

Спорово-пыльцевой анализ: применение

С.А.Сафарова,

кандидат биологических наук

Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН
Москва

Палинология — наука о пыльцевых зернах и спорах — возникла в конце XVII века*. С изобретением микроскопа у ботаников появилась возможность определять таксономическую принадлежность растения по его невидимым глазу остаткам — пыльце и спорам. Было установлено, что их оболочки состоят из удивительно стойкого вещества — спорополленина, способного сохраняться в континентальных и морских осадках миллионы лет. Поэтому, едва появившись на свет, спорово-пыльцевой анализ сделался совершенно необходимым в самых различных областях знаний, где от него ждут ответов на разнообразные, порой более чем неожиданные вопросы. Палинологические методы вошли в некоторые научные дисциплины настолько прочно, что без них было бы немисливо их развитие в последние десятилетия.

Анализ пыльцы и спор широко применяется, например, в **геологии полезных ископаемых**. Исследование спорово-пыльцевых комплексов угленосных отложений помогает определить их возраст, геологическое строение и величину запасов угля. Так, установлено, что крупнейшие каменноугольные бассейны Донецкий, Подмосковский, Карагандинский, Вестфальский и Силезский образовались в каменноугольный период, а Тунгусский, Кузнецкий и Печорский — в пермский [1, 2]. С помощью палинологического метода подсчитаны и примерные запасы угля в этих бассейнах.

Тем не менее в многотомном описании угольных бассейнов России можно найти лишь краткие характеристики и неуточненный возраст многих месторождений, в том числе дальневосточных. В геологических отчетах обращается внимание на отсутствие палеонтологических данных. По этой причине границы между свитами не обоснованы и считаются условными.

Несколько лет назад сотрудники Тихоокеанского океанологического института и Института

океанологии им П.П.Ширшова совместно с коллегами из Китайской Народной Республики завершили многолетние работы по биостратиграфии Тумангано-Бикинского бурогоугольного бассейна, расположенного на территории КНР, Китая и Дальнего Востока России [3]. Это месторождение — самое крупное из бурогоугольных: его производственная мощность составляет 6.5 млн т угля в год, а возможный уровень добычи оценивается в 14–15 млн т. Здесь действует Лучегорский угольный разрез, обеспечивающий углем Приморскую ГРЭС. Возраст же угленосных отложений определяется разными авторами по-разному. Специалисты ботаники и палинологи собрали здесь обширный материал: получены листовые отпечатки растений и спорово-пыльцевые данные. Здесь обнаружены виды родов *Taxodium*, *Harmelalis*, *Eucommia*, *Alnus*, *Ostrya*, *Carpinus*, *Cyclocaria*, *Pterocarya*, *Carya*, *Salix*, *Populus*, *Cotinus*, *Laurocerasus*, *Nyssa*, *Cordia*, *Juglans*, *Ulmus*, *Castanea*, *Castanopsis*, *Myrica*, *Betula*, *Liquidambar*, *Sterculia*, *Tricolporopollenites*, *Fagus* и *Quercus*. Сравнение этого комплекса с известными третичными флорами Дальнего Востока показало сходство с болотнинской флорой Южного Приморья, фиксирующей климатический оптимум эоцена.

Такие же определения сделаны и для других угленосных отложений Дальнего Востока, в частности Нежинского бурогоугольного месторождения (в Надеждинском р-не Приморского края), запасы которого составляют 17.8 млн т.

С помощью спорово-пыльцевого анализа можно определять возраст и запасы не только каменного угля, но и других полезных ископаемых. Так, при разведке железных руд в Курганской обл. на помощь геологам, геофизикам, буровикам и геохимикам пришли палеонтологи, которые помогли открыть там месторождение мощностью около 10 млрд т.

Значение спорово-пыльцевого анализа существенно возросло в годы Великой Отечественной войны в связи с увеличившимся интересом к геологии россыпных месторождений.

В последние десятилетия палинологический анализ нашел применение в **нефтяной геологии**. Он используется при геологических иссле-

* Об истории становления палинологии и людях, стоявших у истоков этой науки, рассказано в предыдущей статье автора в «Природе» (2014. №6. С.58–62).



Ископаемые пыльца и споры растений.

дованиях практически во всех нефтеносных районах мира.

Анализ пыльцы и спор играет важную роль в определении возрастного диапазона палеозойских и мезозойско-кайнозойских нефтегазосодержащих толщ, в обосновании региональных и общих стратиграфических схем и их корреляции. Хорошая сохранность пыльцы и высокая информативность спорово-пыльцевых комплексов даже в небольшой части зерна делают метод весьма эффективным. Объектами палинологического исследования в нефтяной геологии могут быть не только породы, но и нефть, газ, конденсаты и вода нефтяных месторождений. Особенно важен этот метод для выяснения путей миграции нефти и газа и установления интервалов между возможными перетоками этих полезных ископаемых. Небольшие размеры, малый удельный вес, стойкость к воздействию кислот, щелочей, органических растворителей и высоких температур, а также хорошие флотационные свойства пыльцы и спор позволяют им легко переноситься с нефтью и природным газом, к тому же сама нефть служит отличной консервирующей средой, благоприятной для сохранения органических микроостатков.

С помощью спорово-пыльцевых комплексов из нефти можно выделить «местную» и «миграционную» части, причем вторая представляет особый интерес. Диапазон вертикальной миграции фиксируется разностью стратиграфических уровней между «местными» комплексами и наиболее древними «миграционными». Уточнение нижней границы миграции связано со знанием морфологии и систематики древнейших растительных форм.

Так, на примере Урало-Поволжских нефтеносных отложений показано, что залежи нефти, конденсата и газа в гранулярных и трещинных коллек-

торах здесь вторичны, поскольку в них присутствуют микрофоссилии иного возраста, чем вмещающие породы [4]. Характерная смена палинологических комплексов доказывает, что формирование залежей на этой территории происходило в процессе миграции углеводородов, как правило из нижележащих отложений в вышележащие.

Многие месторождения нефти и газа и целые провинции приурочены к древним и современным континентальным окраинам. Наиболее крупные обнаружены в бассейне Атлантического океана и в Северном море, где нефть залегает в очень древних отложениях (юрского и мелового периодов, более 60–100 млн лет назад). Колоссальные запасы обнаружены также в Каспийском, Азовском, Черном, Баренцевом, Охотском, Беринговом и других морях. Перспективными для добычи нефти и газа считаются арктические шельфы России и США. В морских скважинах, пробуренных в американском секторе Чукотского моря, уже получены притоки нефти и газа.

Спорово-пыльцевой анализ широко используется в **гидротехнической геологии**. Большой размах строительства в нашей стране требует детального геологического обоснования гидротехнических и других проектов. А большинство грунтов, с которыми имеют дело строители, представляют собой отложения четвертичного периода. В одних случаях они служат основанием для фундаментов, в других непосредственно используются в качестве строительных материалов. Ни одно крупное строительство не обходится без услуг спорово-пыльцевых лабораторий.

Например, при возведении Нижнекамской ГЭС проектировщикам нужно было точно установить верхнюю границу третичных отложений, для которых характерны отложения плотных глин (они должны были служить основанием для плотины). Ее смогли определить палеонтологи Казанского университета по найденным отпечаткам двудольных растений (дуба, липы, клена, орешника) конца третичного периода (около 6 млн лет назад) и спорам водяного папоротника ацоллы (*Azolla*).

Исключительно велика роль спорово-пыльцевого анализа в изучении **геологии торфяных месторождений**. По пыльцевым диаграммам разрезов, заложенным в различных болотах, определяют происхождение и возраст торфяников. Палинологические данные помогают проследить изменения в характере растительности, а затем путем корреляции разных разрезов между собой установить фазы колебаний климата. Эти данные позволяют судить об относительном возрасте тех или иных торфяников. Определить абсолютный возраст каждого горизонта удается в том случае, если существует возможность установить время образования хотя бы одного из них — на базе археологических находок или радиоуглеродным методом.

Известный отечественный палеоботаник В.С.Доктуровский приводил такой пример. В Гер-

мании, близ Гамбурга, в торфянике Витмоор, под слоем торфа мощностью 1.8 м была обнаружена дорога, представляющая собой настил из бревен. На дороге нашлись монеты времен Римской империи, т.е. имеющие возраст около 2 тыс. лет. Пыльцевой анализ показал, что время строительства дороги соответствовало так называемой суббореальной климатической фазе голоцена. Прирост торфа за год составил 0.05—0.1 см. С большой точностью был определен абсолютный возраст каждого слоя торфяника, а затем и возраст многих торфяников прилегающего района.

По данным палинологического анализа торфа из двух болот на побережье Балтийского моря и Псковского озера было установлено, что ~6 тыс. лет назад здесь появился лес и начал накапливаться торф, а прибрежные дюнные пески заросли сосновым лесом примерно 4.7—3.9 тыс. лет назад [5].

Немаловажную роль спорово-пыльцевой анализ играет в **археологии**. Он позволяет не только уточнить время существования тех или иных поселений, но и дает возможность восстановить среду обитания наших далеких предков. Приведу пример. На оз.Лача в бассейне р.Онеги известна стоянка Веретье, она находится в полукилометре от устья р.Кинешмы. Археологи установили, что стоянка функционировала в начале 2-го тысячелетия до н.э., а это соответствует суббореальной фазе голоцена. Пыльцевой анализ торфа показал, что в то время здесь росли сосна, ель и береза с примесью дуба и вяза, а климат был суше и теплее современного. В настоящее время в здешних местах (а это севернее 61°с.ш.) дуб не растет, он встречается лишь южнее 59°с.ш.

К суббореальной фазе относятся и две неолитические стоянки, обнаруженные вблизи г.Кемь (1900—1600 гг. до н.э.). Их возраст также подтверждается результатами спорово-пыльцевого анализа. Здесь в окружающих лесах преобладала сосна, в большом количестве росли ольха, орешник, дуб и вяз.

На востоке Казахстана, в Зайсанской котловине, при раскопках одного из холмов были найдены хорошо сохранившиеся на глине отпечатки листьев древних субтропических растений. В донных отложениях Байкала и озер Забайкальского края тоже сохранились такие отпечатки. На обрывистом берегу Татарского пролива, вблизи пос.Сизиман, охотники обнаружили отполированные блестящие камни, оказавшиеся окаменевшими деревьями. Установлено, что 40—30 млн лет назад здесь рядом с елями и лиственницами росли туи, папоротники, метасеквойи, магнолии и платаны.

В среднем течении р.Анадырь на Чукотке была пробурена скважина и получен керн длиной 14 м. Палинологические исследования показали доминирующее положение хвойных деревьев (в среднем 45.06%), пыльцы покрытосеменных видов (31.8%) и спор (2.6%). Такой спорово-пыльцевой комплекс указывает, что в недалеком прошлом

здесь произрастали вечнозеленые хвойные и лиственные леса, некоторые из которых сегодня сохранились только в тропиках.

Исследователи-палеонтологи, изучавшие четвертичные отложения в районе Главного Туркменского канала (незавершенного проекта мелиорации Туркмении 1950-х годов), обнаружили в них пыльцу ореха, орешника, ольхи и других деревьев. Значит, совсем недавно эти деревья росли здесь и исчезли они лишь после осушения русла р.Узбой. Эти данные подсказали агрономам и лесоводам, что в насаждения, запроектированные вдоль канала, можно было включить и некоторые из названных видов растений.

В Минусинской котловине, известной богатством и разнообразием следов пребывания человека самых разных эпох, от палеолита до Средневековья, палинологи исследовали ряд палеолитических стоянок. Были взяты образцы почв из культурных слоев грота Проскурякова, который расположен на правом берегу р.Белый Июс, выше с.Ефремкино. На этом участке отроги Кузнецкого Алатау с двух сторон «сжимают» долину реки. Северные и западные склоны покрыты древесной растительностью (сосной, лиственницей, кедром, березой), а южные — степной травянистой. В обрывах множество гротов и пещер. В гроте Проскурякова были найдены несколько мустьерских пластин и большое количество остатков млекопитающих как степных, так и таежных видов, в том числе яков [7]. Из видов, тяготеющих к степным луговым участкам, выделяются лошадь и бизон. По фаунистическому материалу наиболее близкими аналогами грота Проскурякова могут быть палеолитические стоянки левобережья Енисея: Афонтова гора (I—III) близ Красноярска и расположенные на 150 км южнее Кокоревские стоянки. По радиоуглеродным данным, их возраст колеблется в пределах от 13 до 20 тыс. лет.

Образцы из грота Проскурякова также были датированы сартанским веком. Климат в то время был холодным и засушливым. Ледники вытеснили с гор лес и сопутствовавший ему животный мир. Из-за наступившего похолодания с севера в Минусинскую котловину мигрировали крупные стадные млекопитающие, в их числе мамонты. Як, обитавший на границе льда и высокогорных лугов, вынужден был спуститься до границ плоскогорья (это не значит, что он сменил экологическую нишу, она осталась прежней, но снизилось ее положение в рельефе).

Во время оледенения в степной части котловины сохранились стада степных животных (например, сайгаки), хотя их поголовье, безусловно, сократилось. Тем не менее они и другие животные, «спасавшиеся» в котловине от нашествия ледника, привлекли в эти края палеолитического человека, расселившегося по речным берегам. В межгорно-котловинном ландшафте сформировались определенные типы зимних и летних стоянок, более



Грот Проскурякова, Хакасия [6].

или менее постоянных, связанных с сезонными изменениями климатических условий и миграциями животных. Поскольку пути таких миграций в котловине были короткими, у человека сформировался полукочевой образ жизни. Эта традиция, возникшая из-за ландшафтных особенностей межгорных котловин Южной Сибири, сохранилась до наших дней в укладе хакасского населения: здесь зимняя жизнь в избах сочетается с летним кочевьем в горах.

Спорово-пыльцевой анализ пришел на помощь и исследователю тайн о.Пасхи, известному норвежскому ученому Туру Хейердалу. Изучение взятых им проб торфа показало, что на этом безлесном сегодня острове в далеком прошлом существовала богатая растительность, росли даже пальмовые рощи. Было уточнено время появления на острове пресноводного камыша из Южной Америки. Эти факты наряду с археологическими данными позволили Хейердалу всесторонне обосновать гипотезу о заселении островов Тихого океана.

Почвоведение сегодня также невозможно представить без данных палинологии. Тесное взаимодействие этих дисциплин можно оценить на примере изучения эволюции природных условий Большеземельской тундры. Ландшафты этого региона не всегда были такими, какими мы их видим сейчас. Палинологические данные говорят о том, что ранее здесь были распространены мощные подзолы — типичные лесные почвы [8]. Они не образуются в тундре, следовательно, здесь могут считаться реликтовыми. Судя по характеру их распространения, зона сплошных лесов в Большеземельской тундре практически достигала побережья Северного Ледовитого океана. Спорово-пыльцевой анализ показал, что в самой северной части лесной зоны произрастала еловая тайга.

Немаловажную помощь палинология оказывает **медицине**. Английский палинолог Х.Хайд установил, что сенную лихорадку (поллиноз) в Европе вызывает пыльца злаков и некоторых деревьев, а также пыльца отдельных видов сорных растений [9]. В США основными аллергенами считаются амброзия и некоторые степные травы. В Австралии и Новой Зеландии поллинозы вызывает пыльца ряда растений европейского происхождения.

В справочнике по аллергенным растениям и пыльце перечисляются многие известные и широко распространенные виды. Среди них лиственные (береза, дуб, тополь, рябина, ясень, ольха и др.) и хвойные (сосна, ель, лиственница и др.) деревья*, многие сорняки (кра-

пива, щавель, подорожник, лебеда и др.), дикорастущие полевые злаки и растения заболоченных и влажных местообитаний (пушица, камыш, тростник), а также ряд возделываемых культур (кукуруза, рожь, рис, пшеница, просо).

Резкое увеличение количества опасной для здоровья пыльцы происходит в разных регионах в разное время, и зависит эти всплески от особенностей рассеивания пыльцы, определяемых, в свою очередь, метеорологическими условиями. Следует принять во внимание, что в атмосфере промышленных городов пыльца соприкасается с еще более тонкодисперсными промышленными выбросами, что повышает ее вредное воздействие на организм человека.

Большую пользу спорово-пыльцевые исследования приносят **лесной типологии**. Это особенно важно при разработке естественных классификаций типов леса, учитывающих генезис растительных сообществ. Еще в 1891 г. русский ботаник С.И.Коржинский писал: «...Современное состояние растительности какой либо страны есть лишь одна из стадий непрерывных изменений ее растительного покрова, результат минувших условий и зачаток будущих». Такой подход к лесной типологии целиком соответствует идеям отечественной геоботанической науки, которая, в отличие от американской, не признает никаких заключительных устойчивых ассоциаций или формаций.

При изучении изменений растительного покрова лесоводы сталкиваются с процессами различного масштаба. Достаточно хорошо изучены смены, происходящие на наших глазах: после вырубок, пожаров и т.п. хуже исследованы процессы

* Раньше сосна, ель и береза не считались аллергенами, но теперь известно, что и они могут вызывать тяжелые заболевания.

медленного преобразования растительного покрова: вековые смены (по Е.М.Лавренко) или филоценогенез (по В.Н.Сукачеву). Здесь палинологический метод может оказаться весьма эффективным. «Понятно, с каким глубоким интересом, — писал С.И. Коржинский, — собираются все факты относительно доисторических условий растительности, так как в них именно ученые должны искать ключ к пониманию современных явлений растительного мира».

Как мы видим, палинология широко востребована во многих дисциплинах, связанных с континентальными (наземными) отложениями. Но применение спорово-пыльцевого анализа в **палеоокеанологии** тоже значительно облегчает труд ученых, занимающихся исследованием донных отложений океанов и морей.

Еще в 1892 г. известный русский геолог И.А.Андрусов, изучая илы Черного моря, нашел в них большое количество пыльцы хвойных деревьев. В 1951 г. специалисты Института океанологии обнаружили пыльцу наземных растений в Тихом океане — в Филиппинской впадине, глубина которой превышает 10 тыс. м. Исследования морских отложений Охотского моря и Тихого океана позволили уже в 1950-х годах составить карты и схемы количественного распределения пыльцы на дне этих акваторий [10, 11].

Спорово-пыльцевые спектры в пробах донных осадков морей и океанов дают отчетливое представление о развитии растительности и колебаниях климата на прилегающей суше. Например, пыльца в поверхностных осадках моря Лаптевых отражает состав современных тундро-

вых ассоциаций: в основном это споры зеленых и сфагновых мхов, а также папоротники. Среди травянистых определены осоковые, злаковые, вересковые и др. Отмечены пыльца голубики, багульника и толокнянки. Из древесных в спектре преобладают сосна, кедровый стланик, береза и карликовая ива. В пробах из колонок голоценовых донных осадков по спорово-пыльцевым данным установлены несколько небольших похолоданий и одно значительное потепление, соответствующее климатическому оптимуму, когда в растительном покрове лаптевоморского побережья появились ель, ольха и кедр, а также маревые, гвоздичные и бобовые.

В Беринговом море результаты спорово-пыльцевого и фораминиферового анализов проб из колонок донных осадков позволили отнести отложения шельфа к голоцену и определить горизонты, соответствующие субатлантическому, суббореальному, атлантическому, бореальному и предбореальному времени [12].

Таким образом, спорово-пыльцевой анализ — метод, использующийся самыми разнородными дисциплинами. Диапазон его применения очень широк. Ископаемые микроостатки растений как свидетели отдаленных геологических эпох могут оказать существенную помощь разведчикам недр, строителям, археологам, океанологам и лесоводам. Но многие из возможных сторон применения спорово-пыльцевого анализа еще ждут своего открытия. Поэтому одними из целей статьи были привлечение внимания к этому методу и попытка способствовать более широкому его внедрению в жизнь, в практику. ■

Литература

1. *Нейбург М.Ф.* К стратиграфии угленосных отложений Кузнецкого бассейна // Известия АН СССР. Сер. Геол. 1936. Вып.4. С.155—160.
2. *Нейбург М.Ф.* Верхнепалеозойская флора Кузнецкого бассейна // Палеонтология СССР. Т.12. Ч.3. Вып.2. М.; Л., 1948.
3. *Аблаев А.Г., Сафарова С.А., Ван Ю-Фей.* Палеоген Пушкинской впадины Притуманганья. Дальний Восток России. М., 2009.
4. *Медведева А.М.* Палинологическое изучение нефти. М., 1978.
5. *Гаель А.Г., Сафарова С.А., Смирнова Л.Ф., Тялли П.Г.* К истории формирования лесной растительности на песках в Эстонии // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. М., 1977. С.121—129.
6. *Горбатовский В.В.* Геологические образования — сакральные объекты народов России // Материалы Международной конференции «Уникальные геологические объекты России: сохранение и рекреационный потенциал». СПб., 2013.
7. *Окладников А.П., Оводов Н.Д., Рыбаков С.А.* Грот Проскуракова — новая палеолитическая стоянка в Хакасии // Бюлл. комиссии по изуч. четв. периода. 1975. №44. С.111—117.
8. *Федорова Р.В.* Материалы палеоботанического исследования погребенных торфяников Приполярного Урала // Изв. Всесоюз. геогр. общества. 1951. Т.83. Вып.6. С.5—10.
9. *Hude N.A., Adams K.F.* An Atlas of airborne Pollen Grains. L., 1958.
10. *Коренева Е.В.* Изучение современных морских отложений методом спорово-пыльцевого анализа // Труды Института океанологии АН СССР. 1955. Т.13. С.23—29.
11. *Коренева Е.В.* Спорово-пыльцевой анализ донных отложений Охотского моря // Труды Института океанологии АН СССР. 1957. Т.13. С. 221—251.
12. *Саидова Х.М., Сафарова С.А.* Экостратиграфия и палеогеография голоцена шельфа Берингова моря по фораминиферам, спорам и пыльце // Четвертичный период. Стратиграфия. 1989. С.176—181.