

О КЛИМАТЕ ПРОШЛОГО «РАССКАЗЫВАЕТ»... ПЫЛЬЦА

Кандидат геолого-минералогических наук
Ольга НАЙДИНА,
Геологический институт РАН

**Как часто менялся климат в геологическом прошлом?
Какие факторы вызывали эти сдвиги?
Когда на планете происходило последнее глобальное потепление?
Применяя метод пыльцевого анализа,
палеоботаники реконструируют растительность,
природные условия и климат
в послеледниковую эпоху, т.е. за последние 11,7 тыс. лет.**

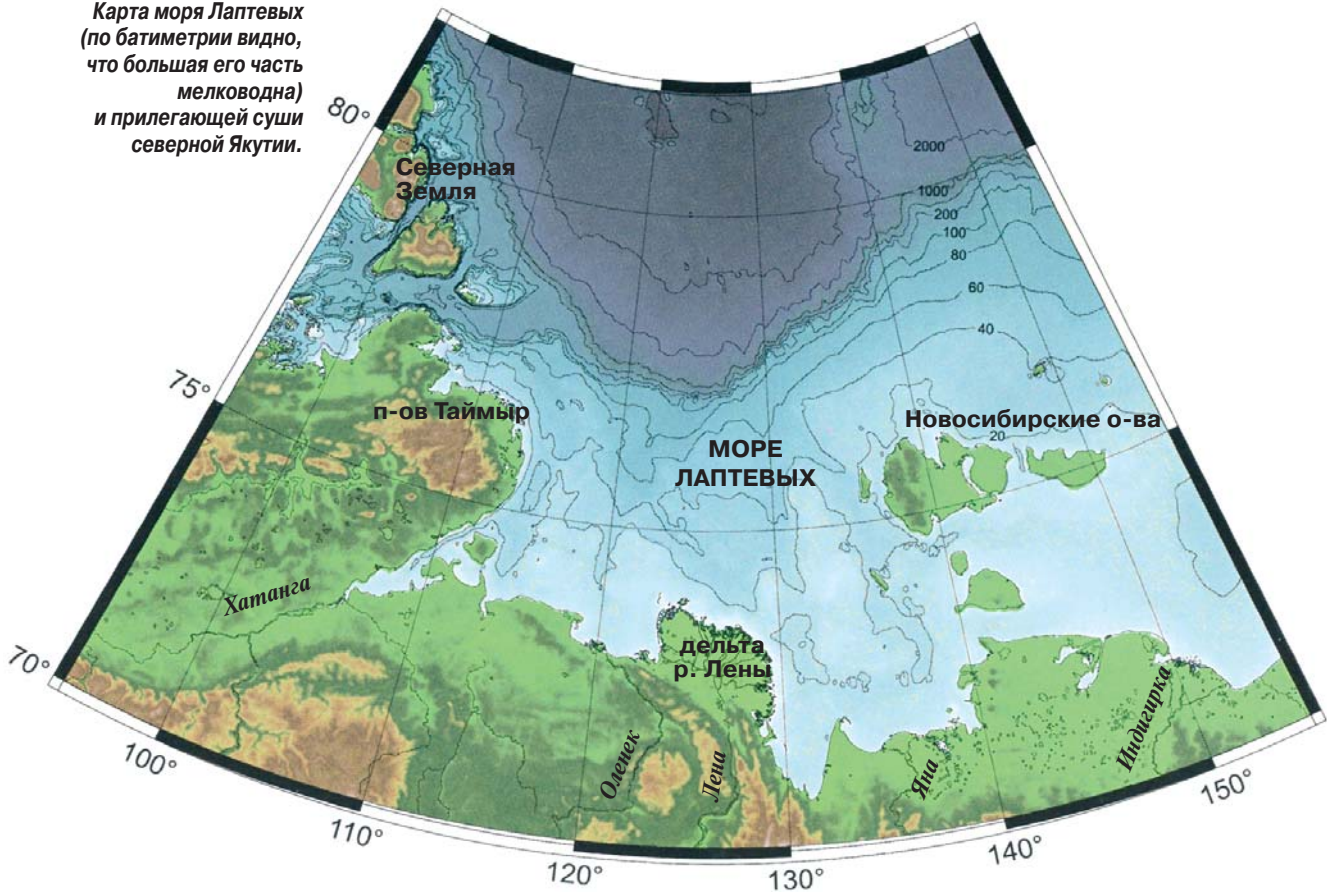
ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ — МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Проблемой климата сегодня занимаются представители разных направлений науки, в том числе и палеоботаники. Они реконструируют динамику его и растительности во времени — за тысячелетия. Понимание закономерностей этих процессов крайне важно: выяснив, что происходило в прошлом, можно попытаться заглянуть в будущее, смоделировать возможную динамику природных условий. Изменения климата естественны для Земли, и в геологической истории проявлялись неоднократно

но. Пример — глобальное потепление в голоцене* 9-6 тыс. лет назад, о котором пойдет речь ниже. Если же обратиться к совсем недавней истории, то вроде бы не очень значительное повышение температуры в Северном полушарии на 0,6°C в течение XX в. привело к тому, что стали иными распределение осадков, частота наводнений, ураганов, тайфунов.

*Голоцен (послеледниковая эпоха) — современная геологическая эпоха, составляющая последний, незакончившийся отрезок четвертичного периода геологической истории. Начался примерно 11,7 тыс. лет назад (*прим. ред.*).

Карта моря Лаптевых (по батиметрии видно, что большая его часть мелководна) и прилегающей суши северной Якутии.



Существуют разные точки зрения на эту проблему*: одни специалисты видят причины температурных сдвигов в антропогенном факторе, другие настаивают, что в основе — явления естественного происхождения. Так, по мнению доктора физико-математических наук Льва Карлина (Российский государственный гидрометеорологический университет) потепление просто совпало по времени с индустриальной революцией XX в. Причем с 1900 г. возросшая активность Солнца привела к прогреванию океана и почвы и выбросу парниковых газов больше, чем деятельность человека.

Исследования керна льда из глубоких скважин Антарктиды и Гренландии подтверждают сделанный в Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН вывод: идущее глобальное потепление на Земле задано именно природными причинами, связанными с интенсивностью потока солнечного излучения, а не с промышленной деятельностью людей. Хотя, как считает климатолог доктор географических наук Александр Кислов (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова), данные моделирования свидетельствуют о статистической необычности современного климата и подводят к мысли о том, что наблюдающийся тренд, выраженный в увеличении количества аномалий температуры в Северном полушарии, не связан, по-видимому, с естественными процессами.

*См.: Ю. Израэль. Грозит ли нам климатическая катастрофа? — Наука в России, 2003, № 4 (прим. ред.).

Влиянию потепления климата по сравнению с другими регионами в большей степени подвержены регионы Арктики. Наиболее это заметно на ее шельфе — самом большом на нашей планете, площадь его составляет почти треть всего Северного Ледовитого океана. А в восточном секторе российской Арктики* значительная часть побережья и острова сложены высокольдистыми породами. Под воздействием летнего тепла лед вытравивает, и в результате разрушения берегов на шельф выносятся огромное количество наземного вещества, в том числе органики, метана, двуокси углерода. Таким образом, вся прибрежная зона, как считают отечественные исследователи, может быть источником парниковых газов и провоцировать соответствующий эффект.

Большая часть арктического шельфа имеет глубины менее 100 м, а образовалась она в последние 11,7 тыс. лет. Значит, уже в голоцене суша была ближе к Северному полюсу приблизительно на 200-300 км, Евразия и Америка соединялись в один континент через Берингов мост (сегодня это мелководный пролив шириной 63 км). Арктические же острова являлись частью суши, где еще 5-3 тыс. лет назад обитали мамонты и бизоны.

Подчеркнем: с очередным повышением температуры и уменьшением количества осадков возникнет

*См.: Ю. Леонов. Важный этап полярных исследований. — Наука в России, 2010, № 1 (прим. ред.).



**Дельта Лены –
бесконечные просторы
и тысячи озер, болот и рукавов.**

С борта немецкого научно-исследовательского судна «Полярная звезда» («Polarstern») были отобраны многие образцы керна для пыльцевого анализа.



комплекс экологических проблем. Скажем, если в Северном полушарии потеплеет на 5°C , то сибирские леса начнут гибнуть, потому что им для устойчивого развития требуются более низкие температуры. А таяние вечной мерзлоты в Якутии, на Чукотке приведет к изменению очертаний береговой линии, повышению уровня моря и т.д.

ФЕНОМЕН МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Основные факторы формирования климата Северной Евразии и погоды Западной Европы связаны с активностью арктических морских льдов. Основной их «производитель» для Северного Ледовитого океана – море Лаптевых. Благодаря обильному речному стоку тут формируется большая масса паковых льдов, в незначительной степени влияющая на глобальные изменения климата Земли в целом. Здесь начинается трансполярный их дрейф на запад – в его реальности первым убедился в конце XIX в. норвежский путешественник и океанограф Фритьоф Нансен (иностранец почетный член Петербургской АН с 1898 г.)*. Вблизи Новосибирских островов его судно «Фрам» вмерзло в полярный плавучий лед, продрейфовав затем на северо-запад до Земли Франца-Иосифа.

Проблемы, связанные с изменением климата Арктики, влиянием его на формирование погоды Европы, изучают ныне в ходе реализации не только национальных, но и международных научных проектов. Один из них – «Эколого-климатическая система моря Лаптевых» – вот уже полтора десятилетия объединяет усилия российских и немецких ученых.

В результате их совместных междисциплинарных морских и наземных изысканий установлено, что район моря Лаптевых – уникальный природный ком-

*См. В. Маркин, С. Хоркина. Сотрудничество в Арктике. – Наука в России, 2005, № 6 (прим. ред.).

плекс, не имеющий аналогов в мире. На основе современных методов, включающих биохимические, палеонтологические, в том числе и палинологические*, изотопные, а также радиоуглеродное датирование осадков арктических морей, спутниковые наблюдения, получены новые уникальные материалы.

Отметим, что изучение донных осадков весьма важно для реконструкции условий формирования палеоклимата Арктики, поскольку сток крупных рек – Лены, Хатанги, Анабара, Оленька, Яны – влиял на ледовые,

*Палинология – раздел ботаники, изучающий пыльцу и споры растений, их форму, строение и развитие (особенно оболочек), закономерности рассеивания и захоронения (прим. ред.).

**Участники
рабочего совещания
по итогам российско-
германского сотрудничества
в области морских
и полярных исследований.**



седиментационные, биологические и другие процессы. Поэтому изучение соответствующего региона, включающего северную Якутию, — ключ к объяснению некоторых особенностей современного состояния природной среды и климата этой огромной территории.

Кстати, Якутия известна экстремальными климатическими условиями — температурные различия между зимой и летом здесь могут превышать 100°C. В районе Оймякона и Верхоянска — «полюс холода» Северного полушария — температура в зимний период порой опускается до -70°C. В летний же период, наоборот, бывает очень жарко. Такие различия — феномен, больше нигде на Земле не встречающийся. Слой вечной мерзлоты в некоторых районах Якутии достигает глубины 1000 м. Ландшафт прилегающей к морю Лаптевых части суши представляет собой равнинную кочкарную тундру, испещренную осоковыми пушицевыми и злаково-осоковыми болотами*.

Крупнейшая река, впадающая в море Лаптевых, — Лена, ее дельта — одна из самых впечатляющих в Арктике. Устье представляет собой бесконечную сеть болот в форме правильных многоугольников. На его юго-востоке встречаются скалы высотой до 250 м, покрытые мхами и лишайниками. А в самой дельте развиты плодородные и некаменистые тундровые почвы с разнообразным растительным миром. Они ежегодно обновляются из-за оседания приносимого половодьями взвешенного материала. Остатки растительности и залежи сплаваемого леса на дне способствуют накоплению значительного количества органического углерода.

МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ

Чтобы точнее спрогнозировать потепление, необходимы длительные погодные наблюдения и всесто-

*См.: Г. Русанова. Большеземельская тундра: взгляд в прошлое. — Наука в России, 2007, № 1 (прим. ред.).

роннее изучение палеоклиматов, в том числе голоцена*. Его особенность — а начался он, как упоминалось, 11,7 тыс. лет назад и соответствует современному еще не завершеному межледниковью — глобальное потепление. Какие же существуют подходы к исследованию природных условий, существовавших в столь давние времена?

Один из ведущих методов реконструкции растительности и климатов прошлого — уже упоминавшийся палинологический. Объект анализа — микроскопические растительные остатки: зерна цветочной пыльцы и споры высших растений. Развиваясь в огромных количествах (измеряемых сотнями тысяч и миллионами) в генеративных органах, по созреванию они высыпаются и рассеиваются, иногда на чрезвычайно обширном пространстве. Попав тем или иным путем на поверхность почвы или оказавшись в осадках, образующихся на дне различных водоемов, значительная их часть захоранивается, переходя таким образом в ископаемое состояние. При этом содержимое их разрушается, так что ныне в руках исследователей оказываются лишь оболочки пыльцевых и спорных зерен. Тем не менее метод высокоинформативен и дает наиболее полное представление о флоре и доминирующих типах растительности, их смене во времени, а также позволяет реконструировать ландшафтные и климатические особенности прошлого.

Заметим, именно климат определяет формирование растительного покрова суши — растения «регистрируют» все колебания температуры и влажности. Изменялись природные условия — варьировался таксономический состав фитоценозов, растительные зоны со временем смещались на значительные расстояния. Сохранившиеся биологические «вещест-

*См.: А. Герман. «Вымерший» климат Арктики. — Наука в России, 2007, № 1 (прим. ред.).



**Осоково-пушицевые болота
сибирской Арктики.**



**Кустарничковая березка
типична для северной подзоны
тундры сибирской Арктики.**

венные доказательства» этих процессов применимы в качестве индикаторов интересующих нас изменений. Само географическое положение северной границы лесной зоны содержит важнейшую палеоклиматическую информацию: оно совпадает со среднемесячным июльским положением полярного атмосферного фронта (он возникает на границе между воздушными массами полярных (умеренных) и тропических широт). Потепление, сопровождавшееся в Северной Евразии продвижением лесов к северу, оказывало глубокое воздействие на радиационный баланс*. В голоцене амплитуда перемещения указанной границы на просторах Сибири достигала сотен километров, что в свою очередь приводило к измене-

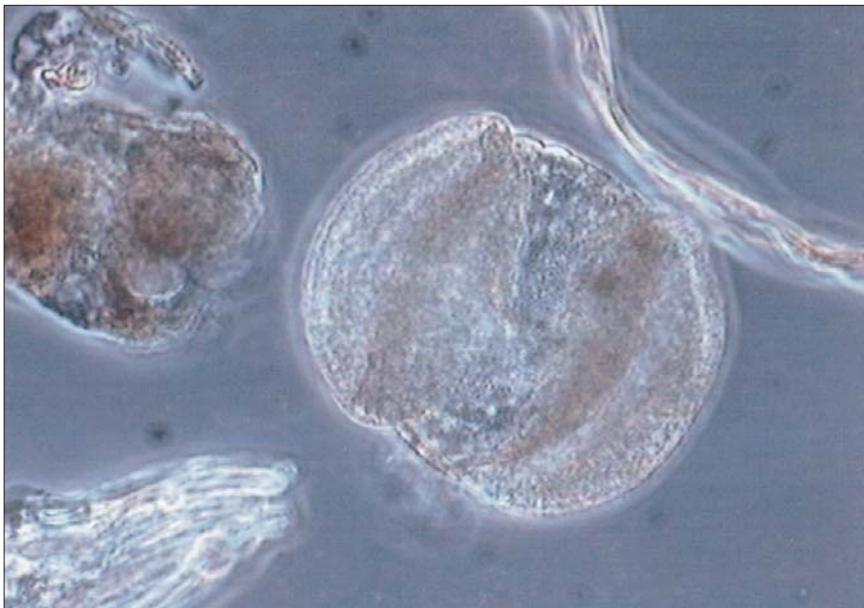
*Радиационный баланс — разность между потоками солнечной радиации, поступающими на земную поверхность и уходящими от нее; зависит от высоты светила, обусловленной временем суток, года, географической широтой, а также от отражательной способности поверхности, прозрачности атмосферы и других факторов. Измеряется в Вт/м² (прим. ред.).

ниям распространения мерзлоты, величины атмосферных осадков и режима рек. Еще раз отметим: для исследователей важно, что любые перемещения растительных зон во времени регистрируются палинологическими данными.

УДИВИТЕЛЬНЫЙ ИНДИКАТОР

Изучение современных пылевых дождей над морскими акваториями показало, что составляющие их мельчайшие биологические частицы отражают интегрированные данные о растительности прилегающей суши и поэтому дают представление о климате обширных регионов. В восточном секторе Арктики тесное соединение двух элементов системы «суша — шельф моря Лаптевых» осуществляется посредством упоминавшихся крупных рек. Поэтому в формировании пылевых морских спектров огромная роль принадлежит их подводному стоку. Мощные Лена и Яна выносят в море особенно большое количество

**Кустарничковая ива –
компонент растительности
северной подзоны тундры
северной Якутии.**



**Пыльцевое зерно
кедрового стланика *Pinus pumila*
в поле зрения светового микроскопа
(увеличение в 400 раз).**

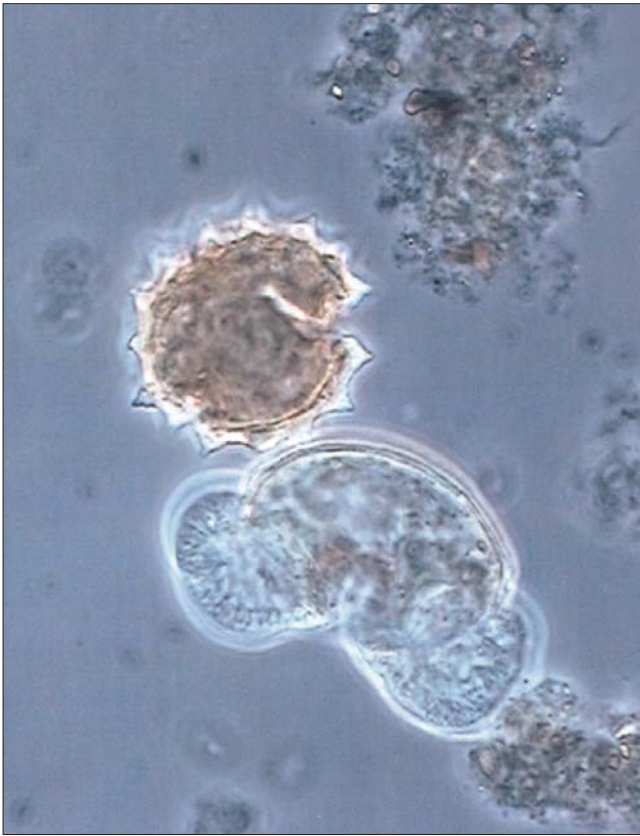
растворенных и взвешенных частиц (в том числе и пыльцу растений), аккумулирующихся на шельфе. Как показали наши первые исследования, пыльцевые спектры, полученные по пробам шельфовых осадков, содержат надежную информацию о вызванном действием климатических факторов изменениях растительного покрова суши, прилегающей к морю Лаптевых.

В связи с сильной ледовитостью последнего современная растительность данной местности характеризуется безлесными ландшафтами. Однако пыльца деревьев и кустарников, трав и кустарничков довольно обильна в соответствующих спектрах нынешних морских отложений и вполне достоверно отражает региональную растительность Якутии, а потому может использоваться для реконструкции палеоклиматических условий.

В рамках упомянутого проекта «Эколого-климатическая система моря Лаптевых» были изучены керны

нескольких колонок, добытые с 1993 по 2000 г. в ходе российско-германских экспедиций «Трансдрифт» из голоценовых отложений моря. На основе многочисленных радиоуглеродных датировок исследуемых образцов спор с помощью ускорительной масс-спектрометрии был определен их календарный возраст. Эту сложную задачу решил доктор геолого-минералогических наук Хеннинг Баух (Институт морских наук при Кильском университете, Германия).

Наиболее полно в находках представлены осадки раннего и среднего голоцена. Анализ образцов из отложений, накопившихся с 11,3 по 5,3 тыс. лет назад, показывает чередование основных типов растительности на прилегающей к морю суши: с доминированием тундрового разнотравья и кустарничков или же деревьев и кустарников. Среди двух последних преобладали пыльца кустарниковой березки *Betula sect. Nanae*, ольховника *Duschekia fruticosa*, а также зерна сосны *Pinus* и кедрового стланика *Pinus*



Пыльцевые зерна сосны *Pinus sylvestris* и астровых *Asteraceae* под световым микроскопом (увеличение в 400 раз).

pumila. В группе трав и кустарничков чаще других встречалась пыльца осок *Superaceae* и злаков *Poaceae*. Обычны зерна верескоцветных *Ericaceae*, гвоздичных *Caryophyllaceae*, сложноцветных *Asteraceae* и ыдругих представителей тундрового разнотравья. Изредка отмечались единичные зерна пыльцы валерьяны *Valeriana*, кипрея *Epilobium* и шавеля *Rumex*. Спорыые представлены сфагновыми *Sphagnum* и гипновыми мхами *Bryales*. Весьма характерно присутствие спор холодолюбивого плаунка *Selaginella rupestris*.

Судя по составу спорово-пыльцевых спектров, растительность в начале голоцена представляла арктическую тундру. Климат был близок к современному. Выше по разрезу зарегистрировано чередование максимумов пыльцы хвойных и кустарниковых берез. Отчетливо прослеживается смена тундровых кустарниковых ландшафтов на лесотундровые с участием сосны и кедрового стланика. Очевидно, последние приближались к самому берегу моря и климат, наверное, был теплее современного. Его потепление, по нашим данным, происходило во временном интервале с 9,3 до почти 8 тыс. лет назад.

Палинологическое изучение осадков другой колонки, накапливавшихся в течение последних 9,7 тыс. лет, показало: возрастание концентрации и количества пыльцевых зерен и спор между 6 и 7 тыс. лет назад совпадает с увеличением содержания органического углерода. Последнее связано с повышением температуры

воздуха и совпадает с сокращением льдов в Северном Ледовитом океане. В высокоширотной Арктике температура воздуха была на 2–4°C выше, чем в настоящее время. Весьма вероятно, что пыльцу древесных в голоцене приносили преобладающие ветры с небольших островков лесной растительности, являвшихся азональными, т.е. нехарактерными для данной территории экогеосистемами, подобными современному самому северному в мире участку леса – урочищу Ары-Мас в низовьях реки Хатанги, а также рощам на островах реки Ундюлюнг – правого притока Лены. Было установлено: таежная растительность в тундровые пространства могла заноситься по активно газлирующим тектоническим трещинам, по которым закладывались и развивались речные долины.

В целом реконструированная растительность имеет мозаичное распределение в пределах единой тундровой зоны. Вероятная причина образования таких азональных участков, как урочище Ары-Мас, – различие геологической среды зон минерального питания и геотермические аномалии земной поверхности. Температура зон – один из важнейших параметров формирования растительных сообществ. Газо-теплообмен между ними и приземным воздухом приводит к увеличению суммы активных температур, т.е. продлению сроков вегетации. Известно, что процессы ассимиляции и фиксации азота и углекислоты весьма чувствительны даже к незначительному изменению температуры. Понижение или повышение ее на доли градуса, а тем более на 1–2°C приводит к смене состава растительности.

Возрастание поступления на шельф моря Лаптевых пыльцы хвойных, представленных, в основном, сосной и кедровым стлаником, началось после 9,3 тыс. лет назад и стало, возможно, следствием происходившего в интервале 9,0–3,8 тыс. лет назад вызванного потеплением продвижения линии леса к морю. Сравнение с наземными данными по региону показывает: увеличение переноса древесной пыльцы на шельф совпадает с перемещением границы леса к северу.

Таким образом, начало климатического оптимума (самого теплого временного интервала) голоцена для восточного сектора Арктики датируется 8,9 тыс. лет назад, окончание – 5,5 тыс. лет назад. Количество осадков превышало современное, а температура воздуха была выше приблизительно на 3°C.

Автор статьи признателен докторам геолого-минералогических наук Хайди Кассенс и Хеннингу Бауху (Институт морских наук при Кильском университете, Германия) за предоставленные материалы, радиоуглеродное датирование и поддержку исследований.

Иллюстрации предоставлены автором