



МЕТЕОРОЛО́ГИЯ

Авторы: Б. А. Семенченко, Д. М. Сонечкин

МЕТЕОРОЛО́ГИЯ (от греч. μετέωρος – небесный и *...логия*), наука об атмосфере и происходящих в ней процессах и явлениях. Основной раздел М. – *физика атмосферы*, которая, в свою очередь, подразделяется по изучаемым объектам и процессам. Исследованием атмосферных процессов занимается *динамическая метеорология*, её важнейшей проблемой является разработка численных методов *прогнозов погоды*; солнечную и земную радиацию изучает *актинометрия*, оптич. явления в атмосфере – *атмосферная оптика*; выделены также *атмосферное электричество* и *акустика*. Большое внимание в М. уделяется вертикальному строению атмосферы, обособлена физика приземного слоя атмосферы, поскольку область соприкосновения земной поверхности и атмосферы определяет в осн. формирование тепло- и влагообмена между ними. В приземном слое (слое дыхания) важнейшую роль играет содержание химич., физич. и биологич. загрязнений, поскольку в нём протекает жизнь и деятельность человека, формируется экологич. состояние воздушного бассейна и природной среды. Аэрология рассматривает процессы в свободной атмосфере, где влияние земной поверхности менее существенно. Аэрономия изучает самые верхние слои атмосферы. Одной из осн. целей исследований атмосферы является анализ и прогноз погоды, этим вопросом занимается *синоптическая метеорология* – наука о погоде и методах её предсказания. Близка к М. *климатология* – наука о климатах Земли и их изменениях в прошлом и настоящем. Существенных успехов достиг ряд прикладных метеорологич. дисциплин, таких как авиационная, строительная, с.-х., мед. метеорология.

Очерк развития науки

М. – древняя наука. Сведения о погоде требовались человечеству по мере развития земледелия, скотоводства, мореплавания и иных видов деятельности, напр. строительства жилья и т. д. Информация о разл. метеорологич. явлениях, погоде и способах её предсказания содержится в древних легендах и летописях, особенно богаты ею древние кит. хроники. Первым дошедшим до нас систематич. описанием атмосферных явлений с попытками их объяснения является труд «Метеорологика» *Аристотеля*; *Плиний Старший* в «Естественной истории» для целей мореплавания описывал ветры, преобладающие в тех или иных районах античного мира. Рим. поэт *Вергилий* в поэме «Георгики» приводил некоторые приметы плохой погоды, пытаясь дать её прогноз. В древности получили распространение предсказания погоды по движениям планет и фазам Луны.

Использовались также приметы погоды, связанные с церковным календарём. Напр., погода каждого месяца наступающего года определялась по погоде на Рождество и в последующие 11 дней. Опубликованная в 1488 кн. «Практика» нем. астролога И. Энгеля донесла до нас, по-видимому, первый прогноз погоды на каждый день наступающего года. Помимо астрологических и календарных, для предсказаний погоды довольно широко использовались нар. приметы, в т. ч. связанные с атмосферными явлениями. Подобные приметы, возникавшие в результате внимательного наблюдения за окружающей средой, имели значение для последующего развития М. как науки. Первый систематич. дневник погоды принадлежит англ. пастору У. Мерлу и относится к 1337–43.

Упоминания об измерениях количества выпадавших осадков имеются в хрониках стран Древнего мира: Древнего Египта, Ассирии, Вавилонии, Индии, Китая и Кореи; тогда же были известны приборы для измерения направления и скорости ветра. Приборы для измерения влажности воздуха упоминаются впервые в 15 в. в «Творениях» кардинала Николая Кузанского, а затем в дневниках [Леонардо да Винчи](#). Это были весовые гигрометры, принцип действия которых основан на измерении увеличения веса сухого гигроскопичного материала при росте влажности воздуха. Более ценным для науки явился изобретённый Фердинандом II Тосканским конденсационный гигрометр. Однако становление М. как науки в современном её понимании началось в 17 в. с изобретения осн. приборов для произ-ва метеорологич. наблюдений. Наибольший вклад в налаживание инструментальных метеорологич. наблюдений принадлежит итал. учёным, и прежде всего Г. [Галилею](#) с учениками, которыми были высказаны идеи создания термометра, барометра и дождемера. К сер. 17 в. в Италии в немалом количестве изготавливались спиртовые термометры и ртутные барометры. Новую эпоху в гигрометрии составили труды швейц. естествоиспытателя О. Б. [Соссюра](#), применившего для измерения влажности воздуха обезжиренные волосы и определившего их «точку крайней влажности» (насыщения) под колоколом. На основании исследований Соссюра П. Л. [Дюлонгом](#), Ж. Л. [Гей-Люссаком](#) был разработан новый психрометрич. метод измерения влажности, широко практикуемый и в наше время. Постоянные инструментальные наблюдения приземного атмосферного давления начались во Франции (Париж, Клермон) и в Швеции (Стокгольм) в 1640-х гг., темп-ры воздуха – в 1654 в Италии (Флоренция). Измерения характеристик состояния атмосферы вдали от земной поверхности стали возможны много позднее.

Первая междунар. метеорологич. сеть была организована в 1654 Фердинандом II Тосканским. Семь из его станций располагались в Сев. Италии и четыре в Варшаве, Париже, Инсбруке и Оснабрюке. Во Флоренции ежедневно осуществлялось 15 наблюдений. Следующей важной вехой в развитии метеорологич. наблюдений явилось создание в 1780 сети из 39 станций, две из которых находились в Сев. Америке. В России первый ряд метеорологич. наблюдений произведён в 1724–25 в С.-Петербурге. Лондонское королевское об-во, разработавшее в эти же годы первую инструкцию по проведению метеорологич. наблюдений, стало собирать и регулярно публиковать результаты наблюдений, осуществлявшихся в разл. европ. странах. В 1730-х гг. участниками Великой Сев. экспедиции под рук. В. [Беринга](#) в Сибири была организована сеть из двенадцати метеорологич. станций. Метеорологич. сеть станций в совр. понимании этого слова впервые создана Мангеймским метеорологич. об-вом (Германия) в сер. 18 в.

В сер. 19 в. во многих странах стали возникать спец. метеорологич. учреждения, одно из первых организовала в 1855 Великобритания. Затем метеорологич. службы появились в др. европ. странах и в США. В 1849 в С.-Петербурге открылась Главная физич. обсерватория, среди задач которой – организация и повседневное руководство метеорологич. наблюдениями на всей территории России. В 1872 при Главной физич. обсерватории создана служба погоды, на базе которой возникла совр. Гидрометеорологич. служба России. Главная же физич. обсерватория, будучи переименована в Главную геофизич. обсерваторию (с 1924), продолжает работать как один из ведущих науч. центров России по физике и химии атмосферы.

В 1873 в Вене состоялся первый Междунар. метеорологич. конгресс, который рекомендовал, какие именно конструкции метеорологич. приборов надо использовать, по каким правилам и в какие сроки производить наблюдения, как обмениваться данными наблюдений между странами. Конгресс создал Постоянный к-т директоров нац. метеорологич. служб, на основе которого действует совр. [Всемирная метеорологическая](#)

[организация](#) (ВМО).

Одной из проблем в физике и М. в 18 в. и отчасти в 19 в. было применение в разных странах разл. температурных шкал. Напр., нем. физик И. Г. [Ламберт](#) описал 19 шкал. Общее же их число доходило до 60, и некоторые, напр. шкала Делиля, использовались в России ещё в 1-й пол. 19 в. Значительно дольше удержалась [Реомюра шкала](#), а [Фаренгейта шкала](#) до сих пор используется метеорологич. службой США, Великобритании и др. англоязычных стран. В 1927 принята [Международная практическая температурная шкала](#).

Важность и большая практич. польза службы погоды, основанной на данных инструментальных метеорологич. наблюдений, была осознана выдающимися учёными (А. Л. [Лавуазье](#) во Франции и М. В. [Ломоносовым](#) в России) ещё в 18 в. Встал вопрос о составлении спец. карт, позднее названных синоптическими (от греч. σύνοψις – обозрение). С помощью таких карт было легче сопоставлять данные наблюдений разных метеорологич. станций. Такие карты, применявшиеся в исследовательских целях, появились в 1-й пол. 19 в. После изобретения телеграфа возникла возможность оперативного составления карт прогнозов погоды и использования их для оповещений о штормах и др. опасных явлениях природы. Одним из стимулов для организации такой оперативной работы стала буря 2(14).11.1854 у берегов Крыма, имевшая катастрофич. последствия для англо-франц. флота, осаждавшего Севастополь. Составив задним числом карты погоды, директор Парижской обсерватории У. [Леверье](#) смог проследить путь этой бури к берегам Крыма из Средиземноморья и тем самым доказал принципиальную возможность её предсказания с некоторой заблаговременностью. Практич. служба прогнозов погоды с самого начала имела междунар. характер, ибо погода не знает границ. Сначала в её функции входила только информация о текущей погоде. Но вскоре её стали дополнять штормовыми оповещениями и даже краткосрочными прогнозами погоды. Такие прогнозы не всегда встречали повсеместное одобрение. Так, с 1860 организатор англ. службы погоды Р. [Фицрой](#) начал печатать метеорологич. прогнозы в газ. «Таймс». Но серьёзные ошибки в его прогнозах привели спец. комиссию, созданную для рассмотрения их качества, к выводу, что не имеется науч. оснований для ежедневных предсказаний погоды, и публикация прогнозов прекратилась. Однако штормовые предупреждения Фицроя были популярны у англ. моряков. Сходным образом обстояло дело с налаживанием службы прогнозов погоды и в др. странах. В России служба штормовых предупреждений организована в 1874 и сначала ограничивалась публикациями информации о текущей погоде и штормовыми оповещениями моряков. С кон. 19 в. началось составление предсказаний подъёма уровня воды в р. Нева. Нужды с. х-ва и быстро развивавшейся тогда в России ж.-д. сети потребовали составления долгосрочных прогнозов погоды.

Первая попытка рассчитать атмосферные движения на сутки вперёд по уравнениям гидродинамики с учётом [Кориолиса силы](#) предпринята в 1922 англ. исследователем Л. Ф. Ричардсоном. Успехи динамич. М. этого периода связаны с именами норвежца В. Бьёркнеса, австрийца М. [Маргулеса](#), англичанина У. Н. Шоу, шведа К. Г. Россби, сов. учёных А. А. [Фридмана](#), Н. Е. [Кочина](#), И. А. [Кибеля](#), Л. В. Келлера. Кибелю принадлежит первое решение задачи отделения в прогностич. решениях уравнений динамики атмосферы погодообразующих волн от звуковых и гравитационных. Ричардсон не внёс соответствующих поправок, что и обусловило неудачу его вычислений. Десятилетием позднее Кибеля прогностич. задачу с разделением атмосферных движений решил амер. метеоролог Дж. Чарни. Большой вклад в развитие гидродинамич. метода описания общей циркуляции атмосферы внесли амер. учёные во главе с Россби и Б. Гаурвицем. Дальнейшее развитие этого направления в СССР связано с исследованиями Г. И. [Марчука](#), А. С. [Монина](#), А. М. [Обухова](#), Е. Н. [Блиновой](#), Н. И. Булева, М. И.

Юдина, А. Ф. Дюбюка и др.

С 1950-х гг. началось интегрирование уравнений гидро- и термодинамики атмосферы на электронных вычислит. машинах для целей краткосрочного (на 1–3 дня) прогноза погоды. Несколько позднее на более мощных машинах начались также численные эксперименты по расчёту характеристик общей циркуляции атмосферы. Синоптич. М. стала быстро развиваться благодаря трудам учёных Норвегии (В. Бьёркнес, Я. Бьёркнес, П. Сольберг, Т. Бергерон) и СССР (С. П. [Хромов](#), Х. П. [Погосян](#), В. А. Бугаев, В. А. Джорджио, Н. Л. Таборовский, Б. Д. Успенский). Гидродинамич. модели атмосферы, которые вначале относились к ограниченным территориям (напр., охватывая только Сев. Атлантику, Европу и территорию быв. СССР), строились сначала для полушарий, а затем стали глобальными. Вместе с тем появились детализованные численные прогностич. гидродинамич. модели локальной погоды, которые используют полушарные или глобальные прогнозы будущих состояний атмосферы на границах рассматриваемой области для прогноза на текущие сутки. Для предсказаний погоды на средние сроки (до 1–2 нед вперёд) в глобальных моделях вычисляется будущее состояние не только атмосферы, но и поверхностного слоя океана и учитывается взаимодействие между обеими средами. В результате совр. прогнозы на пять дней не уступают прогнозам на завтра, составленным 50 лет назад. Разработка долгосрочных прогнозов погоды связана в СССР с именами метеорологов Б. П. Мультановского, Е. Н. Блиновой, С. Т. Пагавы, А. А. Гире, А. Л. Каца, Н. А. Багрова и др. Дальнейшее развитие этого направления существенно осложняется т. н. проблемой предсказуемости, суть которой в том, что малые неточности в задании начального состояния атмосферы (а они неизбежны из-за неполноты и ошибок метеорологич. наблюдений) в силу нелинейности атмосферной динамики (воздушный поток переносит свои свойства, трансформируясь сам) растут во времени со всё возрастающей скоростью и через некоторое время (определяемое как предел предсказуемости) качество прогноза оказывается не лучше, чем при случайном угадывании. Заслуга в формулировке проблемы предсказуемости принадлежит амер. метеорологу Э. Лоренцу. Он оценил, что предел предсказуемости крупномасштабных метеорологич. полей в одну неделю в принципе можно продлить до месяца. Выполняемые под эгидой ВМО исследования систем наблюдений и эксперименты по предсказуемости (ТОРПЕКС) имеют целью через десятилетие отодвинуть предел предсказуемости до двух недель. Основная надежда на достижение этого связана с эффективным использованием совр. суперкомпьютеров. Это позволит сделать глобальные прогностич. модели атмосферы и океана столь же детальными, как совр. модели для целей локального прогноза. Но, даже если эта цель будет достигнута, в чём сомневаются некоторые метеорологи, долгосрочный прогноз погоды (на месяц и сезон) всё ещё недостижим.

Актинометрия наиболее активно стала развиваться в 20 в. Большой вклад в разработку методов и приборов для измерения лучистой энергии и создание сети актинометрич. станций в СССР внесли О. Д. [Хвольсон](#), В. А. [Михельсон](#), С. И. Савинов, Н. Н. [Калитин](#), Ю. Д. Янишевский; в США – С. Ленгли, Ч. Г. Аббот; в Германии – Ф. Линке; в Швеции – А. Онгстрем. Важнейшие труды по теории переноса лучистой энергии в атмосфере принадлежат учёным Е. С. Кузнецову, В. В. [Шупейкину](#), В. Е. Зуеву, В. Г. Кострову, К. С. Шифрину, а по измерениям радиации с искусств. спутников Земли – К. Я. [Кондратьеву](#). Крупных результатов в изучении физики облаков и осадков добились в СССР Н. С. Шишкин, А. Х. Хргиан, А. М. Боровиков, И. П. Мазин. Проблему по искусств. воздействию на облака, сформулированную В. Н. Оболенским в 1930-е гг., довели до практич. результатов Е. К. [Фёдоров](#), Г. К. Сулаквелидзе, И. И. Гайворонский и др. учёные, удостоенные Гос. премии. Большое достижение в М. – создание службы по исследованию атмосферных загрязнений под рук. Е. К. Фёдорова и Ю. А. [Израэля](#).

Методы исследований

М. как наука опирается на фактич. сведения об атмосфере, погоде и климате, многолетние непрерывные ряды наблюдений, которые в первую очередь поставляют сеть метеорологич. станций всего земного шара. Наблюдения проводятся синхронно по единому гринвичскому времени в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 час стандартным набором [метеорологических приборов](#). В метеорологич. исследованиях пользуются как физич., так и географич. методами. Анализ результатов наблюдений используется в М. как средство для выяснения причинных связей изучаемых атмосферных явлений. Огромные массивы метеорологич. наблюдений обрабатываются с помощью совр. статистич. методов, которые выявляют факты и связи между ними, а объясняют их законы физики, в частности законы движения сплошной среды, и географич. закономерности; при этом используется физико-математич. анализ. Измерения характеристик состояния атмосферы вдали от земной поверхности стали возможны при использовании воздушных змеев и аэростатов, а также путём измерений давления, темп-ры воздуха и др. на горных склонах. Революционным для аэрологии стало оснащение воздушных шаров специально разработанной измерит. аппаратурой, с которой темп-ра воздуха и др. показатели автоматически считывались и передавались по радио на Землю. Такие шары были названы радиозондами. Заслуга создания первого радиозонда в 1930 принадлежит сов. учёному П. А. Молчанову. Во 2-й пол. 20 в. для метеорологич. исследований стратосферы и более высоких слоёв атмосферы начали применять метеорологич. ракеты, а в 1960 был запущен первый метеорологич. спутник. В совр. М. используются новейшие методы дистанционных исследований атмосферы с орбитальных и стационарных искусств. спутников Земли, оборудованных телевиз. камерами для прослеживания облачного и ледового покровов Земли в видимых и инфракрасных лучах, радиолокац. радиометрич. аппаратуры и лазеров. Спутниковые радиометры и спектрометры измеряют интенсивность солнечной радиации, отражённой от Земли, а также инфракрасной и микроволновой радиации, излучаемой земной поверхностью, облаками и самой атмосферой. Однако спутниковые радиац. данные содержат информацию только о довольно сильно сглаженных по вертикали метеорологич. характеристиках состояния атмосферы. Поэтому сохраняется необходимость в достаточно густой сети радиозондовых наблюдений, использовании кораблей погоды – специально оборудованных судов, постоянно работающих в тех районах Мирового ок., которые являются ключевыми для развития атмосферных процессов или очень удалёнными от суши. Продолжают наблюдения метеорологич. ракеты и самолёты-лаборатории, сеть буйковых метеорологич. станций.

Научные организации и периодические издания. Проблемы М. в России изучают в организациях [Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды \(Гидрометеорологический центр Российской Федерации\)](#), Всерос. н.-и. институт гидрометеорологич. информации – Мировой центр данных в г. Обнинск, [Главная](#) геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова в С.-Петербурге, Центральная аэрологич. обсерватория в г. Долгопрудном, Ин-т глобального климата и геоэкологии, [Арктический и Антарктический институт](#), [Гидрологический институт](#)) и РАН (Ин-т вычислит. математики, Ин-т физики атмосферы им. А. М. Обухова, [Географии институт](#), [Океанологии институт](#), [Физики Земли институт](#) и др.), в университетах на кафедрах метеорологии, в некоторых ведомственных институтах в соответствии с их профилем. Большое значение для М. имеет междунар. кооперация, которая (в отношении науч. и организац. мероприятий) координируется через ВМО, Междунар. союз геофизики и геодезии, Междунар. биоклиматич. об-во и др.

Рос. журналы и продолжающиеся издания, публикующие материалы в области М.: «Метеорология и гидрология»

(с 1935), «Труды Государственного гидрологического института», «Труды Гидрометцентра РФ».

Литература

Лит.: Хргиан А. Х. Очерки развития метеорологии. 2-е изд. Л., 1959. Т. 1; он же. Физика атмосферы. М., 1986; Тверской П. Н. Курс метеорологии. Л., 1962; Матвеев Л. Т. Физика атмосферы. СПб., 2000; Кислов А. В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. М., 2001; Семенченко Б. А. Физическая метеорология. М., 2002.