голосеменных растений протекает по сходной схеме, но включает несколько митотических делений.

Очень редко бывает, что микроспоры во время микроспорогенеза не разъединяются, а остаются в **диадах** (рябчик) или **тетрадах** (вересковые). Иногда и сами тетрады не разъединяются, а образуют **полиады** из 8—12—16—32 клеток (акация). У многих видов семейства орхидных все находящиеся в пыльцевом гнезде пыльцевые зерна склеены в крупное компактное образование — **поллиний**, который прилипает к опыляющему цветку насекомому (рис. 2).

Пыльцевое зерно имеет протопласт и 2 оболочки: наружную — **экзину**, прочную и стойкую, и внутреннюю — **интину**, состоящую из целлюлозы (рис. 3). Интина и протопласт в ископаемом состоянии не сохраняются.

Особую устойчивость к действию химических веществ и способность сохраняться в геологических отложениях долгое время, не разрушаясь, придает экзине сложный биополимер **спорополленин**. Структура его до сих пор не выяснена. Предположительно, это β-каротиноидный эфир с примерной формулой $C_{90}H_{150}O_{33}$ [Loader, Hemming, 2004].

В экзине обычно имеются тонкие участки или отверстия, т. н. **апертуры** — борозды или поры, через которые при прорастании пыльцевого зерна выпячивается протопласт, покрытый интиной, т. е. происходит образование пыльцевых трубок. Поверхностный слой экины редко бывает гладким, обычно он покрыт различными скульптурными образованиями — шипами, бугорками, ямками, выростами.

Форма, размеры и строение пыльцевых зерен, скульптура поверхности экины, строение апертур и их положение разнообразны, но постоянны у растений одного вида; а у представителей различных таксонов, как правило, тем более сходны, чем ближе их родство. Величина пыльцевых зерен колеблется от 7-10 до 250 микрон (чаще всего 20-60 мкн; рис. 4).

2.2. Споры

Споры, служащие для размножения споровых растений (папоротники, хвощи, плауны, мхи), так же являются объектами палинологического анализа (рис. 4). В материнских клетках споры образуются в тетрадах.

Тело споры состоит из ядра и протоплазмы, которую покрывают три оболочки. Внутренняя оболочка — **эндоспорий** (интина) — бесцветна, состоит из целлюлозы и разрушается при химической обработке. Вторая оболочка споры — **экзоспорий** (экзина) устойчива к химической обработке. Экзоспорий может быть как гладким так и содержать различные скульптурные выросты (бугорки, шипы, ямки). Третья внешняя оболочка спор — **периспорий**, как правило, плохо сохраняется после химической обработки.

Основным морфологическим признаком споры является наличие щели, тип которой определяется положением споры в тетрадах материнской клетки [Пыльцевой анализ, 1950]. Размеры спор колеблются от 3-5 до 25-50 мкн.

2.3. Палиноморфы

В последнее время при палинологическом анализе все чаще учитывают не только пыльцу и споры растений, но также сохраняющиеся после химической обработки клетки устьиц растений, угольки, остатки водорослей, споры грибов, яйца животных (рис. 4). Надо отметить, что микрофоссилии, которые разрушаются после специальной химической обработки при проведении палинологического анализа, палиноморфами не считаются.

Так, например, устьица листьев хвойных деревьев хорошо определяются и свидетельствуют о локальном произрастании этих пород независимо от обилия в отложениях их пыльцы. Нахождение устьиц хвойных указывает на произрастание этих пород в радиусе 20 м от места сбора образцов.

Хламидиоспоры гриба рода *Glomus* являются индикатором почвенной эрозии, в том числе и в результате человеческой деятельности.

Споры грибов-копрофилов, найденные в отложениях археологических стоянок, дают основание предполагать характер удобрений, используемых человеком в хозяйственной деятельности.

Подсчет концентрации угольков в палинологических препаратах позволяет проследить динамику лесных пожаров в регионе (рис. 5).

Изменения в содержании спорополлениновых стенок клеток колониальных зеленых водорослей (*Botryococcus*, *Pediastrum*) в донных отложениях помогают реконструировать особенности развития озера в разные периоды его существования.

Часто встречаемые в озерных осадках яйца тихоходок (род *Macrobiotus*) свидетельствуют о существовании незагрязненных экотопов.

ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Лучше всего пыльца и споры растений сохраняются в торфе, озерных отложениях (сапропели), разных типах органических осадков (угли, лигниты). В минеральных, в особенности карбонатных отложениях, пыльца встречается реже, и для получения ее в достаточной концентрации приходится прибегать к обогащению. Особое значение палинологический анализ имеет для так называемых «немых» горизонтов, не содержащих ископаемой фауны или макроостатков растений [Пыльцевой анализ, 1950].

Основной трудностью для применения палинологического анализа почв является отсутствие их строгой стратификации, в отличие от других типов отложений [Dimbleby, 1985]. В аэрируемых минеральных грунтах пыльца может сохраняться только в условиях, препятствующих микробиологическому разложению (сухость, высокая кислотность, избыток соли или токсичных металлов). За исключением очень сухих регионов, вода в почве движется сверху вниз, и вместе ней продвигается и пыльца. При этом только ничтожная часть пыльцы свободна и может быстро опускаться. В основном, пыльца находится связанной в гумусовые комплексы, которые по мере продвижения вниз разлагаются.

В кислых подзолистых почвах наибольшее количество пыльцы сосредоточено в верхних слоях и постепенно уменьшается с глубиной. Этот факт очень важен для нахождения погребенных поверхностей. Уменьшение количества пыльцы с глубиной связано не только с постепенным вымыванием ее из почвы, но и с разрушением пыльцевых зерен микроорганизмами. Тем не менее, на всех глубинах почвенного профиля есть пыльца самого разного возраста. Из этого следует, что почвенные пыльцевые диаграммы должны читаться особым образом.

Палинологические образцы из почв имеют ценность, только если берутся из верхнего слоя современной или погребенной почвы, где пыльца, относящаяся к одному времени, абсолютно преобладает. Если нижние слои почвы содержат достаточное для статистического анализа количество зерен, то эти данные можно считать приемлемыми. Если же такое число набрать невозможно, то проведение палинологического анализа не имеет смысла.

Вторая причина нецелесообразности проведения палинологического анализа нижних слоев почв заключается в том, что в самых нижних слоях,

содержащих «старую» пыльцу (до нескольких тысяч лет), часто сохраняется только самый устойчивый к окислению тип. Поэтому только если встречаемость таксона в нижних слоях увеличивается, можно констатировать, что это остатки древнего пыльцевого дождя, не представленного в верхних слоях, в противном случае имеет место избирательное сохранение отдельного, особо устойчивого типа зерен.

Еще одна проблема, затрудняющая палинологический анализ почв, наличие в почве организмов, перемешивающих ее. Например, земляные черви в течение продолжительного времени питающиеся пыльцой, перемешивают всю пыльцу в пределах гумусового слоя, в котором они живут.

Лессовидные породы также неблагоприятны для сохранения спор и пыльцы из-за щелочной реакции среды и постоянных колебаний водных и термических условий [Болиховская, 1995].

Морские отложения (особенно глубоководные фации), коры выветривания, ледниковые и флювиогляциальные отложения пыльцу не содержат или содержат в минимальном количестве [Пыльцевой анализ, 1950].

Лучше всего пыльца сохраняется там, где анаэробные условия постоянны, то есть в озерных отложениях и торфах. Для реконструкции условий палеосреды озерные отложения имеют наибольшую важность. В глубоководных участках водоемов в течение времени накапливаются осадки, сносимые с водосбора и содержащие остатки животных и растений, живших в водосборном бассейне, а также организмов, обитавших в озере. Озерные отложения являются уникальными архивами непрерывных данных об изменениях природной среды, происходивших на локальном, региональном и даже глобальном уровнях. Накопление и расшифровка таких природных архивов позволяет не только реконструировать пространственное проявление тех или иных климатических изменений в определенные временные интервалы в прошлом, но и косвенно судить о возможных факторах, формирующих климат. Наиболее информативные в палеоклиматическом смысле донные осадки откладываются в глубоких тектонических озерах (например, мощность осадков оз. Байкал достигает 10 км).

В регионах, где озера промерзают зимой, гидрологический режим носит сезонный характер, что приводит к формированию зимнего и летнего слоев. Мощности слоев зависят от количества воды и наносов, приносимых в озера. Подсчет пар слоев дает возможность построить кривые скоростей седиментации и рассчитать возраст отложений.

Озерные отложения являются также источником информации о лесных пожарах в бассейне озера (20-100 км). Микроскопические частички угля, образующиеся при горении и переносимые восходящими конвекционными потоками и сильными ветрами, оседают на поверхности озер, а затем становятся частью озерных отложений.

Многие археологические объекты (например, поселения) расположены вблизи водоемов и иногда оказываются затопленными. Встречаются также археологические находки и в торфяных болотах. Палинологический анализ торфяных отложений дает очень ценную информацию об изменениях

растительных сообществ, в том числе и вызванных человеческой деятельностью, особенно если он дополнен ботаническим анализом торфа [Dimbleby, 1985].

Искусственные углубления (колодцы, канавы, ямы) также могут быть местом застоя воды и накопления органики, включающей и пыльцу. Они являются многообещающими объектами для палинологических исследований в археологии, так как здесь зачастую складываются условия, схожие с теми, в которых образуется болотный торф, идеально сохраняющий пыльцу.

Палинологический анализ искусственных земляных сооружений (насыпей) также дает информацию о природной среде времени их сооружения и происхождении материала, из которого они построены. Насыпь может состоять из нескольких слоев, которые часто отличаются по цвету. Разные по цвету горизонты могут образовываться как в результате почвенного процесса, так и представлять собой искусственную погребенную поверхность. Палинологический анализ способен решить подобную проблему. В качестве примера можно привести раскопки крепостного вала римского времени в графстве Кент (Великобритания), в котором были обнаружены четыре погребенные поверхности. Первая напоминала погребенную почву, остальные же отличались от нее по палинологическому составу, на основании чего был сделан вывод, что грунт был принесен из другого места [Dimbleby, 1962].

ГЛАВА 4. ОТБОР И ЛАБОРАТОРНАЯ ОБРАБОТКА ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА. СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫЕ ДИАГРАММЫ

Отбор образцов является первым шагом при палинологических исследованиях. При сборе образцов для палинологического анализа необходимо соблюдать следующие правила:

- стараться не допустить загрязнение образцов материалом из выше или ниже лежащих слоев, а также занесенным из воздуха;

- тщательно вести документацию (полевой дневник), которая должна содержать номер образца, топографическую привязку, номер керна, геологического разреза или археологического раскопа, глубину взятия образца, номер слоя, данные о составе и структуре слоя, дату взятия образца.

- необходимо брать последовательную серию образцов, охватывающую весь разрез. В противном случае невозможно будет построить спорово-пыльцевую диаграмму, а, следовательно, решить задачи, как стратиграфического расчленения разреза, так и реконструкции динамики природной среды.

- на палинологический анализ необходимо отбирать образцы из всех типов отложений (аллювиальных, озерных, эоловых, прибрежно-морских, погребенных почв и т.д.).

- расчистку обнажений и искусственных разрезов необходимо проводить широкими стенками, чтобы получить достаточное представление о стратиграфическом положении горизонтов [Пыльцевой анализ, 1950].

Отбор образцов из обнажений (в том числе и из археологических раскопов) следует производить, предварительно зачистив стенку снизу вверх, чтобы не загрязнить поверхность сбора материалом вышележащих слоев. На зачищенной стенке при помощи рулетки ставят отметки с наименованием пробы. После того как обнажение размечено, необходимо сделать фотографию стенки и нанести точки отбора проб на рисунок разреза или план археологического раскопа. В зависимости от задач исследования интервал взятия может быть разный – от 2 до 25 и более сантиметров. Отбор образцов следует проводить чистым инструментом снизу вверх (рис. 6).

Количество осадка достаточное для палинологического анализа зависит от генетического типа отложений и региона. Навески образцов из озерных кернов могут быть всего 1-2 гр. сухого осадка, в то же время образцы из небогатых пылью и спорами лессовидных отложений и некоторых типов почв могут достигать 250-300 гр. При отборе проб из отложений археологических объектов лучше брать не менее 100-150 гр.

Каждый образец помещается в закрывающийся полиэтиленовый пакетик, который в свою очередь следует положить в еще один такой же пакетик, не забыв вложить между ними этикетку с информацией о пробе. Этикетка должна быть написана простым карандашом.

Этикетка для палинологической пробы может выглядеть примерно так:

Адрес _____
Координаты _____
Номер разреза/раскопа _____
Номер образца _____
Глубина взятия _____
Интервал _____
Порода _____
Почва _____
ФИО коллектора..... 2010

Следующий этап палинологического анализа заключается в химической обработке образцов в лаборатории. В современной палинологической лаборатории можно увидеть: весы для взвешивания образцов; вытяжной шкаф, в котором проводят все химические реакции; центрифугу, использующуюся после каждого этапа обработки химикатами; дистиллятор для получения дистиллированной воды; водяную баню для подогревания пробирок с образцами, а также магнитные мешалки для перемешивания содержимого пробирок и ультразвуковую ванну для удаления частиц плохо растворимых химикатами. Важно отметить, что в палинологической лаборатории не должно быть открытых окон во избежание загрязнения ископаемых образцов современной пылью.

Для обработки образцов в настоящее время используется несколько методик. Выбор правильной методики является очень важным моментом в приготовлении проб для анализа. Наиболее употребляемыми методами обработки палинологических образцов являются сепарационный метод Гричука, который применяется при исследовании минеральных отложений [Пыльцевой анализ, 1950, схема 1] и методика Фаегри-Иверсена, разработанная для торфов и озерных отложений [Faegri, Iversen, 1989, схема 2].

Особенностью **сепарационного метода Гричука** является то, что порода, обработанная едкой щелочью для удаления растворимых веществ, центрифугируется в тяжелой жидкости такого удельного веса, который больше удельного веса пыльцы, и меньше удельного веса наиболее легкого минерального компонента. В такой жидкости порода разделяется - все микроорганические частицы всплывают наверх, а минеральные частицы выпадают в осадок. Фракция породы с удельным весом меньше, чем у применяемой жидкости, затем собирается и в ней подсчитывается пыльца.

Метод Фаегри - Иверсена хорошо применяется для отложений содержащих большое количество органики и богатых пылью. Особенностью метода является использование сильной плавиковой кислоты для удаления кремнистых и глинистых частиц.

Для подсчета концентрации зерен на первом этапе обоих методов добавляются две растворимые в соляной кислоте таблетки с **калиброванными маркерами** - ацетоллизированными спорами плауна, пылью эвкалипта или полистериновыми сферами. Во время анализа маркеры подсчитываются наряду с пыльцевыми зернами и спорами. Затем, зная подсчитанное в образце количество фоссильных зерен, подсчитанное количество маркеров, число маркеров в одной таблетке и навеску, взятую для химической обработки образца, нетрудно рассчитать концентрацию пыльцы и спор в образце.

Именно концентрация является основным показателем насыщенности отложений пылью и спорами:

$$K_{\text{п}} = (\sum_{\text{п}} * N_{\text{м}} / \sum_{\text{пм}}) / H,$$

где $K_{\text{п}}$ – концентрация пыльцы в образце; $\sum_{\text{п}}$ – сумма пыльцевых зерен, подсчитанных в образце; $N_{\text{м}}$ – количество маркеров, добавленных в образец; $\sum_{\text{пм}}$ – сумма маркеров, подсчитанных в образце; H - масса или объем навески. В зависимости от того в каких единицах была взята навеска (в см^3 или граммах), концентрация будет выражаться в количестве пыльцевых зерен в одном см^3 или в одном грамме.

Следующий этап обработки спорово-пыльцевых данных – микроскопирование и подсчет пыльцевых зерен и спор в каждом образце.

Для **микроскопирования** используется световой микроскоп проходящего света с увеличением в 200-400 раз. Несколько капель содержимого пробирки капается на предметное стекло, прижимается покровным стеклом, и палинологический препарат готов для анализа.

Для определения таксономической принадлежности пыльцы и спор следует пользоваться определителями и атласами [Куприянова, Алешина, 1972, 1978; Reille, 1992, 1995, 1998].

При подсчете пыльцы и спор необходимо насчитывать статистически значимое количество зерен. По данным Е.Д. Заклинской, 150 зерен является минимальным количеством, при подсчете которых погрешности остаются такими же, как и при подсчете большего числа зерен [Пыльцевой анализ, 1950]. Если концентрация пыльцы в образцах средняя или высокая, то рекомендуется насчитывать 300-500 пыльцевых зерен и спор.

Бланки с записями содержания пыльцы и спор оформляются в виде электронных таблиц, которые потом подвергаются статистической обработке и используются для построения диаграмм. Спорово-пыльцевая диаграмма отражает процентное распределение палинотаксонов относительно глубин (стратиграфических слоев) (рис. 7).

Спорово-пыльцевые диаграммы можно строить с применением различных компьютерных программ, как специализированных (Tilia-Tiliagraph; POLPAL), так и программ широкого пользования (MS Excel, MS PowerPoint, CorelDraw).

Схема 1. Сепарационный метод Гричука

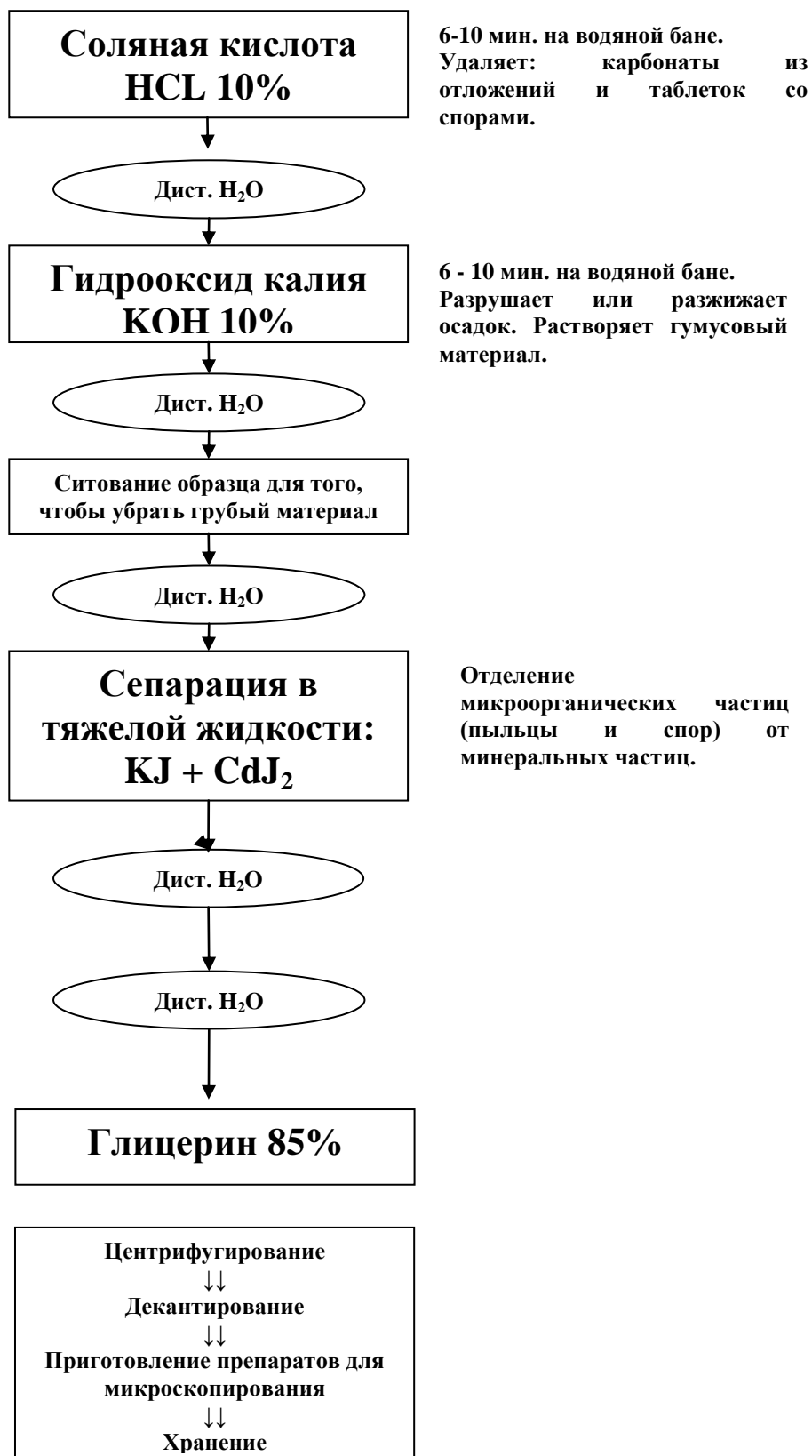
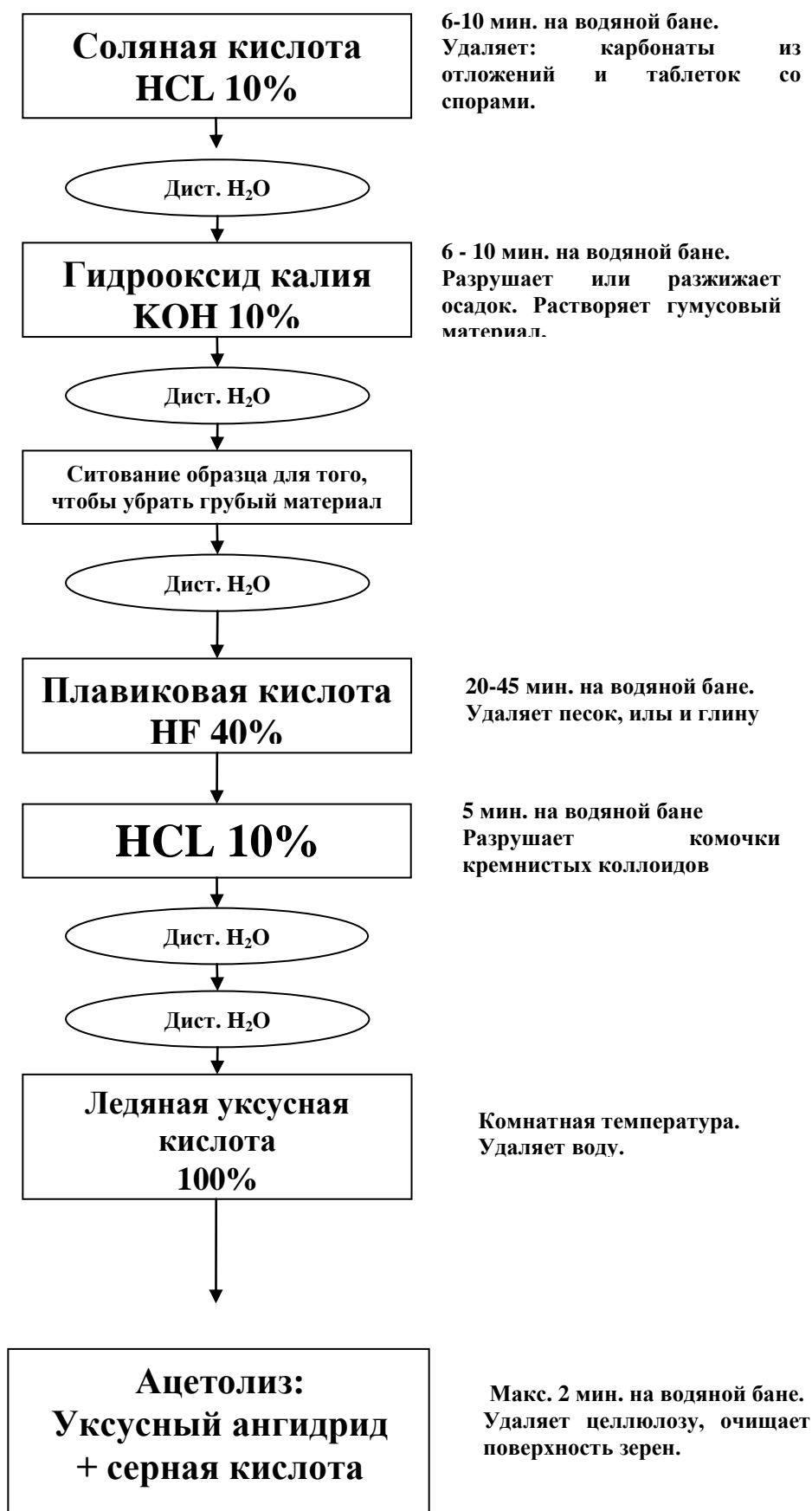
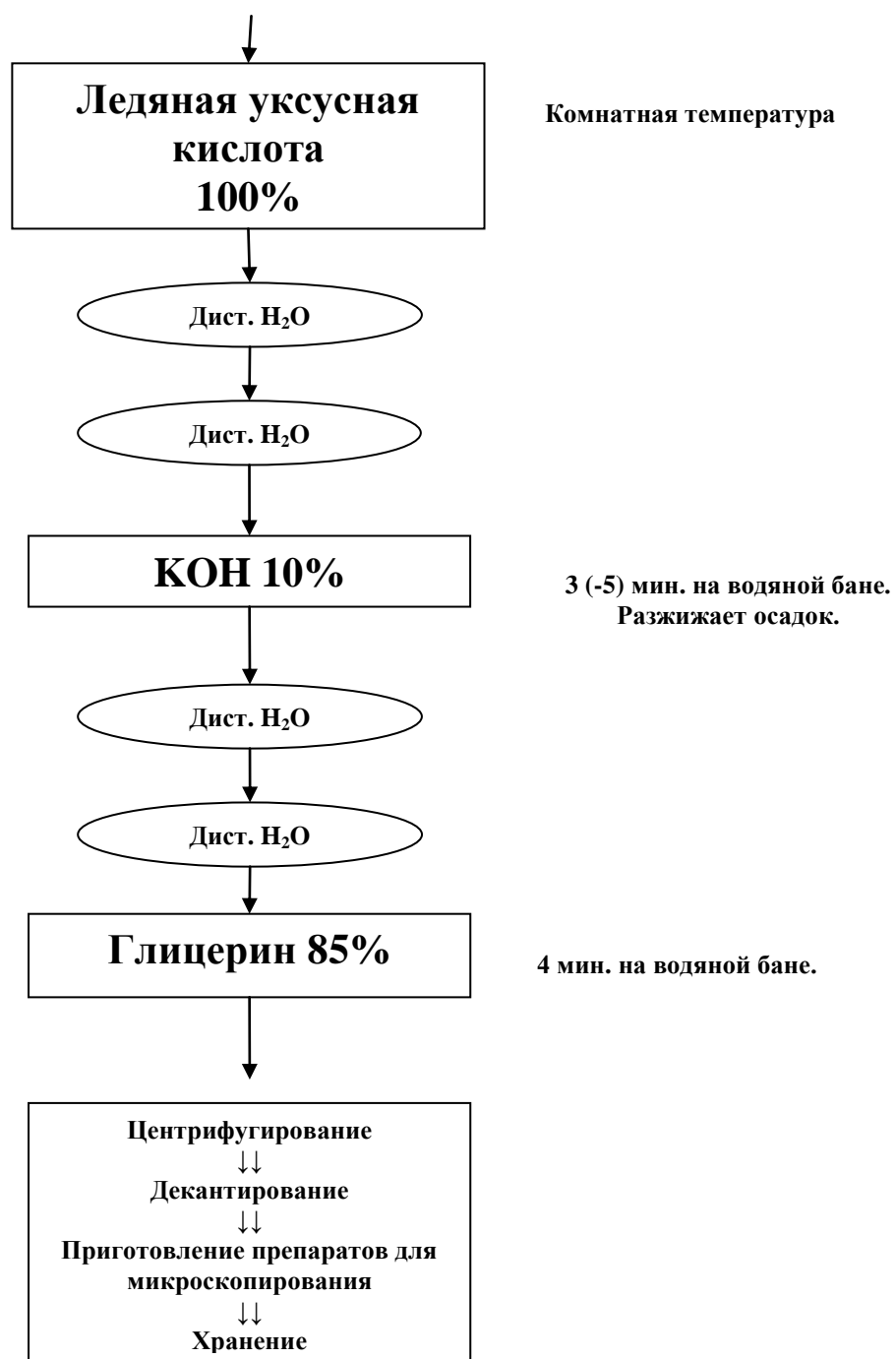


Схема 2. Метод Фаегри-Иверсена





Спорово-пыльцевая диаграмма может охватывать значительные промежутки времени, поэтому для удобства интерпретации диаграммы принято делить на зоны. Палинозоны представляют собой биостратиграфические последовательности внутри диаграммы, характеризующиеся особым типом палинофлоры. Выделение зон производится как визуальным методом, так и с помощью кластерного анализа, например, в программе CONISS [Grimm, 1987, 1991].

ГЛАВА 5. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СПОВОРО-ПЫЛЬЦЕВЫХ ДИАГРАММ

При интерпретации спорово-пыльцевых диаграмм исследователь решает две основные задачи:

(1) установление состава растительности, которая продуцировала пыльцевой дождь, отраженный на диаграмме, и

(2) реконструкции природных условий влиявших на формирование подобной растительности – климата, антропогенного воздействия и т.д. [Faegri, Iversen, 1989].

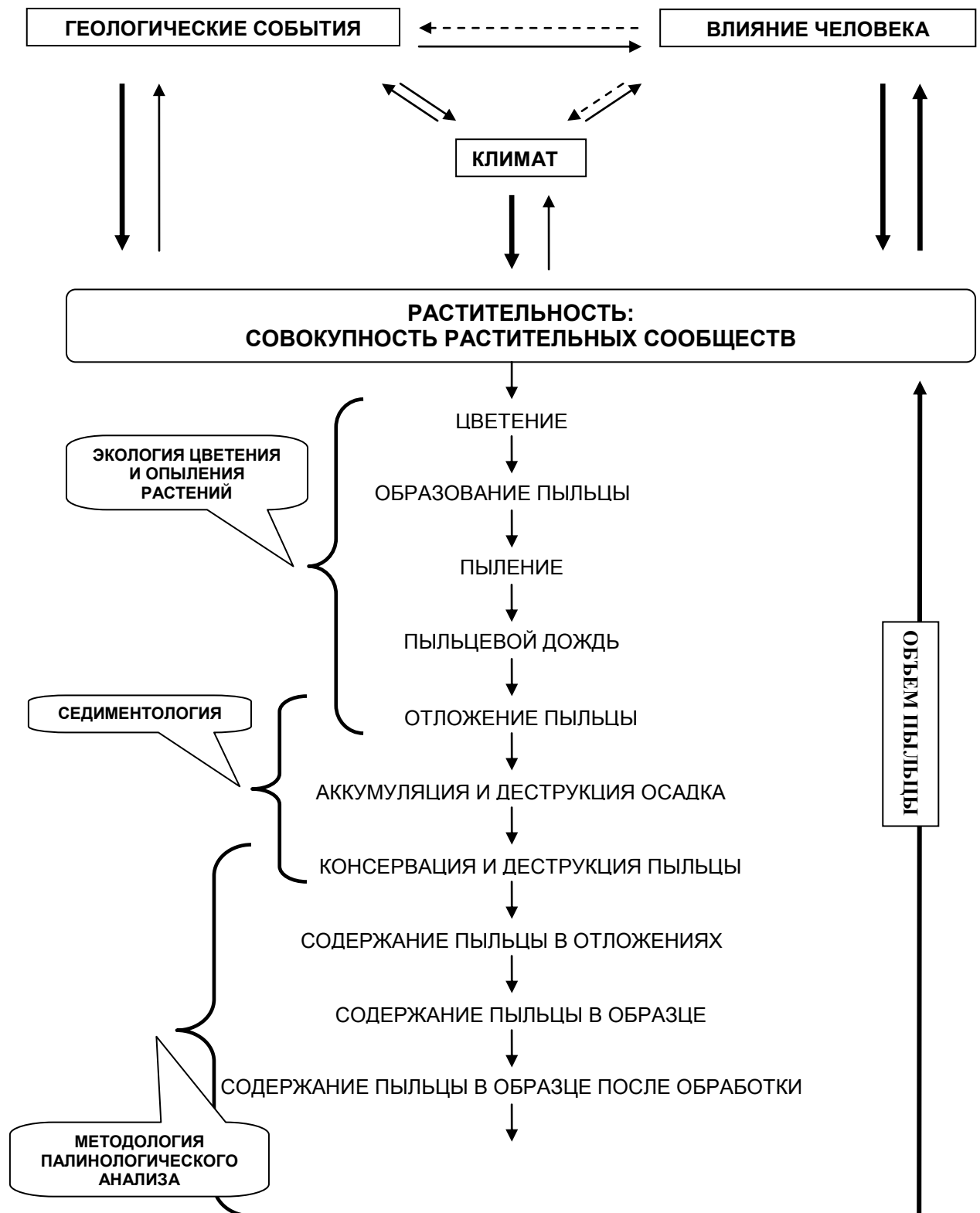
Палинологические спектры являются отражением современной им растительности на определенной территории, но из-за разной пыльцевой продуктивности, особенностей переноса и сохранения пыльцы и спор, связь между реальным фиторазнообразием и составом пыльцевого спектра не однозначная (Схема 3). Для успешной интерпретации палинологических диаграмм исследователь должен обладать достаточными знаниями об экологии и физиологии видов, продуцирующих пыльцу в регионе. Нельзя забывать о том, что спорово-пыльцевая диаграмма представляет только цветущие растения. Поэтому если растение не доживает до цветения, например, из-за использования его человеком, или из-за неподходящих погодных условий, то на диаграмме в этот период времени процент пыльцы этого вида будет незначительным, даже если он хорошо представлен в растительном покрове. Важно также отличать изменения состава палинологических спектров, вызванные климатическими колебаниями, и изменения, вследствие сукцессионных преобразований растительных сообществ (например, на заболоченных территориях).

При обработке палинологических данных могут возникать различные трудности, которые ведут к ошибкам в интерпретации.

Разница в пыльцевой продуктивности разных видов – одна из главных проблем интерпретации данных. Например, сосна продуцирует большое количество пыльцы, способной, к тому же, переносится на огромные расстояния из-за особенностей строения пыльцевых зерен. Количество пыльцы отдельных видов, представленных в палинологических спектрах, зависят от следующих факторов [по Faegri, Iversen, 1989]:

1. Степень участия вида в растительном покрове изучаемого региона.
2. Абсолютная пыльцевая продукция вида, которая зависит как от индивидуальных особенностей вида, так и от его положения в фитоценозе (например, отдельно стоящее дерево продуцирует пыльцы больше, чем дерево в составе древостоя). Кроме этого, важно отметить, что пыльцевая продукция варьирует год от года – некоторые деревья продуцируют пыльцу только через определенное количество лет.
3. Механизмы распространения пыльцы также влияют на особенности ее отложения. Пыльца, которая переносится ветром (к этому типу относится большинство североазиатских деревьев), распространяется на большие расстояния и откладывается во всех типах ландшафтов. Пыльца растений, опыляемых насекомыми (липа, ива, клен), часто, наоборот бывает плохо представлена в палинологических спектрах.

Схема 3. Связь между результатами палинологического анализа и растительными сообществами, продуцировавшими пыльцу («схема палинологического анализа» по Faegri, Iversen [1989]).



Одна из проблем интерпретации палинологических данных связана с **фракционированием осадка**. Особенно это касается минеральных отложений, которые всегда фракционированы в той или иной степени. Пыльца и споры в таких отложениях аккумулируются в той фракции, которая имеет такую же скорость седиментации. Это означает, что бесполезно искать пыльцевые зерна в песках, так как скорость осаждения песчинок несравнимо больше. В большинстве минеральных осадков пыльцу можно ожидать только глинах и тонких илистых фракциях.

Другая проблема связана **переотложением пыльцы и спор**. Чаще всего наблюдается переотложение пыльцы из более древних отложений в результате эрозии. Это может быть связано как с естественной эрозией, так и с хозяйственной культивацией земель в прошлом. Переотложенная пыльца довольно хорошо распознается в отложениях по степени разрушенности экзины, более темному цвету (рис. 8).

Эффект большей представленности локальной пыльцы в спектре также приводит к неправильной интерпретации диаграммы. Так верховой торф, образованный сосной, будет содержать большое количество пыльцы сосны, хотя сосняки могут и не доминировать в регионе.

Перенос пыльцы на большие расстояния («дальний занос») является еще одной большой трудностью при реконструкции растительности по палинологическим данным. Доля древесной заносной пыльцы в спектрах из травяных сообществ может достигать 50%. Например, в поверхностных спорово-пыльцевых спектрах из аридных районов Туркменистана была найдена пыльца сосны в высокой концентрации [Сладков, 1967]. Пыльца многих листопадных деревьев и травянистых растений, напротив, имеет тенденцию отлагаться локально (Таблица 1). Таким образом, 10% пыльцы сосны в спектре не означает, что сосны произрастали в исследуемом регионе в определенное период, в то время как, 10% пыльцы бука будет указывать, что эта порода занимала видное место в древостое.

Таблица 1. Вероятная дальность заноса пыльцы разных таксонов ветром [по Сладкову, 1967].

Наименование таксона	Дальность заноса пыльцы
Larix (лиственница)	Несколько сотен метров
Pinus (сосна)	500 – 1700 км
Picea (ель)	300 – 400 км
Abies (пихта)	1250 - 1300 км
Betula (береза)	250 – 300 км
Alnus (ольха)	250 – 300 км
Quercus (дуб)	Около 1 км
Tilia (липа)	В пределах ареала
Carpinus (граб)	В пределах ареала
Ulmus (вяз)	В пределах ареала

Травы	В пределах ареала
-------	-------------------

Эти трудности помогают решать знания о принципах современного распространения и отложения пыльцы и изучение современных поверхностных спорово-пыльцевых спектров из разных регионов, типов ландшафтов и растительных сообществ.

ГЛАВА 6. ПРИМЕНЕНИЕ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА

6.1. Реконструкция растительности и флоры

Прямым применением палинологического метода являются реконструкции растительного покрова. Пыльцевая запись - это вполне надежный документ, дающий представление о составе растительного покрова определенной территории в определенное время [Faegri, Iversen, 1989]. В тех случаях, когда основу палинологических спектров составляют насекомопыляемые таксоны, пыльца которых не переносится на большие расстояния, есть возможность проводить довольно точные реконструкции растительных сообществ, продуцировавших зафиксированную пыльцу.

К сожалению, возможности точных видовых и даже родовых определений при рутинных палинологических исследованиях на сегодняшний день ограничены. Поэтому зачастую прямая интерпретация набора палинотаксонов является делом не простым. К примеру, к семейству лютиковых (*Ranunculaceae*), одному из наиболее распространенных и типичных голарктических семейств, относятся виды, принадлежащие к самым разным эколого-географическим группам (водные, лесные, луговые, степные, высокогорные). А вот пыльцевые зерна лютиковых сходны. То же самое касается и многих других распространенных у нас растительных таксонов.

Для того чтобы унифицировать задачу реконструкции растительности в настоящее время применяется ряд количественных подходов. Данные палинологического анализа могут быть использованы для **метода биомизации** [Prentice et al., 1996; Тарасов, 2000]. Биомы (формации) являются наивысшей категорией при классификации растительности и представляют собой совокупности сообществ с господством одной жизненной формы (тундра, тайга, степь, широколиственные листопадные леса, пустыни и т.д.) [Миркин, Наумова, 1998]. Составляющими биомов служат единицы более мелкого ранга – функциональные типы растительности (ФТР). Таксоны, входящие в определенный ФТР, могут объединять такие параметры, как филогенетические характеристики, сходная жизненная форма, размер растений, особенности сезонного развития, отношение к экологическим факторам и т. д. ФТР являются элементарной единицей для глобального экологического моделирования. Е. Бокс выделил 90 ФТР, применяемых при реконструкциях природных условий прошлых эпох, основанных на отношении таксонов к таким климатическим факторам, как температура и количество осадков [Box, 1981, 1996].

Суть метода состоит в том, что каждый таксон (в том числе и палинотаксон) на основании его жизненной формы, экологии и отношения к некоторым климатическим показателям попадает в определенный функциональный тип растительности. Некоторые таксоны могут попадать в разные ФТР, если слагающие их виды имеют разную экологию. Результат распределения таксонов по функциональным типам растительности отражается в виде ФТР x таксонной матрицы. Функциональные типы растительности объединяются в биомы, образуя ФТР x биомную матрицу. Набор определенных ФТР характеризует определенный биом (Таблица 1). В итоге создается таксон x биомная матрица, в которой каждый палинотаксон отнесен к одному или нескольким биомам.

Количественно близость совокупности таксонов палинологического образца к определенному биому (вес биома) рассчитывается по формуле [Prentice et al., 1996]:

$$A_{ik} = \sum_j \delta_{ij} \sqrt{\{\max [0, (p_{ik} - \theta_j)]\}} ,$$

где A_{ik} – близость совокупности таксонов палинологического образца i к биому k ; \sum_j – сумма всех таксонов палинокомплекса; δ_{ij} – входимость в таксон x биомную матрицу для биома i и таксона j ; p_{ik} – содержание таксона в процентах; θ_j – порог входимости таксона в расчеты, выраженный в процентах.

Математическая операция по извлечению квадратного корня применяется для того, чтобы стабилизировать разное процентное содержание таксонов и повысить чувствительность метода к таксонам не показывающим большого обилия.

Входимость таксона в ФТР и в биомы имеет определенный статистический порог (принятый 0.5%), который необходим, чтобы исключить представленность незначительных или переотложенных таксонов в спектре. Для расчета веса каждого биома в спектре метод опирается на положения нечеткой логики (fuzzy logic). Результат реконструкции выражается количественно в виде веса каждого биома в определенном спектре. Определяющим биомом будет тот, который имеет наибольший вес. Если несколько биомов имеют одинаковый вес, то определяющим становится тот, в котором наименьшее количество ФТР [Тарасов, 2000]

Таблица 2. Некоторые функциональные типы растительности, биомы и относящиеся к ним таксоны северной Евразии.

БИОМЫ	ФТР	ТАКСОНЫ
Тундра	Аркто-альпийские	Ольховник, карликовая
	полукустарнички	березка, куропаточья
		травы
	Злаковники	Мятликовые (злаки)
	Осочники	Осоковые

Тайга	Бореальные листопадные деревья	<i>Береза, лиственница</i>
	Бореальные вечнозеленые хвойные	<i>Ель</i>
	Холодные и умеренные бореальные вечнозеленые хвойные	<i>Пихта</i>
	Эвритермные бореальные вечнозеленые хвойные	<i>Сосна сибирская</i>
	Эвритермные бореальные вечнозеленые хвойные	<i>Сосна обыкновенная</i>
Умеренные листопадные леса	Бореальные листопадные	<i>Береза, лиственница</i>
	Эвритермные хвойные	<i>Можжевельник, сосна обыкновенная</i>
	Бореально-умеренные листопадные кустарники	<i>Жимолость, бузина, рябина, калина</i>
	Умеренные листопадные	<i>Клен, ясень, дуб, бересклет</i>
Степь	Степные травы и кустарнички	<i>Сложноцветные, розоцветные, лютиковые, губоцветные, зонтичные, гвоздичные, маревые и т. д.</i>
	Злаковники	<i>Мятликовые (злаки)</i>
Пустыня	Пустынные травы и кустарнички	<i>Эфедра, маревые, парнолистниковые, тамарисковые</i>

6.2. Реконструкция климата

Классической проблемой, кроме реконструкции растительности, которую пытаются решить, применяя палинологический метод, является реконструкция климата. Растительность не является универсальным метеорологическим инструментом, так как не все климатические параметры влияют на ее развитие. Получать качественные характеристики климата (холоднее, теплее, более влажно, сухо) с помощью палинологических данных, достаточно просто. Более сложной задачей является количественная оценка климата.

Для реконструкций климатических параметров применяются методы, использующие статистические связи между составом современных спорово-пыльцевых спектров и климатическими условиями их формирования. Чаще всего с использованием палинологических данных реконструируют температуры и влажность воздуха. Одним из таких подходов является метод биоклиматических аналогов [Overpeck, 1985; Guiot, 1990; Nakagawa et al., 2002]. В основе метода лежит поиск соответствия ископаемого спектра современным спорово-пыльцевым спектрам, для каждого из которых приведены определенные значения метеорологических переменных (например,

усредненные за 30 лет). Для успешного применения метода необходимо иметь обширную базу данных современных субфоссильных палинологических спектров. В стандартном методе наилучших современных аналогов используется евклидово расстояние для определения близости между каждым ископаемым спектром и каждым современным субфоссильным спектром, занесенным в базу данных. Как правило, для реконструкции климата используются 5-10 современных спектров (с наименьшим геометрическим расстоянием), которые рассматриваются в качестве современных аналогов ископаемым спектрам. Геометрическое расстояние может определяться как процентным содержанием таксонов в спектре [Guiot, 1990], так и количественным весом функциональных типов растительности [Nakagawa et al., 2002]. Наиболее часто реконструируемыми климатическими характеристиками являются среднегодовые температуры, температуры самого холодного и самого теплого месяцев, годовое количество осадков, то есть те параметры, которые определяют развитие современной растительности. Для получения современных климатических данных можно использовать электронный атлас IWMI Climate Atlas [<http://wcatlas.iwmi.org>, New et al., 2002].

Методы палеоклиматических реконструкций, основанные на сопоставлении современных и ископаемых спорово-пыльцевых спектров, имеют некоторые ограничения. Применение этих методов подразумевает, что все изменения в составе ископаемых спектров определяются климатическими причинами, в то время как на состав спорово-пыльцевых спектров влияют изменения почвенно-эдафических условий, конкурентные взаимоотношения растений, сукцессионные смены сообществ и т.д. Другой возможной проблемой подобных реконструкций может стать отсутствие аналогов ископаемым палинологическим спектрам среди современных спектров [Борисова, 2008].

Другой подход к реконструкции климата по палинологическим данным основан на учете присутствия таксонов в составе ископаемой флоры. В его основе лежат допущения о неизменности экологических требований видов растений и о том, что современное географическое распространение растений обусловлено климатом [Гричук, 1969, 1985]. Границы ареала вида определяются преимущественно его требованиями к теплообеспеченности и влажности. Предполагается, что если в настоящее время существует район, в котором совместно произрастают те виды, остатки которых определены в ископаемом состоянии в каком-либо горизонте (центр концентрации), то климатические условия этого района идентичны (или близки) климату, существовавшему во время жизни данной палеофлоры. Положение такого центра определяется путем построения **ареалогаммы**, то есть картографического суммирования современных ареалов всех видов, остатки которых (пыльца, семена, остатки тканей и т.д.) найдены в интересующем нас горизонте.

Используя данные о современных климатических условиях, являющихся оптимальными для каждого вида растений, могут быть построены специальные диаграммы - **климатограммы**, отражающие сочетания температуры наиболее холодного и наиболее теплого месяцев года, годовой суммы осадков и т.д. Для

построения климатограмм используются данные, полученные с метеостанций, находящихся в пределах ареала вида. На основании этих данных строятся вариограммы, одна из которых отражает термические условия, а другая характеризует условия увлажнения. В первом случае по оси абсцисс откладывается средняя температура января (самого холодного месяца), а по оси ординат – июля (самого теплого месяца), таким образом, что по каждой метеостанции получается одна точка температурного поля. Затем все точки оконтуриваются, образуя пространство, характеризующее отношение вида к теплообеспеченности. Также строят и вторую вариограмму, только по оси абсцисс откладывается число дней безморозного периода, а по оси ординат – годовое количество осадков [Гричук, 1985]. Совмещение климатограмм всех видов, входящих в ископаемую флору, позволяет найти пределы климатических параметров, допускающие существование данной ископаемой флоры.

6.3. Применение палинологического анализа для стратиграфии и корреляции геологических отложений

В некоторых случаях палинологический метод может также применяться для выяснения геологического возраста исследуемых пород и проведения детального хроностратиграфического расчленения разреза. Эти данные служат для региональных и дальних корреляций геологических тел и отдельных палеогеографических событий. Степень достоверности стратиграфических построений зависит от полноты геологической летописи в исследуемых разрезах и репрезентативности полученных материалов [Болиховская, 1995]. Особенно важную роль играет палинологический метод для стратиграфии и корреляции отложений дочетвертичного и раннечетвертичного времени.

6.4. Палинологический метод в археологии

В настоящее время выделяют отдельную науку – **археологическую палинологию**. Археологическая палинология занимается изучением спор, пыльцы и других палиноморф в археологических отложениях, для того чтобы установить особенности диеты древних людей, их погребальные обряды, реконструировать климат и растительность эпох обитания древнего человека. Важной ролью палинологического метода является установление стратиграфических подразделений геологических отложений археологических объектов.

Палинологический метод является перспективным направлением для установления времени возникновения земледелия в тех районах, где интенсивно проявлялась деятельность человека. Благодаря специфичности спорово-пыльцевого анализа признаки земледелия могут быть обнаружены там, где не сохранились соответствующие орудия труда, и даже в археологически «стерильных» слоях, например, в торфяниках, озерных или пойменных отложениях [Рябогина, 2006].

Основным морфологическим отличием пыльцы культурных злаков от дикорастущих является ее более крупный размер. К группе злаков с наиболее выдержанными морфологическими признаками, позволяющими отличить культурные злаки от дикорастущих, относятся рожь (*Secale cereale*), пшеница (*Triticum aestivum*), ячмень (*Hordeum*), кукуруза (*Zea mays*), просо (*Panicum*), сорго (*Sorghum*), рис (*Oryza sativa*) и овес (*Avena sativa*) [Федорова, 1959]. Еще одним диагностическим признаком наличия земледелия является присутствие в отложениях не только крупных по размерам пыльцевых зерен культурных злаков, но и повышенное содержание сопутствующей им пыльцы сорняков [Алешинская, Спиридонова, 2001].

Одним из примеров удачного сотрудничества археологов и палинологов является находка Тирольского ледяного человека или Отци. В 1991 г. на границе Италии и Австрии, в Тирольских Альпах, после чрезвычайного таяния льда на леднике Симилаун на высоте 3210 м группа альпинистов нашла тело неолитического человека, который жил около 5200 лет назад. В честь деревушки Отцталь, в окрестностях которой альпинисты нашли мумию, погибшего странника называли Отци. Учёных Отци очень заинтересовал, так как он отлично сохранился благодаря своей ледяной могиле, кроме этого с ним были найдены одежда, оружие и некоторые предметы обихода.

Через четыре дня после находки тело Отци было доставлено в Институт судебной медицины в г. Инсбрук (Австрия), где оно было подвержено многочисленным анализам. Ученым удалось установить, что Отци погиб в 46 лет. Его рост составлял примерно 159 сантиметров. Анализ ДНК показал, что он был представителем европейцев, живущих в районе Альп [Spindler, 1994].

Мумия Отци гораздо старше, чем все остальные мумии, найденные в ледниках и это редкий случай, когда дегидратация произошла до того, как тело было «запаковано» в лед. Это объясняет отличную сохранность тела и мягких тканей (в том числе глаз, мозга, кишечника). Даже остатки еды в его кишечном тракте хорошо сохранились и дали информацию о диете, окружающей среде и сезоне смерти [Dickson et al., 2000].

В сентябре 2000 г. тело Отци было в первый раз разморожено для проведения дополнительных анализов. На анализ были взяты образцы пищи из толстой кишки и образцы ткани кишечника мумии. С применением различных методик был приготовлен пыльцевой концентрат. Для определения пыльцы из кишечника Отци были собраны образцы современных пыльцевых спектров из подушек мхов в окрестностях места нахождения мумии.

При исследовании пыльцы, обнаруженной в остатках еды Отци, ученым надо было решить задачу: откуда пыльца могла попасть в кишечник (с пищей, водой, дыханием, бронхиальной слизью и т.д.). Второй вопрос, который стоял перед исследователями - была ли эта пыльца растений употребляемых в пищу и используемых в хозяйстве, или это пыльца, продуцируемая окружающей растительностью. В результате палинологического анализа в остатках еды и образцах тканей кишечника были обнаружены пыльцевые зерна пшеницы, маревых, примулы, калужницы болотной, папоротника орляка, которые могли быть частью рациона, так как их содержание в образцах составляло более 2%.

Также были найдены частички древесины хвойных, что может говорить о приготовлении пищи на открытом огне.

Яйца нематоды *Trichuris trichiura*, паразитирующей в толстой кишке человека, также были обнаружены в образцах тканей кишечника.

Пыльца пшеницы и мышечные волокна свидетельствуют о всеядности Отци. Интересным фактом, дающим информацию о растениеводстве того времени, является то, что клетки пшеницы также обнаруженные в кишечнике мумии принадлежат пшенице сорта «einkorn» (полба, *Triticum monococcum*) – распространенной на заре человеческой цивилизации зерновой культуре.

Еще одной неожиданной находкой стали споры и листья лесного мха *Neckera complanata*. Употреблению в пищу этого мха неизвестно, но возможно, что современники Отци заворачивали в него еду.

Распределение пыльцевых зерен по кишечнику указывает, что Отци ел три раза в этот день. Эти данные также подтверждаются данными анализа ДНК из разных отделов желудочно-кишечного тракта, где найдены ДНК благородного оленя и каменного козла.

Палинологический анализ содержимого кишечника Отци показал, что неолитический человек проделал в свой последний день длинный путь. Он спустился из субальпийского пояса в долину, а затем опять поднялся в высокогорья. За 9-12 часов до гибели Отци проходил через лиственный лес с хмелеграбом, затем он поднялся в хвойный лес субальпийского пояса, где последний раз поел, а потом начал карабкаться на перевал, где и погиб [Oegg], 2007].

Еще одна археологическая загадка, которую помогли разгадать палинологические исследования, связана со знаменитой китайской Терракотовой армией, захороненной в мавзолее первого императора династии Цинь – Цинь Шихуанди в 210—209 гг. до н. э. Со времени начала раскопок (1974 г.) исследователи не могли дать ответ на вопрос о месте изготовления терракотовых фигурок воинов и коней, так как печи, где могли обжигаться фигурки не были найдены. Ответ на этот вопрос был получен после изучения пыльцы, которая сохранилась в трещинах толстого слоя терракоты фигурок и в образцах почвы мавзолея. Исследование показало, что пыльцевые комплексы ясно могут быть разделены на две группы – одна, преимущественно встречающаяся в фигурках воинов, а вторая - в фигурках лошадей. Следовательно, воины и лошади изготовлялись в разных местах. Фигурки лошадей, более тяжелые и неудобные для перевозки, вероятно, изготовлялись в непосредственной близости от мавзолея, в то время как фигурки воинов изготовлялись и поставлялись из более отдаленных мастерских.

В нашей стране палинологические исследования также активно применяются для изучения археологических объектов. Ярким примером можно считать многолетнее сотрудничество ученых Института археологии и этнографии СО РАН и исследователей–палинологов Московского государственного университета в изучении палеолитических стоянок Алтая.

В частности, самые полные и представительные спорово-пыльцевые данные получены по стоянкам и разрезам Северо-Западного Алтая. По

результатам изучения разреза Черный Ануй, стоянок Нижний Каракол, Усть-Каракол-1, Денисова пещера и Ануй-2, расположенных в горном лесном поясе, реконструированы основные плейстоценовые события в развитии растительного покрова и климата долины верхнего течения р. Ануй [Малаева, 1995, 1998; Природная среда..., 2003]. На основании результатов палинологического анализа отложений многослойной стоянки Карама, которая является самым древним и стратиграфически полным палеолитическим памятником Северной Азии, детально реконструированы ландшафтно-климатические условия обитания раннепалеолитического человека, заселявшего территорию низкогорного Алтая во время первой миграционной волны популяций *Homo erectus* из Африки. Н.С. Болиховской впервые получены подробные флористические, фитоценотические и климатические характеристики двух межледниковых и двух холодных эпох среднего плейстоцена (780-620 тыс. л. н.) [Болиховская, Шуньков, 2005]. Установлены также особенности развития растительности межстадиальных и стадиальных интервалов сартанского позднеледниковья по палиноспектрам отложений пещерной стоянки Каминная, расположенной в среднегорье Северо-Западного Алтая [Деревянко, Болиховская, Маркин, 1999].

СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ

Апертура – наиболее тонкая (или перфорированная) часть спородермы, которая отличается от остальной спородермы орнаментом и/или структурой. Апертуры различаются по форме (щелевидные, округлые) и положению. В живых пыльцевых зернах апертуры являются местом прорастания пыльцевой трубки, а также обеспечивают транспорт воды и других химических веществ.

Археологическая палинология – наука, занимающаяся изучением спор, пыльцы и других палиноморф в археологических отложениях, для того чтобы установить особенности диеты древних людей, их погребальные обряды, реконструировать климат и растительность эпох обитания древнего человека.

Ацетализ – химический метод обработки пыльцевых зерен с применением уксусного ангидрида и серной кислоты, предложенный Гуннаром Эрдтманом для удаления целлюлозной внутренней оболочки интины и сохранения только внешней оболочки – экзины.

Биом - наивысшая категория при классификации растительности. Биомы представляют собой крупные региональные или субконтинентальные биологические системы, характеризующиеся каким-либо особым типом растительности (совокупностью растительных сообществ с господством одной жизненной формы) или характерной особенностью ландшафта. Примеры биомов: тундра, тайга, степь, широколиственные листопадные леса, саванны, пустыни и т.д.

Дальний занос пыльцы – перенос ветром пыльцы некоторых ветроопыляемых видов растений на большие расстояния (например, пыльцы хвойных,

которая обладает специализированными структурами – пыльцевыми мешками).

Диада – две объединенные микроспоры (пыльцевые зерна или споры), существующие как отдельная структура.

Интина – внутренний слой оболочки пыльцевого зерна. Состоит из пектина и целлюлозы. Из интины при прорастании образуется пыльцевая трубка.

Лёсс – однородная тонкозернистая неслоистая горная порода, состоящая из мельчайших зерен кварца, глины и углекислого кальция. Содержание пыльцы и спор в лессах незначительно.

Лёссовидные отложения - осадочные породы, внешне напоминающие лёсс и по составу относящиеся к суглинкам и супесям. Отличаются от лёсса наличием слоистости и прослоев галечников, более глинистым составом, включением раковин пресноводных моллюсков.

Микрогаметогенез – процесс у растений, приводящий к образованию мужской гаметы (пыльцевого зерна) из микроспоры.

Микроспорогенез - процесс у растений, при котором из микроспоры материнской клетки образуется тетрада микроспор, каждая из которых в последующем процессе микрогаметогенеза образует пыльцевое зерно.

Озерные отложения – отложения, образующиеся на дне озер. Могут быть механические (гравий, галька, песок, ил, глина), химические (озерный мел, природная сода, мирабилит, гипс и т.д.) и органические (торф, гиттия, сапропель, диатомит). Озерные отложение, как правило, содержат большое количество пыльцы и спор и являются хорошим объектом для палинологического анализа.

Палеопалинология – наука изучающая ископаемые палиноморфы.

Палеоэкология – наука, изучающая условия существования и образ жизни организмов (животных и растений) в прошлые геологические эпохи.

Палиногоризонт – совокупность одновозрастных разнофациальных отложений, содержащая серию палинокомплексов одного типа, которая отражает определенные климатические условия и отличается от серий палинокомплексов подстилающих и перекрывающих горизонтов.

Палинозона - совокупность слоев горных пород, характеризующаяся определенным палинокомплексом, отличающимся в структурном и таксономическом отношении от подстилающих и перекрывающих слоев, и отражающим соответствующие климатические условия.

Палинологический (спорово-пыльцевой) анализ - метод исследования, позволяющий определять таксономическую принадлежность растений по характерным морфологическим особенностям спор и пыльцевых зёрен.

Палинологический комплекс — совокупность спор, пыльцы и других палиноморф определенного таксономического состава и структуры, характерной для отложений определенного стратиграфического интервала и отличающейся в качественном и количественном отношении от совокупности палиноморф из подстилающих и покрывающих пород.

Палинология – раздел ботаники, изучающей пыльцу, споры и другие палиноморфы, их строение, развитие, закономерности рассеивания и захоронения.

Палиноморфы – непыльцевые формы, которые встречаются в палинологических препаратах: клетки устьиц растений, угольки, остатки водорослей, споры грибов, яйца животных. К палиноморфам относятся только те объекты, которые не разрушаются при химической обработке, применяемой в палинологическом методе.

Палиноспектр - совокупность спор, пыльцы и других палиноморф, выделенных при анализе единичной пробы

Палиностратиграфия – раздел биостратиграфии, изучающий распределение палинокомплексов в осадочных отложениях с целью установления относительного возраста и соотношения одновозрастных слоев на различных территориях.

Переотложение пыльцы и спор – попадание пыльцевых зерен и спор в отложения другого возраста (чаще в более молодые), вследствие процессов естественной эрозии, а также эрозии, возникающей из-за культивации земель.

Периспорий (перина) – оболочка спор, образующаяся поверх экзоспория. Периспорий не образует сплошного слоя, а откладывается отдельными глыбками.

Пора – круглая или овальная апертура в экзине пыльцевых зерен.

Почва – уникальное природное образование, обладающее свойствами, присущими живой и неживой природе и состоящее из генетически связанных горизонтов, которые образуют почвенный профиль. Почва возникает в результате преобразования поверхностных слоев литосферы под совместным воздействием воды, воздуха и организмов. Нахождение пыльцы в почвах наиболее вероятно в ее поверхностных слоях, так как под действием биогенных и абиогенных почвенных процессов пыльцевые зерна разрушаются.

Пыльца – совокупность отдельных пыльцевых зерен, образующихся в гнездах пыльника и служащих для полового воспроизведения.

Пыльцевое зерно – мужской гаметофит семенного растения.

Растительность – совокупность растительных сообществ (фитоценозов) Земли или отдельных регионов.

Спора – специализированные клетки, служащие для размножения споровых растений (папоротники, плауны, мхи, грибы).

Спорово-пыльцевая диаграмма – графическое изображение процентного содержания палинотаксонов в каждом палинологическом спектре, которые расположены в стратиграфическом порядке.

Спорополленин – стойкий к воздействию химических веществ биополимер, образующийся в экзине пыльцевых зерен и экзоспории спор. Предположительно, β -каротиноидный эфир с примерной формулой $C_{90}H_{150}O_{33}$. Устойчив к воздействию химических веществ, что позволяет

пыльце и спорам сохраняться в геологических отложениях долгое время (до неск. млн лет), не разрушаясь.

Таксон - группа дискретных объектов, связанных той или иной степенью общности свойств и признаков, благодаря чему дающих основание для присвоения им определённой таксономической категории (вид, род, семейство). При этом таксон всегда характеризует конкретную совокупность объектов (сосна обыкновенная, полынь, бобовые).

Тетрада – объединенные по четыре пыльцевые зерна или споры, как существующие отдельно в зрелом состоянии, так и на стадии развития в процессе микроспорогенеза.

Торф - горючее полезное ископаемое, образующееся в процессе естественного отмирания и неполного распада болотных растений в условиях избыточного увлажнения и затруднённого доступа воздуха. Содержит большое количество пыльцы и спор.

Флора – исторически сложившаяся совокупность таксонов, произрастающих в настоящее время или произраставших в прошлые геологические эпохи на определенной территории.

Функциональный тип растительности – группа растительных таксонов, которые объединяют филогенетические характеристики, сходная жизненная форма (деревья, травы, лианы), размер растений, особенности сезонного развития (листопадность, вечнозеленость), толерантность к экологическим факторам и т. д. Являются элементарной единицей для глобального экологического моделирования.

Экзина – наружный слой оболочки пыльцевого зерна, которая содержит устойчивый к химическим воздействиям биополимер спорополлений. Сохраняется в геологических отложениях длительное время (до неск. млн лет). Экзина состоит из двух частей: верхней эктэкзины и внутренней эндэкзины.

Экзоспорий (экзина) – наружная толстая оболочка споры, содержащая спорополлений. Снаружи часто покрыта различными выростами: шипиками, бугорками, гребнями.

Эндоспорий (интина) – внутренняя бесцветная оболочка спор, состоящая из клетчатки. При прорастании спор экзоспорий прорывается и эндоспорий вытягивается наружу в виде удлиняющейся ростковой трубочки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Алешинская А.С., Спиридонова Е.А. Особенности природной среды Волго-Окского междуречья в железном веке и средневековье // Отчет лаборатории естественнонаучных методов Института археологии РАН, 2001. - архив Ин-та археологии РАН.

Болиховская Н.С. Эволюция лёссово-почвенной формации Северной Евразии. - М.: Изд-во МГУ, 1995. - 270 с.

Болиховская Н.С., Шуньков М.В. Климатостратиграфическое расчленение древнейших отложений раннепалеолитической стоянки Карама // Археология, этнография и антропология Евразии, 2005.- № 3 (23). - С. 52-69.

Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в умеренных широтах Северного и Южного полушарий за последние 130000 лет. - Москва, ГЕОС, 2008. - 264 с.

Гричук В.П. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене. - М., 1989. - 183 с.

Гричук В.П. Опыт реконструкции некоторых элементов климатов северного полушария в атлантический период голоцена // Голоцен. - М.: Наука, 1969. - С.41-57.

Гричук В.П. Реконструкция скалярных климатических показателей по флористическим материалам и оценка ее точности // Методы реконструкции палеоклиматов. М.: Наука, 1985. – С. 20-28.

Деревянко А.П., Болиховская Н.С., Маркин С.В. Палеогеографические обстановки финала верхнего плейстоцена Северо-западного Алтая (по материалам разрезов пещеры Каминная) // Геохимия ландшафтов, палеоэкология человека и этногенез. - Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1999. - С. 24-26.

Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР. Lamiaceae~Zygophyllaceae. - Л.: Наука, 1978. - 183 с.

Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца и споры растений флоры СССР. - Л.: Наука, 1972. – Т.1. - 171 с.

Малаева Е.М. Об изменчивости климатического режима Горного Алтая в позднем плейстоцене и палеогляциологических реконструкциях // Геоморфология, 1995. - № 1. - С. 51-60.

Малаева Е.М. Палинология отложений разреза палеолитической стоянки Усть-Каракол-1 // Палеоэкология плейстоцена и культуры каменного века Северной Азии и сопредельных территорий. - Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 1998. - Т. 1. - С. 221-230.

Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности: (история и современное состояние основных концепций). – Уфа : Гилем, 1998. – 413 с.

Природа и древний человек/Лазуков Г.И., Гвоздовер М.Д., Рогинский Я.Я. и др. - Издательство "Мысль", 1981 – 224 с.

Природная среда и человек в палеолите Горного Алтая/А.П. Деревянко, М.В. Шуньков, А.К. Агаджанян, Г.Ф. Барышников, Е.М. Малаева, В.А.

Ульянов, Н.А. Кулик, А.В. Постнов, А.А. Анойкин. - Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2003. – 448 с.

Пыльцевой анализ. - М.: Гос. изд-во геол. лит-ры, 1950. - 571 с.

Рябогина Н.Е. Очаги культивирования злаков в древности на территории Западной Сибири по палеоботаническим данным // Вестник ВОГИС, 2006. - Том 10. - № 3. - С. 572-579.

Сладков А.Н. Введение в спорово-пыльцевой анализ. - М.: Наука, 1967. - 270 с.

Стоянка раннего палеолита Карама на Алтае (А.П. Деревянко, М.В. Шуньков, Н.С. Болиховская, В.С. Зыкин, В.С. Зыкина, Н.А. Кулик, В.А. Ульянов, К.А. Чиркин) - Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2005 - 88 с.

Тарасов П.Е. Реконструкции климата и растительности северной Евразии позднего плейстоцена по палинологическим данным // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. – М.: Изд-во Московского университета, 2000. - С. 70-97.

Федорова Р.В. Некоторые особенности морфологии пыльцы культурных злаков // Труды института географии АН СССР: Матер. по геоморфологии и палеогеографии. Работы по спорово-пыльцевому анализу, 1959 - Вып. 77. - С. 166–186.

Федорова Р.В. Применение спорово-пыльцевого анализа в изучении археологических объектов лесостепной и степной зон // Советская археология, 1965. - Вып. 2. - С. 121–131.

Филлипова Н.Ю. Палинология верхнего плиоцена-среднего плейстоцена юга Каспийской области. - М.: Геос. 1997. - 161 с.

Box, E.O. Macroclimate and plant forms: an introduction to predictive modelling in phytogeography. Junk, The Hague, 1981. – 215 p.

Box, E.O. Plant functional types and climate at the global scale // J. Vegetation Science, 1996. – 7. – P. 309-320.

Bradbury S. The Evolution of the Microscope. - New York: Pergamon Press, 1967. – 412 p.

Dickson J.H., Oeggl K., Holden T., Handley L.L., O'Connell T.C., Preston T. The omnivorous Tyrolean Iceman: colon contents (meat, cereals, pollen, moss and whipworm) and stable isotope analysis // Philosophical Transactions of the Royal Society of London B 355, 2000. – P. 1843–1849.

Dimbleby G.W. The Palynology of Archaeological Sites. - London, 1985, Academic Press. - 176 с.

Faegri K. In memoriam O. Gunnar E. Erdtman // Pollen et Spores, 1973. – 15.- P. 5–12.

Faegri K., Iversen J. Textbook of Pollen Analysis. – The Blackburn Press, 1989. – P. 328.

Grimm E. CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the methods of incremental sum of squares // Computers & Geoscience. -1987. – Vol. 13. – P. 13-15.

Grimm E. TILIA and TILIAGRAPH. - Springfield: Illinois State Museum, 1991. – 56 p.

Guiot J. Methodology of the last climatic cycle reconstruction from pollen data. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1990. – 80. –P. 49–69.

Hesse M., Halbritter H., Zetter R., Weber M., Buchner R., Frosch-Radivo A., Ulrich S. Pollen Terminology. - Berlin: Springer, 2008 – 205 p.

Hu Y-Q., Zhang Z.-L., Bera S., Ferguson D., Li C.-S., Shao W.-B., Wang Y.-F. What can pollen grains from the Terracotta Army tell us? // *Journal of Archaeological Science*, 2007. – Vol. 34. – 7. – P. 1153-1157.

Loader N.J., Hemming D.L. The stable isotope analysis of pollen as an indicator of terrestrial palaeoenvironmental change: a review of progress and recent developments // *Quaternary Science Reviews*, 2004. – 23. – P. 893–900.

Nakagawa T., Tarasov P., Kotoba N., Gotanda K., Yasuda Y. Quantitative pollen-based climate reconstruction in Japan: application to surface and late Quaternary spectra // *Quaternary Science Reviews*, 2002. - 21. – P. 2099-2113.

New M., Lister D., Hulme M., Makin I. A high-resolution data set of surface climate over global land areas // *Climate Research*, 2002. – 21. – P. 1–25.

Oeggl K., Kofler W., Schmidl A., Dickson J., Egarter-Vigl E., Gaber O. The reconstruction of the last itinerary of “Oetzi”, the Neolithic Iceman, by pollen analyses from sequentially sampled gut extracts // *Quaternary Science Reviews*, 2007. – 26. –P. 853–861.

Overpeck J.T., Webb III T., Prentice I.C. Quantitative interpretation of fossil pollen spectra, dissimilarity coefficients and the method of modern analogs // *Quaternary Research*, 1985. – 23. –P. 87–108.

Prentice I.C., Guiot J., Huntley B., Jolly D., Cheddadi R. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka // *Climate Dynamics*, 1996. – 12. – P. 185-194.

Punt W., Hoen P.P., Blackmore S., Nilsson S., Le Thomas A. Glossary of pollen and spore terminology // *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2007. – 143. – P. 1–81.

Reille M. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord Supplement 1. - Laboratoire de botanique historique et palynologie, URA CNRS, Marseille, France, 1995. – 520 p.

Reille M. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord Supplement 2. Laboratoire de botanique historique et palynologie, URA CNRS, Marseille, France, 1998. - 530 p.

Reille M. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. Laboratoire de botanique historique et palynologie. - URA CNRS, Marseille, France, 1992.- 520 p.

Sears P.B. The archaeology of Environmental in Eastern North America // *American Antropologist*, 1932. – P. 610-622.

Spindler K. The Man in the Ice. - Weidenfeld and Nicolson, London, 1994. – 541 p.

Рис. 1. Развитие пыльцевого зерна: микроспорогенез и микрогаметогенез (по Hesse et al., 2008).

Рис. 2. Типы соединения пыльцевых зерен: А. диада; Б. тетрада; В. полиада и Г. поллиний (по Punt, 2007)

Рис. 3. Строение клеточной стенки пыльцевого зерна (по Punt, 2007).

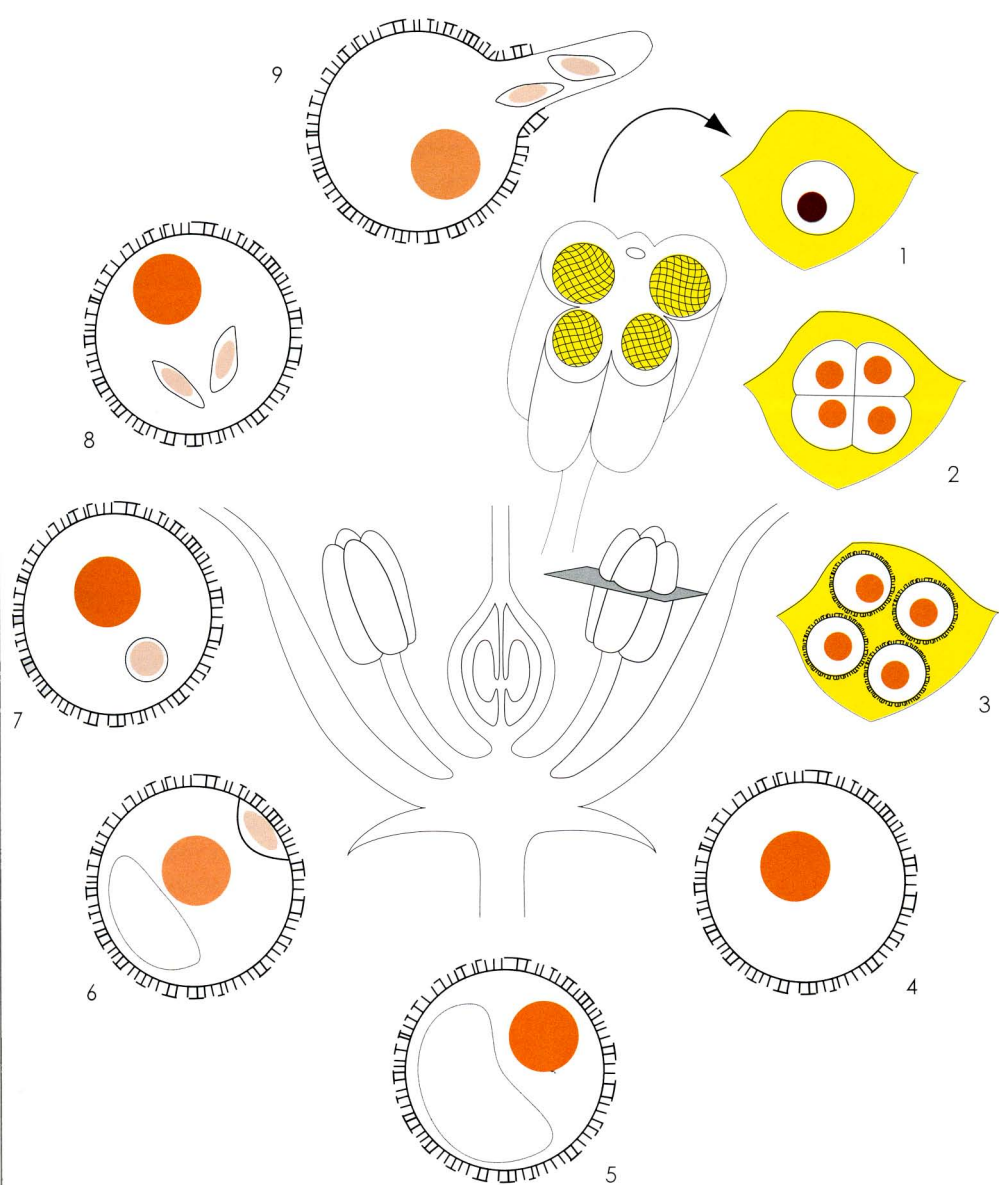
Рис. 4. Пыльца, споры и непыльцевые палиноморфы: 1. Пыльцевое зерно полыни *Artemisia* (сложноцветные); 2. Пыльцевое зерно шиповника *Rosa spinosissima* (розоцветные); 3. Пыльцевое зерно *Ipomoea congesta* (вьюнковые); 4. Пыльцевое зерно сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* (сосновые); 5. Спора папоротника *Anemia*; 6. Спора плауна *Lycopodium*; 7. Спора папоротника *Woodsia glabella*; 8. Устье лиственницы *Larix sibirica*; 9. Споры почвенного гриба *Glomus*; 10. Яйцо беспозвоночного животного; 11. Фруктовое тело почвенного гриба *Microthyrium microscopicum*; 12. Зеленая водоросль *Scenedesmus* (фото Н.А. Рудой, 5, 6 – совместно с Н.С. Болиховской).

Рис. 5. Палинологические препараты, содержащие микроскопические угольки, свидетельствующие о пожарах в регионе: А. Образец из отложений позднепалеолитической стоянки Славная, Сахалин; Б. Образец из отложений раннепалеолитической стоянки Рубас, Дагестан (фото Н.А. Рудой).

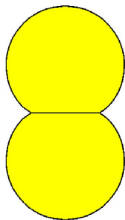
Рис. 6. Стенка раскопа палеолитической стоянки Чагырская пещера (Алтайский край) подготовлена для отбора палинологических проб (фото Н.А. Рудой).

Рис. 7. Фрагмент спорово-пыльцевой диаграммы геологических отложений раскопа 2 палеолитической стоянки Карама, Алтайский край. (из: Стоянка раннего палеолита..., 2005).

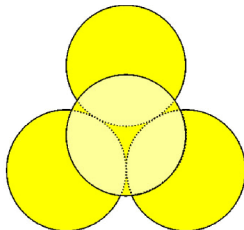
Рис. 8. Современная и переотложенная пыльца тсуги (*Tsuga*): А. Пыльцевое зерно из эталонной коллекции лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена ГФ МГУ; Б. Переотложенное пыльцевое зерно из рецентной аллювиальной пробы в районе палеолитической стоянки Рубас (Дагестан) (фото Н.А. Рудой и Н.С. Болиховской).



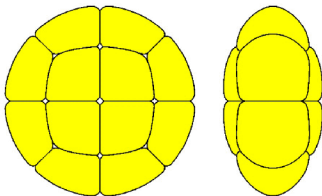
A.



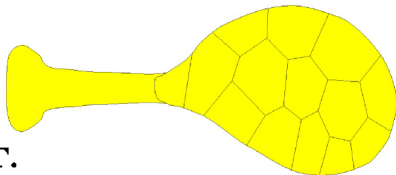
Б.



В.



Г.



Эктэкзина

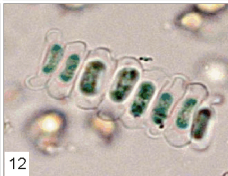
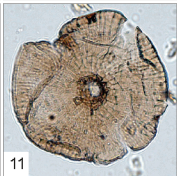
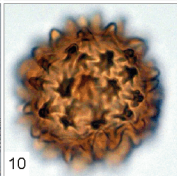
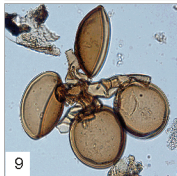
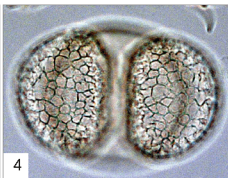


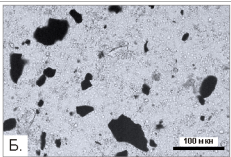
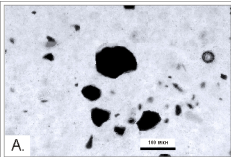
Эндэкзина



Интина

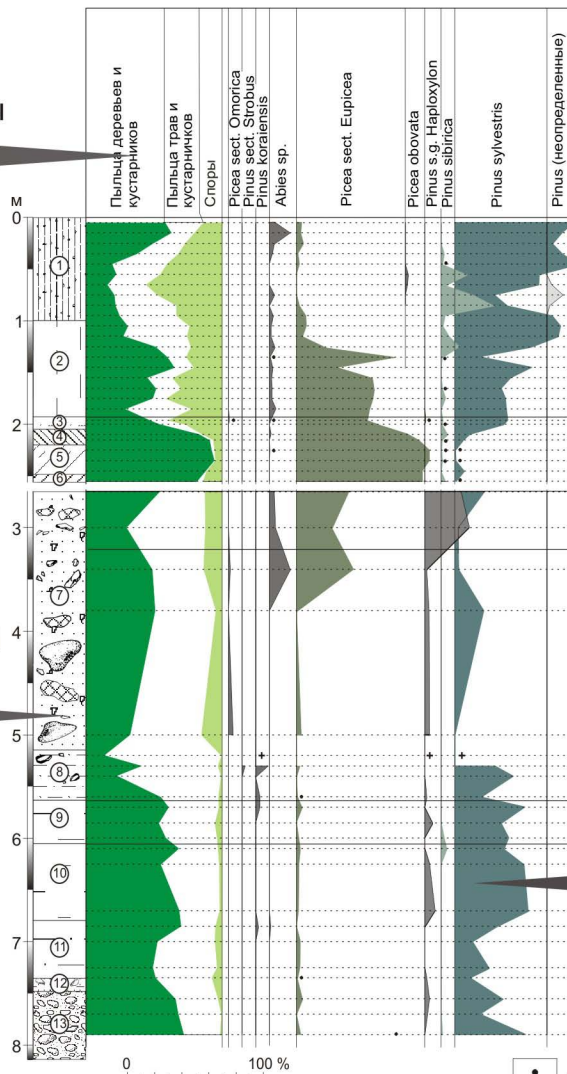








Таксоны



Литологическая колонка

Содержание таксонов, %

Аналитик: Н.С. Болиховская

