

3703
DM

30 +

СОВРЕМЕННАЯ МЕТЕОРОЛОГІЯ

ОЧЕРКЪ ЕЯ ПРОШЛАГО И НАСТОЯЩАГО.

ФРАНКА ВАЛЬДО

БЫВШАГО ПРОФЕССОРА „СИГНАЛЬНОГО БЮРО“ ВЪ СЪВ.-АМЕРИК. СОЕДИНЕННЫХЪ ШТАТАХЪ.

Переводъ съ англійскаго М. П. Косача подъ редакцію профессора
Б. И. Срезневскаго.

Съ 112 рисунками.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

625
5007
ИЗДАНИЕ А. Ф. ДВОРНИЧЕНА.
1897.

ГО
БИБЛИОТЕКА
[Л. 5]

БИБЛИОТЕКА
ГОСУДАРСТВЕННОГО
НИКИТСКАГО БОТАНИЧЕСКАГО САДА
ЯЛТА.

5 р.

СОВРЕМЕННАЯ МЕТЕОРОЛОГІЯ

ОЧЕРКЪ ЕЯ ПРОШЛАГО И НАСТОЯЩАГО.

ФРАНКА ВАЛЬДО

БЫВШАГО ПРОФЕССОРА „СИГНАЛЬНАГО БЮРО“ ВЪ СЪВ.-АМЕРИК. СОЕДИНЕННЫХЪ ШТАТАХЪ.

Переводъ съ англійскаго М. П. Косача подъ редакціею профессора
Б. И. Срезневскаго.

Съ 112 рисунками.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
ИЗДАНИЕ А. Ф. ДЕВРІЕНА.
1897.

Г. Ялта, винкомбинат «МАССАНДРА»

~ 1321

35
3-16
240.

3703

НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА
УЛ. КИРОВА, 288900



Дозволено цензурою. Спб. 11 Января 1897 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Предисловіе автора.	СТР. IX
ГЛАВА I.	
Источники современной метеорологій.	
§ 1. Очеркъ ея развитія.	
Правительственныя метеорологическія учрежденія. — Введеніе динамическаго метода. — Составъ метеорологической организаціи. — Устройство станцій разныхъ разрядовъ.	1
§ 2. Метеорологическія изданія.	
Спеціальныя сочиненія. — Ежемѣсячныя отчеты о состояніи погоды. — Сочиненія по общей метеорологіи. — Периодическая литература.	5
§ 3. Международная метеорологія.	
Первый международный конгрессъ. — Послѣдующіе международные конгрессы. — Польза, принесенная ими метеорологіи	16
ГЛАВА II.	
Аппараты и Методы.	
§ 1. Термометры.	
Исторія ихъ. — Нормальные термометры. — Сравненіе нормальныхъ термометровъ. — Ртутные термометры. — Поправка на параллаксъ и рефракцію. — Поправка на шкалу и калиброваніе. — Опредѣленіе главныхъ точекъ на термометрѣ. — Поправка на температуру шкалы. — Поправка на давленіе въ резервуарѣ. — Инертность. — Термическое послѣдствіе и перемѣщеніе нуля. — Термографы. — Установка термометровъ. — Нормальная температура	21
§ 2. Барометры.	
Исторія изобрѣтенія барометра. — Различныя виды барометровъ. — Точность показаній. — Нормальные барометры. — Источники ошибокъ.	*

Сравнение нормальных барометровъ. — Капиллярность въ барометрическихъ трубкахъ. — Анероидъ-барометръ. — Термо-барометръ. — Барографы	стр. 48
--	------------

§ 3. Аппараты для измѣренія вѣтра.

Исторія флюгера. Приборы для измѣренія силы или скорости вѣтра. Маятникъ-анемометръ. — Повѣрка анемометровъ. Аппаратъ Комба. — Оцѣнка силы вѣтра. — Самозаписывающіе анемометры. — Измѣреніе воздушныхъ движеній на большихъ высотахъ	68
---	----

§ 4. Приборы для измѣренія влажности воздуха и осадковъ.

Влага въ атмосферѣ. — Первые гигрометры. — Новѣйшіе способы измѣренія влажности въ воздухѣ. Аппаратъ Швакгефера. — Волосный гигрометръ. — Психрометры. — Самопишущіе гигрометры. — Измѣреніе осадковъ. — Самопишущіе дождемѣры или плювиографы. — Испареніе. Омбро-атмографъ Вильда	108
---	-----

§ 5. Измѣреніе облачности и солнечной радіаціи.

Облачность. — Высота облаковъ. Фотографическій способъ наблюденія облаковъ. — Гелиографы. Самопишущій актинометръ	124
---	-----

§ 6. Метеорологическія обсерваторіи.

Историческій очеркъ. — Центральныя обсерваторіи. Вѣнская обсерваторія и ея дѣятельность. — Специальныя занятія нѣкоторыхъ обсерваторій: повѣрка приборовъ, производимая въ Кью; предсказанія погоды въ Сигнальномъ Бюро въ Соединен. Штатахъ — Обсерваторія въ Павловскѣ, въ Россіи; расположеніе построекъ въ Павловскѣ; установка приборовъ въ Павловскѣ; личный составъ Павловской обсерваторіи. — Метеорологическіе приборы, употребляемые въ Павловской обсерваторіи. — Ежедневная служба наблюдателей въ Павловскѣ	130
--	-----

§ 7. Горныя обсерваторіи.

Исторія возникновенія горной метеорологіи. — Пользованіе наблюденіями, получаемыми на горныхъ обсерваторіяхъ. — Перечень горныхъ обсерваторій. — Описаніе нѣкоторыхъ горныхъ обсерваторій. — Внутренній строй горныхъ обсерваторій. — Установка приборовъ на горныхъ обсерваторіяхъ	153
---	-----

ГЛАВА III.

Термодинамика атмосферы.]

§ 1. Введеніе.

Необходимость изученія законовъ атмосферной термодинамики. — Испареніе; насыщеніе паромъ; расширеніе газовъ. — Характеристическія кривыя. — Вертикальная циркуляція воздуха и измѣненія температуры; расходъ и приходъ тепла при движеніи воздуха; прило-

женіе графическаго метода Карно и Клапейрона; графическій методъ Герца; причина вертикальной циркуляціи воздуха; циркуляція влажного воздуха; различныя смѣси, состоящія изъ воздуха и влаги; стадіи влажности	стр. 166
--	-------------

§ 2. Графическій анализъ фонъ-Бецоляда.

Методъ координатъ. — Сухая стадія. — Дождевая стадія; пересыщеніе воздуха; адиабатическія и псевдо-адиабатическія перемѣны; энтропія; изэнтропическія кривыя. — Псевдо-адиабатическая кривая. — Стадія града. — Стадія снѣга	174
--	-----

§ 3. Приложеніе термодинамики къ фѣнамъ и циклонической циркуляціи.

Измѣненія въ восходящемъ влажномъ воздухѣ. — Объясненіе обмена въ воздухѣ, совершающагося между циклонами и антициклонами; термодинамическія измѣненія въ нисходящемъ воздухѣ.	183
--	-----

§ 4. Графическое рѣшеніе адиабатическаго процесса, данное Герцемъ.

Построеніе графической таблицы Герца; способъ употребленія таблицы Герца	189
--	-----

§ 5. Потенціальная температура.

Потенціальная температура въ сухой стадіи; адиабатическая температура въ сухой стадіи	194
---	-----

§ 6. Вертикальный температурный градиентъ.

Потенціальная температура въ восходящемъ и нисходящемъ воздушномъ теченіи. — Температурный градиентъ влажного воздуха. — Потенціальная температура вверху и внизу. — Температурный градиентъ въ циклонахъ и антициклонахъ. — Сложная конвекція.	197
---	-----

§ 7. Смѣшеніе массъ воздуха.

Старыя теоріи. — Изслѣдованіе фонъ-Бецоляда, касательно смѣси воздуха; условія, необходимыя для конденсаціи; условія maximum'a осадковъ. — Процессъ образованія осадковъ; лабораторные эксперименты для полученія осадковъ; пересыщеніе; образованіе облаковъ; образованіе тумана; образованіе и разсѣяніе облаковъ; законы конденсаціи и виды облаковъ.	205
--	-----

ГЛАВА IV.

Общая циркуляція атмосферы.

§ 1. Развѣтїе новѣйшихъ теорій атмосферныхъ движеній.

Историческій очеркъ теорій атмосферной циркуляціи. — Первое сочиненіе Ферреля объ атмосферной циркуляціи. — Работы Траси. Второе сочиненіе Ферреля объ атмосферной циркуляціи. — Районы воздушныхъ движеній, восточнаго и западнаго. — Сопоставленіе атмос-

ферныхъ движеній, главныхъ и второстепенныхъ. — Отклоняющія вліянія обращенія земли вокругъ своей оси (Феррель). — Ученіе объ атмосферныхъ движеніяхъ Гульдберга и Мона. — Общія заключенія. 216

§ 2. Очеркъ теоріи Ферреля общей циркуляціи атмосферы.

Главная причина атмосферныхъ движеній; общія горизонтальныя и вертикальныя воздушныя теченія; обстоятельства, препятствующія идеальной атмосферной циркуляціи; идеальная воздушная циркуляція. — Идеальная воздушная циркуляція при гипотезѣ отсутствія вращенія земли. — Возмущающее вліяніе вращенія земли на скорость восточныхъ и западныхъ воздушныхъ движеній; восточное движеніе верхняго полярнаго воздушнаго теченія; предѣлы скорости восточныхъ воздушныхъ теченій. — Вертикальныя движенія воздуха; отношеніе восточнаго движенія воздуха въ высшихъ широтахъ къ западному движенію воздуха въ низшихъ широтахъ; вліяніе тренія на восточно-западные воздушныя движенія; равнодѣйствующая воздушнаго движенія въ высшихъ широтахъ; районы слабаго движенія воздуха; пассаты. — Воздушныя движенія вблизи экватора; экваторіальныя вѣтры къ западу; движеніе воздуха изъ сѣвернаго въ южное полушаріе. — Вліяніе главныхъ движеній атмосферы на атмосферное давленіе и изобарическія поверхности. — Барометрическій градіентъ; maximum давленія на 30° широты; minimum давленія на экваторѣ; поверхность максимальнаго воздушнаго давленія; maximum давленія на большихъ высотахъ на экваторѣ; давленія на земной поверхности вообще; объѣмъ воздуха между двумя полушаріями. — Шпрунгова таблица меридіональнаго распредѣленія давленія и температуры. — Графическое изображеніе воздушной циркуляціи, данное Феррелемъ. — Вычисленіе восточно-западныхъ скоростей воздуха по градіенту давленія. — Общій взглядъ Ферреля на атмосферную циркуляцію 225

§ 3. Позднѣйшія изслѣдованія атмосферныхъ движеній 249

§ 4. Общая циркуляція воздуха, по Сименсу.

Причина меридіональной воздушной циркуляціи; причина вертикальныхъ воздушныхъ теченій; причина maximum'a и minimum'a воздушнаго давленія 250

§ 5. Общая циркуляція воздуха, по Мёллеру.

Отклоняющая сила земнаго вращенія; наклонъ барометрическихъ поверхностей; тропическая воздушная циркуляція по Мёллеру. — Энергія, развиваемая воздухомъ на различныхъ высотахъ. 252

§ 6. Общія атмосферныя движенія, по теоріи Обербека.

Воздушныя движенія въ случаѣ отсутствія вращенія земли вокругъ оси; воздушныя движенія при условіи вращенія земли; графическое изображеніе общей атмосферной циркуляціи, данное Обербекомъ. — Теоретическое распредѣленіе атмосфернаго давленія; теорія происхожденія восточныхъ и западныхъ воздушныхъ движеній; вертикальныя составляющія воздушныхъ движеній; меридіональныя составляющія воздушныхъ движеній 257

§ 7. Общія замѣчанія относительно тренія горизонтальныхъ воздушныхъ теченій. 262

§ 8. Общія движенія атмосферы, по Гельмгольцу.

Атмосферное треніе; переходъ тепла изъ одного слоя воздуха въ другой; полоса штиля въ атмосферѣ; устойчивое равновѣсіе воздушнаго слоя; измѣненія въ равновѣсіи вслѣдствіе тренія и теплоты; движенія горизонтальныхъ воздушныхъ теченій; пассаты; разрывное движеніе; смѣшеніе воздушныхъ слоевъ; образованіе циклоновъ и анти-циклоновъ; субтропическіе дожди; вѣтры въ „зонѣ смѣшаннаго воздуха“. — Полярный холодъ, какъ причина воздушнаго движенія; препятствіе къ образованію очень быстрыхъ воздушныхъ теченій. — Волнообразное движеніе въ атмосферѣ. Волнообразное движеніе при встрѣчѣ двухъ жидкостей; отношеніе величины водяныхъ волнъ къ величинѣ воздушныхъ волнъ; разрывъ атмосфернаго волнообразнаго движенія; энергія волнообразнаго движенія; разбиваніе волнъ; столкновеніе волнъ. 264

ГЛАВА V.

Второстепенныя движенія атмосферы.

§ 1. Общія понятія о второстепенныхъ атмосферныхъ движеніяхъ. 276

§ 2. Изслѣдователи явленія циклоновъ 281

§ 3. Нѣкоторые факты относящіеся къ циклонамъ.

Воздушное давленіе и изобары въ циклонахъ. — Температура въ циклонахъ. — Облачность въ циклонахъ. — Осадки въ циклонахъ. — Направленіе и наклонъ вѣтровъ къ изобарамъ въ циклонахъ. — Количество воздуха, питающаго барометрическіе максимумы и минимумы (антициклоны и циклоны). — Направленіе и скорость поступательнаго движенія циклоновъ 281

§ 4. Составители теорій циклоновъ 303

§ 5. Теорія циклоновъ, составленная Феррелемъ.

Воздушное давленіе въ циклонахъ. — Область затишья въ циклонахъ. — Постепенное расширеніе циклоновъ. — Поступательное движеніе циклоновъ 305

§ 6. Теорія циклоновъ и антициклоновъ по Ханну.

Вертикальное распредѣленіе температуры въ восточныхъ Альпахъ зимой 315

§ 7. Попытки Бецоляда пересоздать существующія теоріи циклоновъ.

Главныя разногласія въ старыхъ теоріяхъ циклоновъ. — Взглядъ Бецоляда на центрированные циклоны; силы, находящіяся въ дѣйствіи въ центр рованныхъ циклонахъ; отдѣльные случаи центрированныхъ циклоновъ; циклоны съ холодными центрами; строеніе центрированнаго циклона; ускореніе движенія воздуха въ зависи-

мости отъ величины градіента въ циклонахъ; внѣшнія причины отно-
сительныхъ скоростей воздушныхъ слоевъ въ циклонахъ; отношеніе
градіентовъ и скоростей вѣтра въ циклонахъ; скорость вѣтра въ
центрированныхъ циклонахъ; критическая скорость въ центрирован-
ныхъ циклонахъ. — Строеніе центрированныхъ циклоновъ; изобариче-
скія и критическія поверхности въ центрированныхъ циклонахъ. —
Дѣйствительные случаи центрированныхъ циклоновъ; воздушная цир-
куляція въ торнадо, разсматриваемомъ, какъ центрированный цик-
лонъ; вычисленіе наклона критическихъ поверхностей; нисходящее
теченіе на большихъ высотахъ въ циклонахъ.

стр.

319

ГЛАВА VI.

Прикладная метеорологія.

§ 1. Приложение многолѣтнихъ метеорологическихъ наблюденій къ опредѣленію измѣ-
неній климата.

Колебанія количества осадковъ. — Колебанія уровня водъ. — Измѣ-
ненія атмосфернаго давленія. — Измѣненія температуры. — Колебанія
продолжительности ледяного покрова. — Измѣненія времени сбора
винограда. — Періоды суровыхъ зимъ.

332

§ 2. Метеорологія въ приложеніи къ сельскому хозяйству.

Предварительныя замѣчанія по сельско-хозяйственной метеоро-
логіи. — Фенологическія наблюденія; фенологія животныхъ; фенологія
растеній; сравненіе животной и растительной фенологіи. — Вліяніе тем-
пературы на растенія. — Minimum температуры. — Термическія по-
стоянныя для растеній. — Средняя температура и ростъ растеній. —
Дожди. — Испареніе воды. — Метеорологія почвы. — Солнечный свѣтъ. —
Вѣтры. — Энтомологія — Микологія.

345

ПРЕДИСЛОВІЕ АВТОРА.

Матеріалъ, собранный мною, представляетъ главнымъ обра-
зомъ интересъ для любителей метеорологіи, неимѣющихъ до-
ступа къ первоисточникамъ ея; къ числу этихъ лицъ при-
надлежитъ большинство наблюдателей метеорологическихъ
станцій, а также многіе преподаватели физической географіи
и общей физики. Каждый читатель можетъ найти здѣсь до-
полненія къ такимъ сочиненіямъ, какъ „Метеорологія“ Скотта
(„Meteorology“ Scott), „Погода“ Аберкромби („Weather“ Aber-
cromby) или статьи изъ „Британской энциклопедіи“ (Ency-
clopoedia Britannica). Живя въ разстояніи нѣсколькихъ со-
тенъ миль отъ извѣстныхъ спеціальныхъ библіотекъ по ме-
теорологіи, я не могъ пользоваться многими важными сочи-
неніями, поэтому не могъ дать здѣсь полного историческаго
обзора всѣхъ отдѣловъ этой науки; слѣдуетъ еще замѣтить,
что, будучи послѣдователемъ такъ называемой Германской
школы, я, вѣроятно, не достаточно обратилъ вниманія на
сочиненія французскихъ, англійскихъ и итальянскихъ метео-
рологовъ; сознавая это, я однако постарался по крайней
мѣрѣ не затемнять заслугъ послѣднихъ именами германскихъ
ученыхъ въ тѣхъ случаяхъ, когда по справедливости слѣдо-
вало упомянуть о нихъ.

Различные отдѣлы метеорологіи такъ развились за послѣднія одно или два десятилѣтія, что подробное изложеніе только какого-нибудь одного изъ тѣхъ шести отдѣловъ, о которыхъ здѣсь идетъ рѣчь, потребовало бы болѣе объемистаго тома, чѣмъ предлагаемый; разнообразіе разбираемыхъ вопросовъ достигается въ ущербъ полнотѣ деталей, необходимой для увеличенія интереса.

Задача же этой небольшой книги скорѣе познакомить читателя съ дѣломъ, которое увлекало и увлекаетъ въ настоящее время работающих метеорологовъ, чѣмъ представить окончательные выводы.

Глава I посвящается обзорѣ главныхъ источниковъ по исторіи прогресса науки метеорологіи.

Глава II содержитъ исторію и описаніе нѣкоторыхъ важнейшихъ метеорологическихъ приборовъ и методовъ ихъ употребленія. При составленіи этой главы я воспользовался въ широкихъ размѣрахъ „Трактатомъ о метеорологическихъ приборахъ и методахъ“ Аббе (Abbe's „Treatise on Meteorological Apparatus and Methods“), напечатаннымъ Сигнальнымъ Бюро (Signal Service) Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатовъ. Въ отдѣлѣ о термометрахъ я воспользовался бы въ болѣе широкихъ размѣрахъ термометріей Гильома („Thermométrie“ Guillaume'a), еслибы она была мнѣ доступна во время работы.

Такъ какъ до сихъ поръ еще не было на англійскомъ языкѣ изданія, которое бы давало удовлетворительное описаніе метеорологическихъ приборовъ, то я позволилъ себѣ остановиться на обработкѣ этой темы, быть можетъ, долѣе, чѣмъ слѣдовало бы, причемъ статьи о термометрахъ; барометрахъ и приборахъ для измѣренія вѣтра вышли наиболѣе подробными; посвятить имъ много мѣста, я принужденъ былъ сдѣлать лишь короткое упоминаніе о другихъ, менѣе употребляемыхъ, снарядахъ, или даже вовсе опустить нѣкоторые

изъ таковыхъ. Изображенія обсерваторій въ этой книгѣ служатъ доказательствомъ того, насколько состояніе метеорологіи далеко отъ совершенства, сравнительно, напр., съ астрономіей, но они же свидѣтельствуютъ и о томъ, что метеорологія прочно утвердилась и заняла прочное мѣсто между государственными вспомогательными науками. Особеннаго вниманія заслуживаетъ устройство и порядокъ веденія дѣла въ Константиновской Обсерваторіи въ г. Павловскѣ близъ С.-Петербурга. Подробнымъ ознакомленіемъ съ послѣднею я обязанъ любезности директора ея акад. Вильда и д-ра Лейста; я не встрѣчалъ въ печати другого подобнаго описанія этой обсерваторіи¹⁾.

Глава III представляетъ собою извлеченіе изъ докладовъ по термодинамикѣ атмосферы, недавно представленныхъ въ Берлинскую Академію Наукъ профессоромъ Бецольдомъ (von Bezold). Я признаю за его идеями большое значеніе для развитія механики атмосферы и для ученія объ атмосферныхъ явленіяхъ. Нѣсколько лѣтъ тому назадъ казалось невѣроятнымъ, чтобы идеи Бецольда попали въ элементарное англійское руководство; но я считалъ настоятельной необходимостью дать ихъ изложеніе, хотя усвоеніе ихъ требуетъ болѣе времени, чѣмъ средній читатель можетъ удѣлить имъ. Я старался возможно близко слѣдовать за Бецольдомъ въ своей передачѣ предмета.

Глава IV содержитъ отдѣльный очеркъ исторіи развитія теорій общей циркуляціи атмосферы съ приложеніемъ краткаго обзорѣнія дополненной теоріи Ферреля и отчета о нѣкоторыхъ недавнихъ вкладахъ въ литературу по этому предмету, сдѣланныхъ Мѣллеромъ, Обербекомъ, Сименсомъ и Гельмгольцемъ. Я старался близко держаться текста названныхъ авторовъ, когда излагалъ ихъ идеи.

¹⁾ Въ текущемъ 1896 г. появилась въ русской литературѣ прекрасная и чрезвычайно полная монографія Г. И. Вильда по этому предмету. Ниже мы воспользуемся ею.
Ред.

Глава V посвящается историческому очерку и объяснению сущности второстепенных атмосферных циркуляцій, которыми объясняются мѣстные вѣтры, по крайней мѣрѣ въ средних широтахъ. — Особеннаго вниманія заслуживаетъ попытка Бецольда объединить старую и новую теоріи, излагаемая имъ въ докладѣ Берлинской Академіи Наукъ; результаты, полученные имъ, занимаютъ значительную часть V-ой главы.

Главѣ VI содержатъ въ себѣ главнѣйшіе выводы, сдѣланные проф. Брюкнеромъ (Dr. Brückner) при изслѣдованіи результатовъ метеорологическихъ наблюдений со времени ихъ возникновенія до настоящаго времени, и основныя точки зрѣнія на постепенное измѣненіе климатическихъ явленій. Вторую часть этой главы, гдѣ трактуется о приложеніи метеорологіи къ агрономіи, я, съ позволенія ассистента секретаря Сельскохозяйственнаго Общества, составилъ по неизданному изслѣдованію, написанному мною для Департамента Земледѣлія Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатовъ.

Считаю своимъ долгомъ выразить мою благодарность разнымъ авторамъ и издателямъ, которые позволили мнѣ пользоваться ихъ чертежами и рисунками. Я заимствовалъ у академика Вильда фотографію Павловской Обсерваторіи, а у профессора Уипля (Whipple) фотографіи обсерваторіи въ Кью (Kew) и различныхъ снарядовъ.

Въ заключеніе не могу не упомянуть о существенной помощи, которую оказала мнѣ моя жена при составленіи этой книги.

Франкъ Вальдо.

Princeton, New Jersey, U. S. A.

ГЛАВА I.

Источники современной метеорологіи.

§ I. Очеркъ ея развитія.

Для составленія понятія о современномъ состояніи науки метеорологіи, необходимо сперва прослѣдить постепенное развитіе ея, начиная примѣрно съ 1860 г.; въ это время были установлены научныя основы, на которыхъ созданъ поразительный прогрессъ послѣдовавшихъ 20—30 лѣтъ. Какъ разъ наканунѣ 1860 г. были написаны сочиненія Ферреля, одни изъ первыхъ по метеорологіи (1856—58—59 г.г.), относящіеся къ теоріи атмосферныхъ движеній, и былъ открытъ важный законъ Бейсъ-Баллота (Buys—Ballot)¹⁾ касательно направленія вѣтровъ. Въ 1856 г. Шохъ (Schoch) работалъ надъ приложеніемъ теоріи сферическихъ функцій къ распределенію средней температуры на поверхности земли. Въ 1856 г. Леверье (Le Verrier) въ „Bulletin International de l'Observatoire“ положилъ начало изданію одновременныхъ метеорологическихъ наблюдений. Въ 1856 г. Уельшъ установилъ въ обсерваторіи Кью (Kew Observatory) нормальный барометръ оригинальной конструкціи, который долженъ былъ служить образцомъ для сравненія остальныхъ барометровъ,

¹⁾ Эрманъ (Erman) пришелъ къ подобнымъ же выводамъ нѣсколько раньше (Poggendorf's Annalen LXXXVIII).

бывшихъ въ употребленіи въ обсерваторіяхъ. Нормальный барометръ Реньо, построенный за десять лѣтъ до того, употреблялся почти исключительно въ лабораторіяхъ.

Эти и многія другія нововведенія были сдѣланы раньше, чѣмъ вышло въ свѣтъ большое сочиненіе Шмида по метеорологіи; однако значеніе ихъ не сознавалось ясно и потому Шмидъ вовсе о нихъ не упомянулъ. Я указываю на „Метеорологію“ Шмида (Лейпцигъ 1860 г.) главнымъ образомъ потому, что авторъ ея собралъ въ одно цѣлое всѣ факты метеорологической науки, признанные большинствомъ ученыхъ того времени. Книга Шмида, потребовавшая семь лѣтъ труда, представляетъ настоящую сокровищницу фактовъ и данныхъ; правда, она не столь интересна, какъ „Метеорологія“ Кэмца (Kaemtz's „Meteorologie“), опубликованная двадцатью-пятью годами ранѣе, однако и нынѣ сохраняетъ свое значеніе, какъ источникъ для справокъ. Дѣйствительно, изданіе книги Шмида было настоящей эпохой въ исторіи метеорологіи. — „Справочная книжка по метеорологіи“ Бухана („Handy Book of Meteorology“ Buchan's), изданная нѣсколько позже (1867 г.), представляетъ уже вполне ясно новое направленіе въ метеорологіи и можетъ быть рассматриваема, какъ первый изъ новѣйшихъ трактатовъ.

Правительственныя метеорологическія учрежденія.

Быстрое развитіе метеорологіи въ наше время должно быть объяснено скорѣе практической пользой метеорологическихъ данныхъ, чѣмъ научнымъ интересомъ къ метеорологіи; практическая цѣль вызвала правительственную поддержку метеорологическихъ учреждений, безъ которой столь быстрое развитіе метеорологіи, какое мы видимъ за послѣднія двадцать лѣтъ, было бы невозможно. Только послѣ знаменательнаго 1860 года правительства разныхъ странъ начали учреждать самостоятельныя метеорологическія бюро. До того времени было мало специалистовъ метеорологіи, потому что не было должностей, на которыхъ интересующіеся могли посвятить все свое время работѣ въ этой области науки; под-

держка со стороны правительства позволила привлечь наиболѣе талантливыхъ изслѣдователей на службу метеорологіи.

Введеніе динамическаго метода.

Принятіе этого метода дало новое освѣщеніе прежнимъ трудамъ по метеорологіи и увеличило ихъ значеніе. Новый методъ не вытѣснилъ стараго, статистическаго метода, но пополнилъ его пробѣлы. При старомъ методѣ данныя прямо накоплялись, и изъ нихъ дѣлались средніе выводы относительно явленій для каждой мѣстности особо; при новомъ — изслѣдуются цѣлыя группы явленій, одновременно наблюдаемыхъ на большихъ пространствахъ, и ищется ихъ причинная связь и послѣдовательное развитіе. Правда, есть нѣкоторыя характерныя черты погоды и климата, которыя могли быть выяснены посредствомъ разсмотрѣнія отдѣльных мѣстныхъ наблюденій за долгіе періоды времени; но вообще чрезвычайное разнообразіе и быстрое чередованіе переменъ погоды показываетъ, что, если мы хотимъ понять причину ихъ, то должны рассматривать ихъ непременно въ связи со всѣми сопровождающими ихъ обстоятельствами. Старый методъ искалъ объясненія явленій въ ихъ продолжительныхъ наблюденіяхъ, новая же метеорологія указываетъ, что мы должны принимать во вниманіе не отдѣльные элементы, но ихъ распредѣленіе въ пространствѣ, т.-е., какъ географическое размѣщеніе, такъ отчасти и высоту надъ уровнемъ моря.

Составъ метеорологической организаціи.

Хотя метеорологическія службы въ различныхъ странахъ не тождественны въ подробностяхъ организаціи, однако существуетъ нѣкоторый нормальный планъ, свойственный до известной степени имъ всѣмъ. Правительственныя учрежденія состоятъ изъ главнаго бюро и филиальныхъ наблюдательныхъ станцій, и управляются ученымъ директоромъ, при которомъ состоятъ ассистенты, завѣдующіе различными частями работы. Ассистенты эти избираются изъ специали-

стовъ или скоро ими становятся. Раздѣленіе работы по отдѣламъ приблизительно таково: 1) надзоръ надъ наблюдательными станціями, 2) климатологія, 3) штормовыя предупрежденія, 4) предсказанія погоды, 5) подведеніе итоговъ текущей погоды, 6) управленіе центральной обсерваторіей, 7) храненіе нормальныхъ инструментовъ, 8) вывѣрка инструментовъ, употребляющихся на разныхъ наблюдательныхъ станціяхъ, и, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, 9) морская метеорологія.

Устройство станцій разныхъ порядковъ.

При болѣе обширныхъ учрежденіяхъ имѣется обыкновенно центральная метеорологическая обсерваторія представляющая собою учрежденіе 1-го разряда; здѣсь производятся ежечасныя наблюденія главныхъ элементовъ и установлены самопишущіе приборы. Подробности относительно веденія дѣла центральнымъ учрежденіемъ описаны въ соответствующей главѣ. Наблюдательныя станціи должны быть классифицированы слѣдующимъ образомъ: обсерваторіи, менѣе полно снабженныя инструментами, суть станціи 1-го разряда; на станціяхъ 2-го разряда наблюдается давленіе, температура, влажность, количество выпадающихъ осадковъ, вѣтеръ (направленіе и сила), облачность и туманы; помимо двухъ или трехъ срочныхъ наблюденій въ теченіи дня отмѣчаются и спорадическія явленія, какъ-то: грозы, иней, градъ и т. п. Эти станціи распредѣляются по цѣлой странѣ, насколько возможно, равномерно, и состоятъ на попеченіи наблюдателей, которые, если и не числятся на государственной службѣ, то обыкновенно получаютъ жалованіе¹⁾; 3-е-разрядныя станціи наблюдаютъ осадки, температуру и спорадическія явленія. Наблюдаютъ на этихъ станціяхъ обыкновенно вольные любители, которые по разнымъ причинамъ интересуются метеорологіей настолько, чтобы сдѣлать и записать

¹⁾ Въ Россіи по большей части завѣдываніе станціями составляетъ побочное и безвозмездное занятіе должностныхъ лицъ различныхъ вѣдомствъ; содержаніе получаютъ почти исключительно наблюдатели морскихъ станцій; очень многія станціи содержатся и завѣдуются частными лицами. *Ред.*

два-три наблюденія въ день, но которые въ то же время считаютъ себя въ правѣ прервать наблюденія, когда имъ угодно¹⁾. Спеціальныя станціи для наблюденія осадковъ и грозъ весьма многочисленны въ большинствѣ странъ и всѣ завѣдуются добровольными наблюдателями. Они посылаютъ свои записи черезъ извѣстные промежутки времени, обыкновенно ежемѣсячно, въ центральное учрежденіе, гдѣ обработка этихъ записей производится соответствующими отдѣленіями. Наблюденія, необходимыя для предсказанія погоды, передаются по телеграфу также въ центральное учрежденіе.

Метеорологическія изданія.

§ II. Спеціальныя сочиненія.

Для мелкихъ метеорологическихъ станцій обыкновенно довольствуются опубликованіемъ ежедневныхъ наблюденій за два или три срока или среднихъ выводовъ изъ нихъ. Главныя же метеорологическія учрежденія имѣютъ еще добавочныя изданія. Наиболѣе важны изъ нихъ—томы изслѣдованій, выполненныхъ по такимъ наблюденіямъ, которыя, будучи сдѣланы при данномъ учрежденіи, хранятся въ архивахъ, зачастую недоступныхъ для постороннихъ лицъ. Нѣкоторыя учрежденія обладаютъ средствами, позволяющими публиковать, кромѣ этихъ спеціальныхъ статей, еще описаніе разныхъ методовъ и результатовъ

¹⁾ Это раздѣленіе станцій не вполне согласуется съ принятыми въ Россіи постановленіями Вѣнскаго международнаго конгресса, по которому три разряда станцій опредѣляются исключительно слѣдующими признаками:

Станціями перваго разряда мы называемъ обсерваторіи, производящія наблюденія по наиболѣе обширнымъ программамъ, притомъ ежечасно или же съ помощью самопишущихъ инструментовъ.

Станціями 2-го разряда называются такія станціи, на которыхъ производится полныя правильныя наблюденія надъ обыкновенными метеорологическими элементами, а именно: надъ давленіемъ, температурою и влажностью воздуха, вѣтромъ, облачностью и гидрометеорами.

Станціями 3-го разряда называются станціи, на которыхъ производится наблюденія лишь надъ нѣкоторыми изъ этихъ элементовъ (Вильдъ: Сводъ постановленій международныхъ метеорологическихъ конференцій. Мет. Сб. т. IV. № 8. С.-Петербургъ, 1894).

Ред.

наблюдений. Эти изслѣдованія часто обнимаютъ цѣлыя многолѣтніе ряды наблюдений и заключаютъ въ себѣ матеріалъ, собранный съ различныхъ мѣстъ земного шара. Такіе сборники прежде были рѣдки, и поэтому метеорологи были вынуждены публиковать свои труды частью въ разнообразныхъ изданіяхъ, гдѣ имъ отводилось ограниченное мѣсто среди другихъ научныхъ статей и гдѣ, какъ и вообще въ журналахъ, числовыя таблицы, необходимыя иллюстраціи и карты помѣщались только за особую плату.

Индійскіе „Meteorological Memoirs“ („Метеорологическіе мемуары“), французскіе „Annales du Bureau Central Météorologique de France“ („Лѣтописи центральнаго метеорологическаго бюро во Франціи“), итальянскіе „Annali dell' Ufficio Centrale di Meteor. Italiana“ („Лѣтописи главнаго метеорологическаго учрежденія Италіи“), нѣмецкіе „Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte“ („Изъ Архива Германской морской обсерваторіи“), „Abhandlungen d. Kön. Preussischen Meteor. Instituts“ („Труды Королев. Прусскаго Института“), „The Professional Papers“ (Профессиональные Документы“, нынѣ не издающіеся) и „Annual Reports of the United States Weather Bureau“ („Годовые отчеты Бюро погоды въ С. А. Ш.“), „Annales de la Oficina Meteorologica Argentina“ („Анналы метеорологическаго учрежденія въ Аргентинѣ“) и русскій „Repertorium für Meteorologie“ (Метеорологическій Сборникъ“), называемый иногда „Wild's Repertorium“ — вотъ главные образцы такого рода изданій. Русскій „Repertorium für Meteorologie“ превосходитъ всѣ другія изданія подобнаго рода, если принять во вниманіе множество даваемыхъ свѣдѣній и разнообразіе затрогиваемыхъ темъ.

Ежемесячные отчеты о состояніи погоды.

Обыкновенно метеорологическія изданія выпускаются ежегодно, но въ учрежденіяхъ слѣдящихъ за состояніемъ погоды, ощущается потребность въ болѣе частыхъ публикаціяхъ.

Непосредственное приложеніе наблюдений для предсказанія погоды, возрастающій спросъ публики на свѣдѣнія, касающіяся текущей погоды, для практическихъ соображеній, изуче-

ніе штормовъ, слѣдующихъ въ крайне малые промежутки времени, потребность въ болѣе основательномъ и скоромъ изученіи быстрыхъ и характерныхъ перемѣнъ погоды, и нетерпѣніе заинтересованныхъ метеорологическими выводами абонентовъ, которые должны ждать около 2-хъ лѣтъ или болѣе того, послѣ произведенныхъ записей, пока получатъ эти записи въ видѣ годовыхъ таблицъ, — вотъ тѣ обстоятельства, въ силу которыхъ метеорологическія изданія должны слѣдовать другъ за другомъ возможно чаще и скорѣе; мѣсячные сроки найдены наиболѣе удобными. Дѣло немаловажное установить программу изданій составляющихъ дополненіе къ обычному ежегодному своду наблюдений. — „Мѣсячный Обзоръ Погоды“ („Monthly Weather Review“) въ Соед. Штатахъ главнаго отдѣленія въ Вашингтонѣ (основ. въ 1872 г.) былъ ¹⁾ первымъ изданіемъ новаго типа, охватывающимъ большую территорію; такой видъ этому изданію былъ приданъ, насколько мнѣ извѣстно, профессоромъ Клевлендомъ Аббе (Cleveland Abbe), дальнѣйшее же развитіе произошло подъ руководствомъ лейтенанта Денвуди (Dunwoody). Этотъ новый порядокъ веденія изданій послужилъ образцомъ при введеніи такого же въ Европѣ; но американскій оказался все же лучшимъ, такъ какъ даетъ гораздо большее количество матеріала. Такъ, на примѣръ, въ Августѣ 1891 г., сведены мѣсячные отчеты, составляемые 2575-ью казенными и вольными наблюдателями, и касающіеся не только Соед. Штатовъ, но и Канады, и нѣкоторыхъ частей Атлантическаго Океана. — Наблюденіями надъ температурой и количествомъ осадковъ въ С. Шт. заняты около 2,000 станцій, а наблюденіемъ всѣхъ вообще метеорологическихъ явленій около 160 ст.

Особенность „Обзора Погоды (Weather Review“) составляютъ статьи о явленіяхъ, происходящихъ на большихъ высотахъ, а также о низкомъ давленіи и барометрическихъ минимумахъ, наблюдаемыхъ въ Соед. Штатахъ и прилежащей части Атлантическаго Океана. Карты, показывающія послѣдовательно ежемѣсячный ходъ буръ и распределеніе

¹⁾ Мѣсячные отчеты прежде издавались на простыхъ станціяхъ для небольшихъ территорій.

давления, температуры, количества осадковъ и направленія вѣтровъ, имѣютъ громадное значеніе, научное и практическое.

Мѣсячные отчеты Deutsche Seewarte, въ Гамбургѣ, есть наиболѣе цѣнное изъ изданій такого рода въ Европѣ. Изданіе это начато д-ромъ Кёппеномъ, потомъ перешло въ руки д-ра ванъ-Бebbера (van Bebbber), на попеченіи котораго находится и до сихъ поръ. Вначалѣ эти отчеты стояли со всѣмъ особнякомъ среди другихъ изданій Старого Свѣта; но послѣдовательное введеніе ежемѣсячнаго опубликованія характерныхъ особенностей мѣстной погоды во многихъ другихъ метеорологическихъ учрежденіяхъ побудило директора Seewarte Неймайера (Neumaier) придать „Обозрѣнію“ болѣе общій характеръ. Такъ теперь тамъ помѣщаются ежемѣсячныя описанія буръ и погоды въ сѣверной части Атлантическ. Океана и въ Европѣ. Обозрѣнія за два мѣсяца охватываютъ весь раіонъ отъ западнаго берега сѣверной Америки до восточной границы Европы. Нѣтъ необходимости говорить объ изданіяхъ, состоящихъ изъ однихъ таблицъ.

Сочиненія по общей метеорологіи.

Монографіи появившіяся послѣ 1860 г., имѣли первоначально видъ учебниковъ; это продолжалось, пока не было издано Бланфордомъ (Blanford) его „Indian Meteorologist's Vade-Mecum“ въ 1876—77 г. Это—первое руководство, которое было проникнуто идеями новой школы динамической метеорологіи.—Благодаря своему появленію въ Индіи, книга эта, не смотря на свои достоинства, не получила широкаго распространенія; она къ тому же не содержитъ матеріала, могущаго быть примѣненнымъ въ Индіи; однако въ теченіе многихъ лѣтъ это былъ несомнѣнно наилучшій трактатъ по современной метеорологіи. Книга Бланфорда послужила образцомъ для позднѣйшихъ компиляцій, появившихся нѣсколько лѣтъ спустя.

Гораздо позже вышла въ свѣтъ „Klimatologie“ Hann's („Климатологія“ Ханна), въ 1883 г. Этотъ превосходный трудъ разсматриваетъ климатологическія явленія вообще, а также даетъ очерки климатовъ разныхъ частей земного шара

въ частности и разъясняетъ причины существующихъ различій. Къ нему приложено нѣсколько таблицъ, такъ какъ цѣль автора была изложить ученіе о климатахъ въ формѣ, доступной для средняго читателя. Книга эта представляетъ собою результатъ изученія климатологическихъ таблицъ, собиравшихся въ продолженіе около 20 лѣтъ въ „Österreich. Zeitschr. für Meteorol.“.

Послѣ этой книги появился въ Германіи „Учебникъ Метеорологіи“ Шпрунга (1885 г.), въ которомъ авторъ стремится объяснить наблюдаемыя комбинаціи явленій при помощи физико-механическихъ законовъ. Въ приложеніи онъ разсматриваетъ вопросъ о регистраціи метеорологическихъ явленій, причемъ высказываетъ личные теоретическіе взгляды, не вдаваясь въ описаніе общеупотребительныхъ приборовъ. Въ началѣ Шпрунгъ излагаетъ принципы механики и физики, которые принимаются за основаніе при дальнѣйшемъ развитіи теорій, касающихся статистики и динамики атмосферы. Здѣсь онъ сдѣлалъ единственную въ своемъ родѣ попытку свести въ одно цѣлое разныя теоріи атмосферныхъ движеній, изложеніе которыхъ составляетъ предметъ нашихъ дальнѣйшихъ главъ. Въ этой сводкѣ заключается главная заслуга автора; впрочемъ и о другихъ предметахъ, какъ-то о солнечной радіаціи, о суточномъ ходѣ и измѣняемости метеорологическихъ элементовъ сообщаются самыя новыя взгляды. Книга эта приспособлена для университетскаго преподаванія, какъ пособіе при спеціальному изученіи метеорологіи, но она мало понятна для случайнаго читателя.

Въ 1884 г. ванъ-Бebbеръ (van Bebbber) изъ Deutsche Seewarte напечаталъ первую часть своей книги „Witterungskunde“. Ученіе о погодѣ, которая вмѣстѣ со 2-ю частью, изданной два года спустя, представляетъ общее изложеніе всего сдѣланнаго съ самыхъ древнихъ временъ по разысканію причинъ измѣненія погоды. Различные вопросы, касающіеся предсказаній погоды, начиная съ народныхъ примѣтъ и кончая новѣйшей системой синоптическихъ картъ и передачей предсказаній погоды по телеграфу на разстояніи въ 1,000 миль,—все это разобрано въ этой книгѣ съ научной и исторической точекъ зрѣнія. Сочиненіе это имѣетъ гро-

мадное значеніе не только для занимающихся метеорологіей, которые найдут тамъ весьма полное собраніе свѣдѣній по своей специальности, но, благодаря полнотѣ матеріала, авторъ можетъ возбудить интересъ къ своей книгѣ и въ болѣе обширномъ кругѣ читателей.

Полвившаяся вслѣдъ за тѣмъ книга Ферреля „Новѣйшіе успѣхи метеорологіи“ (Ferrel's „Recent Advances in Meteorology“ въ 1885 г.) отличается отъ вышеупомянутыхъ сочиненій тѣмъ, что она была издана на средства Правительства Соед. Шт.; ея нельзя было получить въ продажѣ, и распространеніе ея зависѣло не отъ ея важности, а отъ произвола директора Сигнальнаго Бюро (Signal Service) въ Вашингтонѣ; только немногія лица, кромѣ обмѣнивавшихся публикаціями съ этимъ департаментомъ, могли получить эту книгу.

Сочиненіе Ферреля предназначалось для специалистовъ, и хотя нѣкоторые отдѣлы могутъ быть поняты неподготовленнымъ читателемъ, но въ цѣломъ оно представляетъ значительныя трудности; оттого недоступность этого источника не такъ непріятна, какъ въ томъ случаѣ, еслибы онъ давалъ болѣе популярное изложеніе предмета. Главное его достоинство заключается въ томъ, что здѣсь даны въ одномъ томѣ средняго объема и въ связномъ изложеніи важнѣйшіе результаты 30-тилѣтнихъ трудовъ автора на метеорологическомъ поприщѣ. Въ большинствѣ американскихъ изданій по метеорологіи былъ слабъ отдѣлъ инструментальный, и большинство описаній новѣйшихъ изобрѣтеній и усовершенствованій было разбѣяно по различнымъ трудамъ съѣздовъ и обществъ, журналамъ и отчетамъ. Потребность въ одной книгѣ, которая представляла бы собраніе этихъ данныхъ, въ значительной мѣрѣ была удовлетворена Аббе въ его „Трактатѣ о метеорологическихъ приборахъ и методахъ“ (Abbe's „Treatise on Meteorological Apparatus and Methods“), изданномъ въ Вашингтонѣ въ 1889 г. на средства правительства Соед. Штатовъ. Трудъ этотъ представляетъ не только историческій очеркъ, но и современное состояніе дѣла. Авторъ обратилъ особое вниманіе на теорію главныхъ приборовъ, и мы находимъ у него описаніе почти каждаго такого прибора, употребляемаго при изслѣдованіяхъ. Многочисленныя иллюстраціи

придаютъ особенную цѣну этому сочиненію, представляющему предметъ во всей возможной полнотѣ. Имѣя доступъ къ большимъ бібліотекамъ, находящимся въ Вашингтонѣ, имѣя подъ рукой рукописный каталогъ метеорологической литературы, составленный Вашингтонскимъ метеорологическимъ Бюро, пользуясь частнымъ содѣйствіемъ иностранныхъ метеорологовъ, заинтересованныхъ въ скоромъ и успѣшномъ появленіи этого труда, авторъ, сравнительно, легко могъ достигнуть извѣстной полноты и совершенства своего труда, которыя при другихъ условіяхъ были бы невозможны. Хотя описанія и чертежи, имѣя данныя, могутъ до извѣстной степени интересовать всякаго любителя, однако, сочиненіе это имѣетъ значеніе преимущественно для специалистовъ.

Сочиненіе Воейкова по климатологіи („Климаты земного шара“ 1884 г.) должно быть также занесено въ этотъ списокъ, потому что мы находимъ въ немъ превосходную картину климатическихъ условій и ихъ значенія съ точки зрѣнія физической географіи. Нѣкоторые отдѣлы этой книги напоминаютъ отчасти вышеупомянутое сочиненіе Ханна (Hann), но ея главное достоинство заключается въ общемъ объясненіи климатовъ въ ихъ взаимныхъ соотношеніяхъ, а не только примѣнительно къ отдѣльнымъ мѣстностямъ; такимъ образомъ она составляетъ прекрасное дополненіе къ „Климатологіи“ Ханна.

Въ виду недоступности вышеуказаннаго сочиненія, профессоръ Феррель изложилъ въ популярной формѣ теорію атмосферныхъ движеній и сопровождающихъ ихъ явленій, давъ также тщательное сопоставленіе этихъ теорій и наблюденныхъ фактовъ. Книга эта, озаглавленная „A popular Treatise on the Wind“ (Популярное разсужденіе о вѣтрахъ“ издано въ Нью-Йоркѣ въ 1889 г.) не легко читается, однако высшая математика настолько исключена, что для ея пониманія необходимы лишь элементарныя знанія по алгебрѣ и тригонометріи. Книга эта представляетъ полное изложеніе предмета.

Бланфордъ (Blandford) представилъ въ своей книгѣ о климатахъ и погодѣ Индіи („Climates and Weather of India“. London 1889) результаты своихъ многолѣтнихъ трудовъ въ Индіи. Эта книга по своему мѣстному содержанію имѣетъ,

конечно, болѣе интереса для Англичанъ. чѣмъ для другихъ націй; однако многіе метеорологи, не имѣвшіе случая познакомиться съ метеорологическими явленіями Индіи на мѣстѣ, приняли благосклонно это сочиненіе англійскаго метеоролога, дѣлавшаго свои наблюденія въ странѣ, столь разнообразной въ климатическомъ и топографическомъ отношеніи.

Я долженъ еще упомянуть о недавно вышедшихъ въ Вѣнѣ въ Пенковскомъ изданіи географическихъ очерковъ, нѣмецкихъ мемуарахъ озаглавленныхъ: „Давленіе воздуха въ средней Европѣ“ Ханна, „Колебанія климата“ Брикнера и „Снѣговой покровъ“ Воейкова.

Вотъ списокъ новѣйшихъ популярныхъ сочиненій по метеорологіи:

Marie Davy's „*Meteorologie générale*“ (Paris, 1877.) („Общая Метеорологія“ Мари Деви); Mohn's „*Grundzüge der Meteorologie*“ (Berlin, 1883), („Основы Метеорологіи“ Мона); Scott's „*Elementary Meteorology*“ (London, 1890). („Элементарная метеорологія“ Скотта); van Bebbber's „*Lehrbuch der Meteorologie*“ (Stutthardt, 1890), („Учебникъ Метеорологіи“ Биббера); сочиненія Аберкромби (Abercromby): „О погодѣ“ („*on Weather*“) и „Море и небо въ различныхъ странахъ“ („*Seas and Skies at Many Lands*“, London, 1888), и „Погода Америки“ („*American Weather*“) Грили (Greely, New York, 1888); на тему о предсказаніи погоды маленькая книжка Биббера „*Wettervorhersage*“ („Предсказаніе погоды“, Штутгартъ, 1891); старая книга Скотта „*Weather Charts and Storm Warnings*“ („Карты погоды и предупрежденія о буряхъ“, Лондонъ, 1887 г.) дасть точныя данныя. Слѣдуетъ еще упомянуть объ „Метеорологическомъ Атласѣ“ Ханна (Hann's „*Atlas der Meteorologie*“), который составляетъ часть послѣдняго изданія „физическаго атласа“ Бергауза (Berghaus „*Physikalischer Atlas*“). Атласъ этотъ состоитъ изъ многочисленныхъ картъ, неопѣнныхъ для изучающихъ метеорологію

Существуетъ еще одна тема, которая должна быть разработана, именно, приведеніе и обработка метеорологическихъ данныхъ. Есть много вполне законченныхъ мемуаровъ по метеорологіи, которые могутъ служить руководствомъ

для правильнаго веденія специальныхъ наблюденій, какъ, напр.: обширные труды Вильда о температурѣ и осадкахъ въ Россіи; и если изслѣдователь желаетъ дѣлать точныя и подробныя наблюденія, а также имѣетъ достаточно свободнаго времени, то онъ можетъ найти въ нихъ основательное руководство для своихъ занятій.

Теперь вездѣ существуютъ тысячи наблюдателей, которые добровольно занимаются регулярными наблюденіями, сводятъ ихъ въ среднія величины и вмѣстѣ съ наблюденіями передаютъ эти послѣднія въ центральныя обсерваторіи; послѣднія публикуютъ выводы, но подробныя наблюденія сдаютъ въ архивы, гдѣ онѣ лежатъ подъ спудомъ безъ употребленія.

Истинное умѣніе наблюдать и изслѣдовать составляетъ удѣлъ немногихъ; соединенную опытность такихъ наблюдателей стоило бы сдѣлать предметомъ отдѣльной книги, доступной для каждаго наблюдателя, желающаго вести собственные занятія болѣе систематически. Такая монографія была бы несомнѣнно желательна ради пополненія подробныхъ метеорологическихъ обзорѣній во всѣхъ цивилизованныхъ странахъ, она бы увеличила во сто разъ рабочія силы климатологовъ.

Періодическая литература.

Обыкновенно судятъ по періодической литературѣ предмета о развитіи его; и потому этотъ отдѣлъ литературы требуетъ болѣе чѣмъ мимолетнаго вниманія. Современная наука нуждается въ удобныхъ путяхъ для обмѣна идей между специалистами не только одной и той же страны, но и различныхъ частей свѣта. Но молодая отрасль знанія не можетъ обзавестись своимъ специальнымъ журналомъ, пока ея развитіе не позволитъ преуспѣвать далѣе самостоятельно, а не подъ крыломъ науки — матери. Метеорологія имѣетъ много общаго съ астрономіей и общей физикой, поэтому-то первыя сочиненія по метеорологіи помѣщались въ большинствѣ случаевъ въ изданіяхъ, номинально предназначенныхъ для двухъ вышеозначенныхъ отраслей знанія. Было сдѣлано нѣсколько попытокъ основать специальные журналы раньше того

періода, который я описываю, но недостаток поддержки дѣлалъ ихъ существованіе кратковременнымъ; единственное исключеніе представляетъ „*Annuaire de la Société Météorologique de France*“ („Ежегодникъ французскаго метеорологическаго общества“), первый годъ изданія котораго — 1849 г. Задача этого журнала — давать отчеты объ изслѣдованіяхъ, докладываемыхъ на мѣстныхъ собраніяхъ французскаго общества, и возбуждать интересъ къ нимъ, а также сообщать данныя о состояніи метеорологіи во Франціи. Этотъ журналъ интересенъ главнымъ образомъ потому, что показываетъ, насколько дѣятельны французскіе метеорологи. Я думаю, что мѣстный характеръ былъ причиной того, что это ежемѣсячное изданіе не имѣло того вліянія на ходъ развитія метеорологіи вообще, какого можно было бы ожидать.

Въ 1866 г. сталъ издаваться „*Oesterreichische Zeitschrift für Meteorologie*“ („Австрійскій метеорологическій журналъ“); такъ какъ общество, которое завѣдывало этимъ изданіемъ, имѣетъ только годовыя собранія, то можно представить себѣ, что изданіе это имѣетъ мало сходства съ только что упомянутымъ французскимъ журналомъ. Австрійскій журналъ велъ самостоятельное существованіе въ теченіе 20 лѣтъ, послѣ чего былъ присоединенъ (въ 1886 году) къ вновь основанному (1884) нѣмецкому „*Deutsche Meteorologische Zeitschrift*“ подъ соединеннымъ завѣдываніемъ Австрійскаго и Германскаго обществъ. Редакторами этого наиболѣе вліятельнаго изъ всѣхъ существующихъ метеорологическихъ журналовъ состоятъ профессоръ Ханнъ въ Вѣнѣ и Гельманъ въ Берлинѣ (послѣдній недавно замѣстилъ собою д-ра Кёппена въ Гамбургѣ), австрійскій и германскій метеорологи, пользующіеся міровой извѣстностью. Благодаря замѣчательно искусной редакціи на страницахъ этого журнала не могъ попадать плохой матеріалъ; но все же многія статьи, помѣщенные тамъ, особенно въ первыхъ томахъ, не представляются важными съ точки зрѣнія современной намъ метеорологіи. Въ началѣ д-ръ Ханнъ велъ изданіе сообща съ Елинекомъ (Jelinek) и тогда уже опредѣлился характеръ и направленіе журнала. Когда Ханнъ принялъ на себя всецѣло редакцію журнала, то въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ наиболѣе быстрого развитія метеорологіи

всѣ перемѣны, по нашему мнѣнію, заключались въ улучшеніи того, что и прежде было хорошо. Выходя сначала два раза въ мѣсяцъ, позднѣе ежемѣсячно, этотъ журналъ представляетъ готовое мѣсто для опубликованія безъ замедленій (столь обычныхъ для официальныхъ изданій) оригинальныхъ статей часто значительнаго объема, доставленныхъ метеорологами всего свѣта. Какъ бы въ видѣ приложенія къ цѣннымъ оригинальнымъ передовымъ статьямъ здѣсь даются обзорѣнія и извѣстія о главнѣйшихъ метеорологическихъ изданіяхъ и предпріятіяхъ. Много интересныхъ темъ затрогивается также въ такъ называемыхъ „*Referate*“, т.-е. редакціонномъ обзорѣніи, гдѣ разборъ нѣкоторыхъ важныхъ метеорологическихъ новостей даетъ поводъ изложить наиболѣе цѣнныя идеи, высказывавшіяся прежде по данному предмету, и сопровождается собственными соображеніями рецензента, уясняющими дѣло. Такой способъ обзорѣнія требуетъ, конечно, массу времени, и удивительно, какъ дир. Ханнъ много дѣлаетъ въ этомъ отдѣлѣ самъ, при всѣхъ другихъ обязанностяхъ, принятыхъ имъ на себя, какъ, напр.: собраніе массы климатологическихъ данныхъ, составленіе таблицъ среднихъ величинъ элементовъ прилагаемыхъ почти при каждомъ номерѣ журнала, для одной или нѣсколькихъ интересныхъ станцій, а также сводка результатовъ, полученныхъ послѣ нѣсколькихъ лѣтъ наблюденій на нѣкоторыхъ такъ называемыхъ нормальныхъ станціяхъ. Эти таблицы являются прекраснымъ подспорьемъ для самостоятельныхъ изысканій, предпринимаемыхъ метеорологами; и изслѣдователи климата различныхъ частей свѣта не могутъ обойтись безъ этого журнала. Мы находимъ на его страницахъ почти полную картину успѣховъ метеорологіи за послѣднія 25 лѣтъ, въ теченіе которыхъ метеорологія перешла изъ состоянія подчиненной отрасли знанія въ число самостоятельныхъ наукъ. Изъ всѣхъ метеорологическихъ изданій это носитъ наиболѣе международный характеръ и имѣетъ обширный кругъ читателей, а потому его столбцы наполняются авторами разныхъ національностей и разныхъ частей свѣта, которые при помощи его распространяютъ свои взгляды. Только въ статьяхъ о приборахъ и аппаратахъ въ описа-

ніяхъ не дано достаточно подробностей для яснаго представ-
ленія о предметѣ.

Въ 1884 г. Германія обогатилась популярнымъ метеоро-
логическимъ журналомъ, издаваемымъ подъ названіемъ „*Das
Wetter*“ („Погода“) д-ромъ Ассманомъ.

Великобританія даетъ три такихъ журнала, выходящихъ
4 раза въ годъ: „*The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*“ (Журналъ Королевскаго Метеорологическаго Общества) „*The Quarterly Journal of the Scottish Meteorological Society*“ (Журналъ Шотландскаго метеорологическаго Общества) и „*Symon's Meteorological Magazine*“ („Метеорологическія обозрѣнія Симона“). Первые два содержатъ статьи членовъ соотвѣствующихъ обществъ, похожія на передовыя статьи въ Австро-Германскомъ журналѣ. Журналъ Симона пользуется большей популярностью; содержаніе его имѣетъ нѣкоторое сходство съ Германскимъ „*Das Wetter*“.

„*The American Meteorological Journal*“ („Американскій метеорологическій журналъ“), ежемѣсячное изданіе, основанное въ 1884 г., много способствовало успѣхамъ метеорологіи въ Соед. Штатахъ. Журналъ этотъ представляетъ частное пред-
пріятіе профессора Гаррингтона (M. W. Harrington) изъ Мичигана.

Итальянскіе метеорологи также имѣютъ специальный жур-
наль по метеорологіи, носящій названіе: „*Bollettino Mensuale
Moncalieri*“ (Ежемѣсячный бюллетень Монкальери); онъ былъ
основанъ въ 1880 г.

§ III. Международная метеорологія.

При быстромъ увеличеніи активнаго интереса къ метеоро-
логіи въ разныхъ странахъ и вытекающемъ изъ этого замѣт-
номъ ростѣ количества публикуемыхъ метеорологическихъ дан-
ныхъ, часто начала высказываться мысль, что большее одно-
образіе методовъ обработки матеріала, примѣняемыхъ въ
различныхъ странахъ, не только желательно, но и необхо-
димо для соотвѣстнаго пользованія этимъ матеріаломъ.
Рѣшительный шагъ въ такомъ направленіи былъ сдѣланъ
весною 1872 г., когда вышелъ циркуляръ отъ лица Брунса

(Bruhns) въ Лейпцигѣ, Вильда въ Петербургѣ и Ханна
(Hann) въ Вѣнѣ съ обращеніемъ къ тѣмъ, кто практически
заинтересованъ метеорологіей, и съ увѣдомленіемъ, что въ
августѣ 1872 г. назначается въ Лейпцигѣ конференція
съ цѣлью обсужденія нуждъ международной метеорологіи.
Для того, чтобы что-нибудь могло выйти изъ этого соб-
ранія былъ предложенъ перечень вопросовъ (36), подлежа-
вшихъ обсужденію. Пятьдесятъ два лица отозвались на это
воззваніе, и конференція состоялась 14 авг. 1872 г. въ Лей-
пцигѣ. Отчетъ о дѣйствіяхъ этого собранія чрезвычайно инте-
ресенъ и свидѣтельствуетъ о большомъ разногласіи во мнѣ-
ніяхъ о собираніи метеорологическихъ данныхъ, какъ отно-
сительно методовъ наблюденій, такъ и способа обработки пос-
лѣднихъ. Достойны замѣчанія два постановленія конферен-
ціи: 1) о желательности однообразнаго изданія въ каждой
странѣ троекратныхъ ежедневныхъ наблюденій на избран-
ныхъ станціяхъ, при чемъ наилучшей формой была признана
практикуемая въ Россіи. 2) Было найдено необходи-
мымъ существованіе систематическихъ телеграфныхъ сообще-
ній о погодѣ. Лейпцигскій съѣздъ метеорологовъ подготовилъ
почву для международнаго конгресса, состоявшагося въ Вѣнѣ
въ 1873 г. 2 сентября.

За исключеніемъ Франціи, всѣ главныя государства Ев-
ропы, а также Соед. Штаты и Китай прислали своихъ пред-
ставителей въ Вѣну; официальное положеніе и научныя за-
слуги ихъ свидѣтельствуютъ о важности конгресса, который
долженъ былъ сдѣлать новую эру въ исторіи развитія метеоро-
логіи. Изъ принятыхъ на этомъ конгрессѣ рѣшеній, наи-
болѣе важны слѣдующія:

Учрежденіе постоянного метеорологическаго комитета, и
предложенное делегатомъ отъ Соед. Шт. установленіе ежед-
невныхъ одновременныхъ наблюденій разъ въ день на всемъ
сѣверномъ полушаріи въ наивозможно близкихъ разстояніяхъ
одно отъ другого. Многіе вопросы большой важности были
переданы на разсмотрѣніе Постояннаго Комитета. Отчеты под-
комиссій и обсужденіе вопросовъ объ аппаратахъ и методахъ
представляютъ наиболѣе цѣнный вкладъ въ то время
научности аппаратовъ и методовъ, употреблявшихся въ то время.

Собрания членовъ Постояннаго Комитета состоялись въ 1874 г., въ Лондонѣ въ 1876 г. и въ Утрехтѣ въ 1878 г., а въ 1874 была созвана конференція по вопросамъ морской метеорологіи въ Лондонѣ при посредствѣ особой коммисіи, избранной Постояннымъ Комитетомъ. На этихъ собраніяхъ затрогивались многія темы, касающіяся современнаго состоянія и предполагаемыхъ улучшеній метеорологическихъ методовъ. Обиліе накопившагося матерьяла, требовавшаго немедленнаго разсмотрѣнія, побудило къ созванію второго международнаго метеорологическаго Конгресса въ Римѣ 1879 г. Здѣсь были пересмотрѣны работы Постояннаго Комитета съ 1873 г.; значеніе перемѣнъ, являющихся прямымъ и косвеннымъ результатомъ Вѣнскаго Конгресса 1873 г., было еще разъ внимательно обсуждено, также какъ и другіе вопросы первостепенной важности. Отличительной чертой этого конгресса служатъ многочисленные доклады, которые были представлены по просьбѣ Комитета лицами, компетентными по разнымъ отдѣламъ науки.

Постоянному Комитету была теперь дана болѣе прочная организація, такъ какъ было назначено девять членовъ, по одному отъ каждой страны, и этотъ Комитетъ съ тѣхъ поръ получилъ названіе „Международнаго Метеорологическаго Комитета“. Его собранія имѣли мѣсто въ Римѣ апрѣля 22 1879 г., затѣмъ въ Берлинѣ — августъ 1880 г., Копенгагенѣ — августъ 1882, Парижѣ — сентябрь 1885 и Цюрихѣ — сентябрь 1888 г.

На собраніи своемъ въ Цюрихѣ Межд. Мет. Комитетъ самъ прекратилъ свое дальнѣйшее существованіе. Такое постановленіе было вызвано тѣмъ обстоятельствомъ, что старанія комитета о созывѣ новаго метеор. конгресса съ такимъ же officialнымъ характеромъ, какъ и прежніе, не увѣнчались успѣхомъ, въ виду чего Комитетъ счелъ свою задачу оконченною. Въмѣстѣ съ тѣмъ предсѣдатель комитета Вильдъ изъ Петербурга и секретарь Скоттъ изъ Лондона были уполномочены принять мѣры къ созванію въ благоприятное время представителей отъ разныхъ метеорологическихъ учреждений.

Такое собраніе состоялось въ Мюнхенѣ въ 1891 г. и продолжалось отъ 26 августа до 2 сентября. Въ отвѣтъ на воз-

званіе, сдѣланное Вильдомъ и Скоттомъ, откликнулись директора различныхъ европейскихъ метеорологическихъ учреждений и выдающіеся метеорологи изъ отдѣльныхъ мѣстъ. Слѣдующія страны прислали своихъ делегатовъ: Франція, Великобританія, Германія, Россія, Финляндія, Норвегія, Швеція, Данія, Венгрія, Румынія, Нидерланды, Швейцарія, Испанія, Болгарія, Квинсландъ, Соед. Штаты и Бразилія.

Вопросы, поставленные на очередь этимъ Конгрессомъ, въ общихъ чертахъ слѣдующіе: о наилучшихъ методахъ производства наблюдений, о выборѣ абсолютныхъ эталоновъ, о способахъ вычисленій и приведеній наблюдений, о формахъ публикацій, о способѣ обработки наблюдений, о необходимыхъ улучшеніяхъ телеграфной передачи свѣдѣній о состояніи погоды, производствѣ предсказаній о погодѣ и въ особенности о полученіи метеорологическихъ телеграммъ съ крайняго запада Европы, также о методахъ веденія наблюдений надъ земнымъ магнетизмомъ и атмосфернымъ электричествомъ, о совмѣстномъ наблюденіи облаковъ, о средствахъ къ облегченію организаціи международныхъ метеорологическихъ предпріятій, объ организаціи проектированнаго международнаго метеорологическаго Бюро и наконецъ объ образованіи новаго международнаго комитета изъ 17 членовъ; этотъ послѣдній пунктъ былъ тогда же выполненъ.

Въ 1893 г. имѣлъ мѣсто экстренный международный съѣздъ метеорологовъ въ Чикаго С. Ш. (не имѣвшій однако организаціоннаго значенія); слѣдующій же Съѣздъ долженъ имѣть мѣсто въ Парижѣ черезъ пять лѣтъ.

Отчеты (на англійскомъ языкѣ) о дѣятельности метеорологическихъ съѣздовъ можно достать въ „Meteorological Office“ въ Лондонѣ за одинъ или два шиллинга экземпляръ¹⁾.

Въ октябрѣ 1879 г. одновременно съ Постояннымъ Ко-

¹⁾ Въ русской литературѣ исторію метеорологическихъ международныхъ собраній можно съ точностью прослѣдить по Отчетамъ Главной Физической Обсерваторіи, напечатаннымъ въ Запискахъ Императорской Академіи Наукъ. Конечные же результаты всѣхъ конференцій по 1891 г. изложены акад. Вильдомъ въ особой статьѣ, помѣщенной въ Запискахъ Акад. Н. и въ IV-омъ томѣ Метеор. Сборника. Отдѣльно она продается за 75 к.

митетомъ была созвана Международная Полярная Конференція въ Гамбургѣ съ цѣлью разсмотрѣть проекты объ устройствѣ временныхъ магнитно-метеорологическихъ станцій вокругъ сѣвернаго полюса.

Въ апрѣлѣ 1880 г., благодаря главнымъ образомъ дѣятельности членовъ Постояннаго Комитета, состоялась въ Вѣнѣ еще международная конференція по вопросамъ сельскохозяйственной и лѣсной метеорологіи.

Мы можемъ дать только общее понятіе о той международной пользѣ, которую принесли всѣ эти конгрессы; вотъ краткіе результаты ихъ дѣятельности: 1) раздѣленіе метеорологическихъ станцій на разряды, согласно числу и роду производимыхъ наблюдений, и установленіе формы для печатанія этихъ послѣднихъ; 2) общее признаніе метръ-стоповой и дюймъ-фаренгейтовой шкалы и установка нормальныхъ эталоновъ; 3) введеніе всевропейской системы телеграфныхъ сообщеній о состояніи погоды съ однообразной формой депешъ; 4) установленіе ежедневныхъ единовременныхъ международныхъ наблюдений, производимыхъ въ 0 часовъ 43 минуты Гринвичскаго сред. врем. (публиковавшихся Прав. Соед. Штат., но теперь прекращенныхъ); 5) устройство (1882 и 1883 гг.) международныхъ полярныхъ станцій; 6) изданіе международныхъ таблицъ для обработки метеорологическихъ наблюдений; 7) систематическая сводка и обнародованіе данныхъ по метеорологіи океановъ.

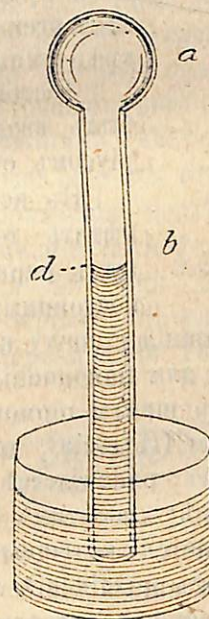
ГЛАВА II.

Аппараты и методы.

§ I. Термометры.

Исторія.

Время изобрѣтенія термометра въ точности неизвѣстно. Во второй половинѣ XVI в. въ Падуѣ Галилей употреблялъ родъ термоскопа, который состоялъ изъ стекляннаго шарика *a* съ узкой трубкой *b*. Разрѣдивъ нагрѣваніемъ воздухъ, находящійся въ стеклянномъ шарикѣ, опускали трубку свободнымъ концомъ въ открытый сосудъ *c* съ водой. По мѣрѣ охлажденія воздуха вода поднималась въ трубкѣ до нѣкоторой высоты, а при нагрѣваніи опускалась и, слѣдовательно, уровень воды въ трубкѣ колебался, сообразно съ измѣненіемъ температуры воздуха, заключеннаго въ шарикѣ. Употребленіе этого примитивнаго прибора связано съ нѣкоторыми погрѣшностями вследствие колебаній атмосфернаго давленія; но, какъ бы то ни было, принципъ современнаго термометра былъ найденъ, и для дальнѣйшаго его усовершенствованія уже не нуженъ былъ гений Галилея.

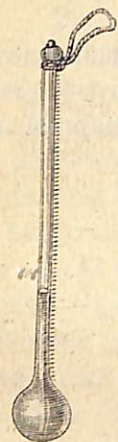


Фиг. 1.

Въ точности не извѣстно также, кто сдѣлалъ слѣдующій шагъ; Аббе приписываетъ его опять таки Галилею. Въ настоящее время мы можемъ признать, согласно съ Гельманомъ, что французскій физикъ Жанъ Рей (Jean Rey) около 1631 г. постигъ идею переворачиванія Галилеевой термометрической трубки, наполненія ее жид-

костью и наблюдёнія за расширеніемъ этой жидкости. Одновременно съ этимъ, около 1641 г., Великій Герцогъ Фердинандъ II началъ употреблять алкоголь въ качествѣ термометрической жидкости и запаивать открытый конецъ трубки для устраненія воздуха.

Члены Академіи del Cimento, большинство которыхъ были учениками Галилея, пользовались термометрами различныхъ видовъ; наиболѣе употребительный изъ нихъ былъ извѣстенъ подъ названіемъ „малый Флорентинскій термометръ“. Этотъ приборъ, изображенный на рис. 2, имѣлъ постоянную шкалу, на которой точка замерзанія соленой воды обозначалась нулемъ, а 13·5 была точка замерзанія чистой воды. Градусы были произвольной величины и отмѣчались кусочками стекла, величиной съ булавочную головку, прикрѣпленными къ стеклянной трубкѣ термометра.



Фиг. 2.

Достойно замѣчанія, что Галилеевъ термометръ былъ введенъ въ медицинскую практику Санктусомъ еще раньше 1624 года.

Въ исторіи ртутнаго термометра слѣдуетъ отмѣтить тотъ фактъ, что Фаренгейтъ (Fahrenheit) былъ первый, сознавшій необходимость имѣть двѣ постоянныя точки и, принявшій за таковыя точку замерзанія и точку кипѣнія воды; онъ же первый примѣнилъ ртуть для наполненія термометра. Нѣтъ необходимости описывать шкалы термометровъ Фаренгейта, Реомюра и стоградусную (Цельсія), такъ какъ описаніе ихъ можно найти въ любомъ руководствѣ по физикѣ и въ энциклопедическомъ словарѣ; замѣтимъ только, что стоградусная шкала употребляется метеорологами всѣхъ странъ, кромѣ тѣхъ, гдѣ принять англійскій языкъ; въ послѣднихъ шкала Фаренгейта такъ прочно утвердилась, что международные конгрессы метеорологовъ вынуждены были допустить публикацію наблюдёній надъ температурою по обѣимъ шкаламъ. Предпочтеніе, оказываемое англичанами Фаренгейтовой шкалѣ предъ Цельсевой, можно объяснить только привычкою.

Говоря о настоящемъ состояніи термометріи, поскольку она находитъ себѣ примѣненіе въ метеорологіи, мы только

вкратцѣ остановимся надъ вопросомъ о конструкціи термометровъ и объ устраненіи ихъ неправильностей; въ лабораторіяхъ нынѣ принимаются во вниманіе ошибки въ сотыя и тысячныя доли градуса; но, при измѣреніи температуры воздуха помощью термометровъ, различно установленныхъ, на практикѣ считается возможной разниа въ показаніяхъ на цѣлый градусъ.

Нормальные термометры.

Физикою доказано, что на основаніи измѣненія объема и давленія совершеннаго газа можно построить абсолютную шкалу для измѣренія температуры. Но такъ какъ мы не имѣемъ въ своемъ распоряженіи совершеннаго газа, то сэръ Вильямъ Томсонъ (Лордъ Кельвинъ) предложилъ условиться считать за абсолютную такую шкалу, на которой нуль соответствуетъ $-273^{\circ}7$ по шкалѣ Цельсія, а точка кипѣнія воды $= 373^{\circ}7$. Эта шкала согласуется съ показаніями дѣйствительнаго газового термометра въ двухъ вышеозначенныхъ точкахъ, но промежуточные и внѣпредѣльные показанія послѣдняго нуждаются въ поправкѣ для приведенія къ абсолютной шкалѣ. Слѣдующая таблица показываетъ, какія поправки должны быть примѣнены для газовыхъ термометровъ сравнительно съ абсолютной шкалой. Всѣ серіи, кромѣ первой серіи Томсона, отнесены къ постоянному объему.

Абсолютная Шкала.	Стоградусная Шкала.	Воздушный термометръ Томсона.		Воздушн. термометръ Вейнштейна.	Углекислота.
		Постоянное давленіе.	Постоянный объёмъ.		
		°C.	°C.	°C.	°C.
$273^{\circ}7 +$	0°	$0^{\circ}00$	$0^{\circ}00$	$0^{\circ}00$	$0^{\circ}00$
$+ 20^{\circ}$	20°	$-0^{\circ}40$	$-0^{\circ}30$	$-0^{\circ}13$	$-0^{\circ}34$
$+ 40^{\circ}$	40°	$-0^{\circ}48$	$-0^{\circ}40$	$-0^{\circ}18$	$-0^{\circ}51$
$+ 60^{\circ}$	60°	$-0^{\circ}47$	$-0^{\circ}37$	$-0^{\circ}18$	$-0^{\circ}50$
$+ 80^{\circ}$	80°	$-0^{\circ}28$	$-0^{\circ}22$	$-0^{\circ}12$	$-0^{\circ}32$
$+ 100^{\circ}$	100°	$0^{\circ}00$	$0^{\circ}00$	$0^{\circ}00$	$0^{\circ}00$

По многимъ причинамъ практическаго свойства необходимо бываетъ пользоваться ртутными термометрами, а потому

нужно знать, въ какомъ отношеніи находятся ихъ показанія къ показаніямъ газоваго термометра. Недавно произведенное въ Международномъ Бюро Мѣръ и Вѣсовъ въ Севрѣ сравненіе нормальныхъ ртутныхъ термометровъ съ газовыми показало, что слѣдующія поправки должны быть приданы къ показаніямъ первыхъ, чтобы сдѣлать ихъ одинаковыми съ показаніями послѣднихъ:

Поправки для приведенія показаній термометровъ Тоннело (Tonnello, Paris) изъ твердаго стекла къ термометрамъ.

Водородному.		Азотному.		Съ углекислотою.	
При темп. °C.	Поправка.	При темп. °C.	Поправка.	При темп. °C.	Поправка.
— 25° C.	+ .233° C.	— 25° C.	+ .216° C.	— 19° C.	+ .094° C.
— 20	+ .172	— 20	+ .159	— 15	+ .069
— 15	+ .119	— 15	+ .109	— 10	+ .041
— 10	+ .073	— 10	+ .067	— 5	+ .019
— 5	+ .034	— 5	+ .030	0	.000
0	.000	00	.000	20	— .042
20	— .085	20	— .075	40	— .048
40	— .107	40	— .097	60	— .037
60	— .090	60	— .035	80	— .019
80	— .050	80	— .052	100	.000
100	.000	100	.000		

Съ 1893 г. Вильдъ началъ приводить всѣ поправки термометровъ въ Россіи къ шкалѣ водороднаго термометра, какъ международной шкалѣ температуръ.

СРАВНЕНІЕ НОРМАЛЬНЫХЪ ТЕРМОМЕТРОВЪ.

Хотя абсолютная шкала въ концѣ концовъ, конечно, будетъ принята за норму, однако на практикѣ примѣняютъ газовый термометръ, принятый Международнымъ Бюро мѣръ и вѣсовъ въ Севрѣ. Постепенное распространеніе превосходныхъ, тщательно провѣренныхъ нормальныхъ термометровъ изъ Севра по всему свѣту ведетъ несомнѣнно къ однообразію термометрическихъ работъ всего свѣта. На рис. 3-мъ представлено собраніе такихъ нормальныхъ термометровъ. Заимствуемъ у Аббе краткія свѣдѣнія о тѣхъ инструментахъ, которые онъ могъ видѣть въ Вашингтонѣ. Воздушный термо-

метръ въ Signal Service въ Вашингтонѣ показываетъ на 0° .01 C. ниже чѣмъ воздушный термометръ Роуланда (Rowland) въ Балтиморѣ. Выше 0° показанія воздушнаго термометра Signal Service тождественны съ показаніями нормального ртутнаго термометра, исправленнаго обычными поправками для приведенія его показаній къ шкалѣ воздушнаго термометра. Такимъ образомъ между +32° и —39° Фаренгейта ртутные термометры въ Кью и Signal Service согласуются между собой. При —38° Фаренгейта алкогольный термометръ Signal Service стоитъ на 0° .6 Фаренгейта ниже алкогольнаго термометра въ Кью. Равнымъ образомъ воздушный термометръ Signal Service согласуется съ водороднымъ термометромъ въ Севрѣ (1885 г.) до $\pm 0.1^\circ$ C. Вильдъ въ Главной Физической Обсерваторіи принималъ за нормальные три термометра, сдѣланные изъ тюрингенскаго стекла. Въ 1888 г. они были сравнены отъ 0° C. до 40° C. съ ртутными нормальными Тоннело изъ твердаго стекла, вывѣренными передъ тѣмъ по водородному термометру въ Севрѣ. Слѣдующая таблица показываетъ результаты сравненія.



Фиг. 3.

Поправки для петерб. нормальныхъ термометровъ.

Гейслеръ № 2-ой.			Гейслеръ № 10-ий.		Фуссъ 1-ий.	
Температура.	Тоннело.	Водородн. Севрск.	Тоннело.	Водородн. Севрск.	Тоннело.	Водородн. Севрск.
0° C.	.00° C.	0° C.	.00° C.	.00° C.	.00° C.	.00° C.
10	— .0	— .06	— .03	— .08	— .01	— .07
20	— .03	— .11	— .05	— .13	— .02	— .11
30	— .05	— .15	— .05	— .16	— .03	— .13
40	— .07	— .18	— .05	— .16	— .04	— .15

Приняты же были съ 1875 года слѣдующія поправки Гейслера № 10, отнесенныя къ шкалѣ ртутнаго термометра:

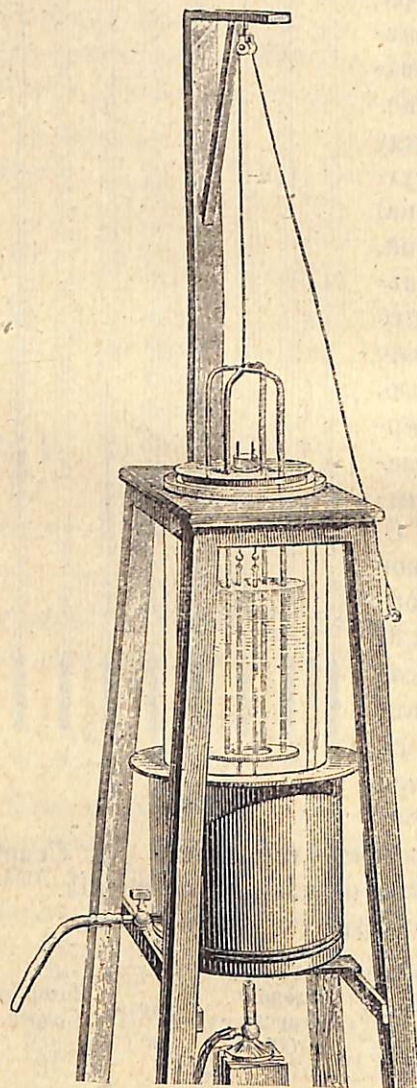
Температ. .	0° С.	10° С.	20° С.	30° С.	40° С.
Поправка. .	00	— 03	— 04	— 07	— 07

Отсюда ясно, что въ теченіе, по крайней мѣрѣ, послѣднихъ пятнадцати лѣтъ С.-Петербургская обсерваторія получала почти нормальныя термометрическія данныя.

На рис. 4-мъ показанъ методъ сравненія ртутныхъ термометровъ, который состоитъ въ томъ, что сравниваемые термометры опускаются въ сосудъ съ водой, коей температура измѣняется нагреваніемъ снизу при помощи лампочки.

Ртутные термометры.

Ртутный термометръ лучшей конструкціи состоитъ изъ тонкой стеклянной трубочки съ волоснымъ каналомъ, оканчивающейся стекляннымъ шарикомъ, наполненнымъ чистой ртутью; верхній конецъ трубки оканчивается также небольшимъ стекляннымъ резервуаромъ, называемымъ калибровочной камерой. (Рис. 5). На стержнѣ отмѣчается, во первыхъ точка кипѣнія, затѣмъ и точка за-



Фиг. 4.

мерзанія, послѣ чего для полученія 100 градуснаго термометра (только такіе подлежатъ нашему разсмотрѣнію) объемъ, заключающійся между этими двумя точками, дѣлится на сто равныхъ частей, которыя называются градусами. Соотвѣтственныя дѣленія наносятся или непосредственно на трубку, какъ въ парижскихъ термометрахъ Тоннело, или отмѣчаются на полоскѣ бѣлаго эмальированнаго стекла, которое укрѣпляется позади термометрической трубки такъ, чтобы нуль и 100° точка кипѣнія масштаба совпадала съ соотвѣтствующими точками на трубкѣ, какъ, напр., на Берлинскихъ патентованныхъ термометрахъ Фуса. Дѣленія наносятся для обыкновеннаго употребленія и внѣ данныхъ точекъ, немного выше точки кипѣнія и много ниже точки замерзанія. Нѣкоторые изъ термометровъ, изображенныхъ на рис. 3, имѣютъ каналы съ мѣстными расширеніями, чрезъ что получаютъ градусы большей длины; но для полученія полной шкалы надо имѣть нѣсколько такихъ термометровъ; градусы можно отсчитывать, пока ртуть находится въ узкой части трубочки или, наполнивъ вздутіе, минуетъ его и снова войдетъ въ узкую часть. Чтобы наполнить эти вздутія, ртуть должна нагрѣться на нѣкоторое число градусовъ, и если приходится измѣрять температуры въ предѣлахъ этихъ градусовъ, то нужно употреблять термометры съ расширеніемъ въ другой части шкалы. Такое устройство термометра позволяетъ на каждомъ инструментѣ наблюдать общепостоянныя точки, независимо отъ того, для какихъ температуръ онъ предназначенъ.

Сдѣлаемъ теперь бѣглый очеркъ ошибокъ, которыя могутъ случиться въ показаніяхъ усовершенствованныхъ термометровъ, а также способовъ устраненія этихъ ошибокъ.

1) Поправка на параллаксъ и рефракцію.

Въ термометрахъ обѣихъ конструкцій дѣленія не совпадаютъ со столбикомъ ртути въ трубкѣ, и, слѣдовательно, отсчеты должны быть въ зависимости отъ направленія луча зрѣнія. Если термометру можно дать такое положеніе, чтобы наблюдать показанія его подъ прямымъ угломъ, то этотъ источ-



Фиг. 5.

никъ ошибокъ устраняется; но такая установка термометра на практикѣ часто неосуществима и въ такомъ случаѣ остается придавать поправку на параллаксъ. При вычисленіи послѣдней нужно принять во вниманіе смѣщеніе луча, идущаго отъ вершины столбика ртути вслѣдствіе преломленія въ стѣнкѣ трубки. Иногда бываетъ возможно элиминировать рефракцію, поворачивая термометръ разъ шкалою къ наблюдателю, а другой разъ ртутью къ наблюдателю. Среднее изъ двухъ такихъ отсчетовъ даетъ наблюдение, свободное отъ погрѣшностей на рефракцію.

2) Поправка шкалы и калиброванія.

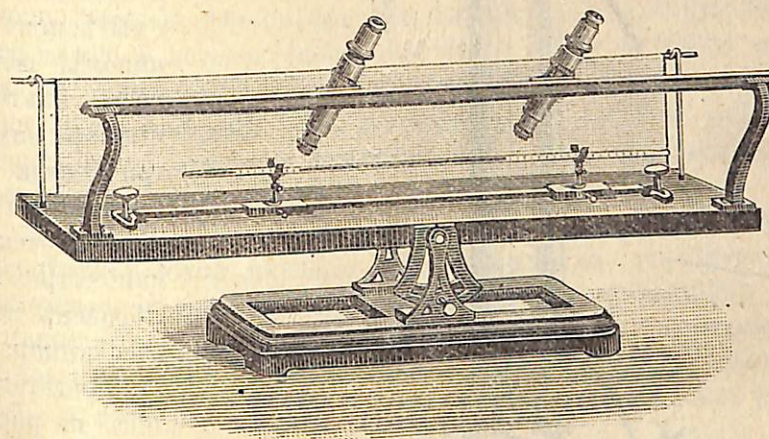
Въ термометрахъ высшаго разряда дѣленія шкалы должны быть значительно болѣе точны, чѣмъ отдѣльные отсчеты; если вкрадываются ошибки, то онѣ являются въ связи съ ошибками калиброванія, къ которымъ мы теперь перейдемъ.

Невозможно найти трубочку, которая была бы строго цилиндрична, или чтобы по крайней мѣрѣ поперечное сѣченіе канала было по всей длинѣ совершенно одинаково. Обыкновенно выбираютъ трубку, помѣщая въ ней короткій столбикъ ртути и наблюдая длину, принимаемую имъ въ различныхъ частяхъ трубки; если каналъ трубки на всемъ протяженіи одинаковъ, то и ниточка ртути будетъ вездѣ имѣть одну и ту же длину, — это дѣло мастера, изготовляющаго термометры. — Послѣ того, какъ термометръ построенъ и шкала укрѣплена, слѣдуетъ подобная же, но болѣе тонкая работа: опредѣленіе ошибокъ градуировки въ связи съ неравномерностью канала. Путемъ искусственнаго нагрѣванія или охлажденія можно заставить ртуть достигнуть желаемой высоты, предварительно отдѣливъ небольшой столбикъ ртути отъ остальной ея массы. Пусть этотъ столбикъ равняется 5° длиной. При сохраненіи постоянной температуры длина столбика ртути постоянного объема будетъ опредѣляться дѣленіями шкалы на концахъ этого столбика. Процессъ измѣренія долженъ быть повторенъ со столбикомъ въ 10° , 15° , . . . 95° длины для того, чтобы получить большую точность и, кромѣ того, избѣгнуть накопленія ошибокъ при складываніи небольшихъ отрѣзковъ.

Для удобства и большей точности при отчетахъ термо-

метръ помѣщается на особомъ стативѣ, показанномъ на рис. 6, и отчеты производятся съ помощью микроскоповъ.

Путемъ введенія наблюдений длины ртутнаго столбика въ систему симметрическихъ уравненій, которыя приводитъ здѣсь не мѣсто, вычисляются поправки калиброванія и шкалы.



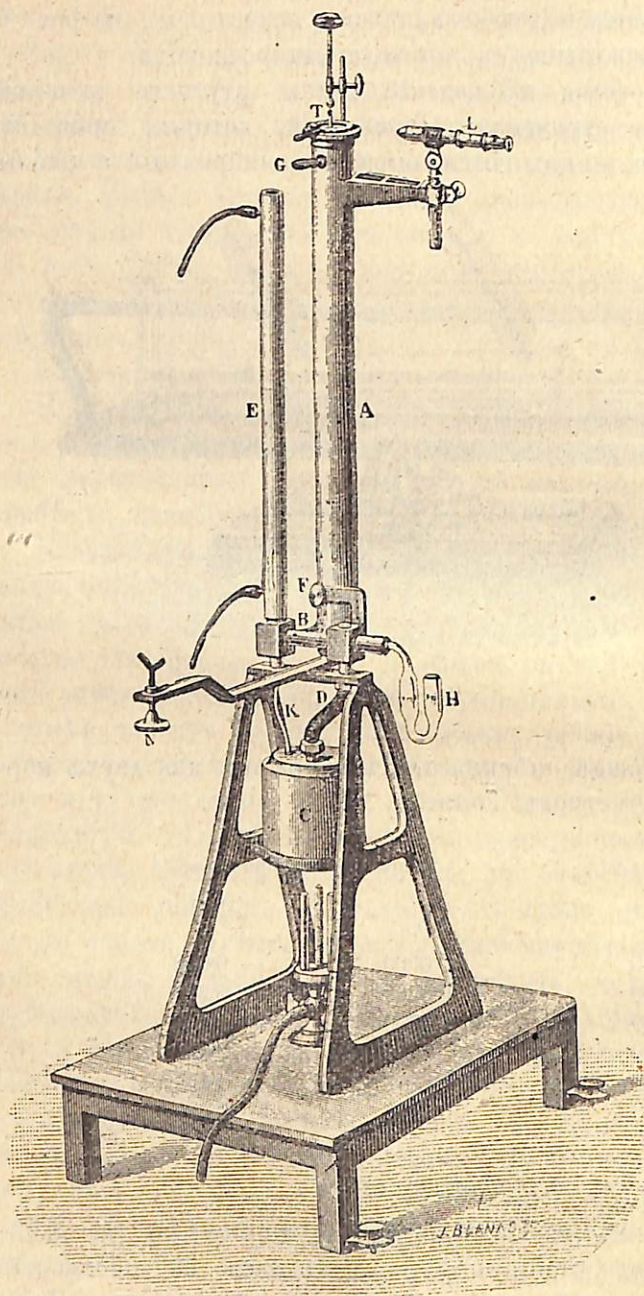
Фиг. 6.

Вотъ небольшая таблица этихъ поправокъ для двухъ нормальныхъ термометровъ Тоннело.

Шкала. ° C.	Поправка калиброванія.	
	№ 1. ° C.	№ 2. ° C.
0	0.0000	— 0.000
20	— 0.0569	— 0.250
40	+ 0.0709	— 0.464
60	+ 0.1968	— 0.372
80	+ 0.1667	— 0.471
100	0.0000	— 0.000

3) Опредѣленіе постоянныхъ точекъ.

а) Точка кипѣнія. Надо помѣстить термометръ въ двойномъ сосудѣ такъ, чтобы шарикъ находился на небольшой высотѣ надъ кипящей водой; весь термометръ долженъ быть окруженъ паромъ, который свободно выходитъ черезъ отвер-



Фиг. 7.

стие во внѣшнемъ сосудѣ; изъ внутренняго сосуда весь воздухъ долженъ быть вытѣсненъ паромъ, разность давленія пара внутри сосуда и атмосферы измѣряется манометромъ. Образецъ такого аппарата представленъ на рис. 7, гдѣ *T* — термометръ, *L* — зрительная труба, *A* — трубка съ паромъ, *C* — резервуаръ для воды.

Прикаждомъ отчетѣ термометра совмѣстно отмѣчаются показанія барометра и манометра. Если внимательно наблюдать за движеніемъ ртути вверхъ

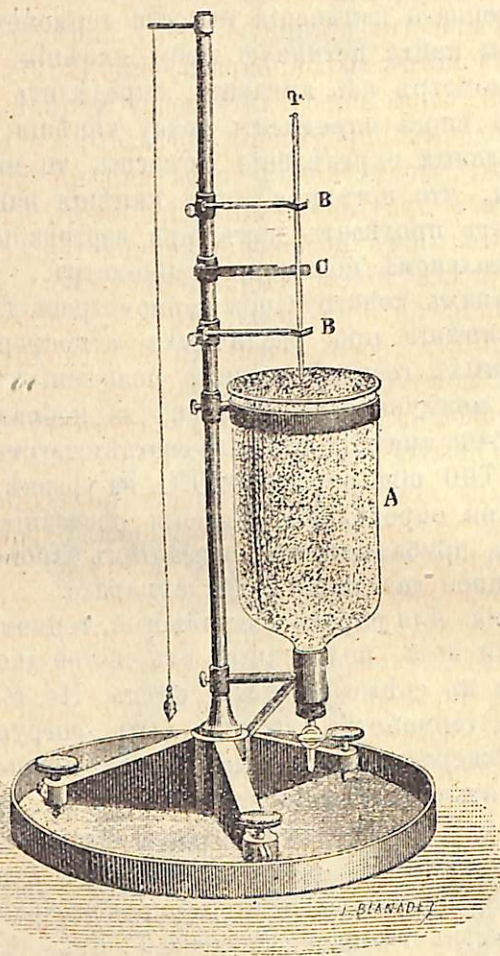
до точки кипѣнія, то можно замѣтить, что ртуть не удерживается на одной и той же высотѣ, а при продолжительномъ кипяченіи нѣсколько опускается, — эта вторая точка остановки и будетъ истинная точка кипѣнія. Опусканіе ртути зависитъ отъ постепеннаго измѣненія емкости термометрическаго шарика. Чтобы найти истинную точку кипѣнія, всего лучше вынуть термометръ изъ аппарата, опредѣлить точку замерзанія и потомъ снова опредѣлить точку кипѣнія; если эти два послѣдовательныя опредѣленія согласны, то мы можемъ быть увѣрены, что истинная точка кипѣнія найдена. Опытъ этотъ слѣдуетъ продѣлать какъ при вертикальномъ, такъ и при горизонтальномъ положеніи термометра.

Въ разныхъ странахъ конструкторы термометровъ дѣлали опредѣленія точки кипѣнія при различныхъ атмосферныхъ давленіяхъ и различныхъ географическихъ положеніяхъ, но въ настоящее время международно признанъ за нормальный термометръ такой, точка кипѣнія котораго соответствуетъ давленію атмосферы въ 760 мм. ртути при 0°C . на уровнѣ моря подъ 45° широты. При опредѣленіи давленія показанія манометра должны быть прибавлены къ показаніямъ барометра, чтобы получить истинное давленіе внутри аппарата.

б) *Точка замерзанія.* Для опредѣленія таковой, термометръ помѣщаютъ въ тающій ледъ, полученный изъ чистой дистиллированной воды, или въ свѣже-выпавшій снѣгъ. Не только шарикъ, но и трубка термометра должна быть погружена въ ледъ, причемъ свѣжерастаявшая вода должна покрывать шарикъ. Чтобы облегчить опредѣленіе точки замерзанія, часто употребляютъ смѣсь изъ одной части воды и пяти частей тающего льда, — это лучше, чѣмъ просто тающій снѣгъ или колотый ледъ. Удобное приспособленіе для этого опыта изображено на рис. 8, гдѣ термометръ обозначенъ буквою *T*. Какъ только термометръ погружается въ мелко истолченный ледъ, ртуть стремится вверхъ, такъ какъ стеклянный шарикъ быстро сжимается, но за тѣмъ ртуть быстро понижается и скоро останавливается на постоянной точкѣ, которая и есть *пониженная точка замерзанія*.

Положеніе этой точки зависитъ отъ условій, при которыхъ находился шарикъ передъ погруженіемъ въ ледъ. Если дер-

жать термометръ продолжительное время при этой температурѣ, то ртуть начнетъ медленно подниматься и въ теченіе времени отъ 24 до 96 часовъ она достигнетъ точки „повышеннѣйшій нуль“; точку эту можно по-



Фиг. 8.

лучить скорѣе, слегка нагревая термометръ, а потомъ медленно охлаждая его. Если же вынуть термометръ тотчасъ послѣ отмѣтки пониженнаго нуля и оставить при обыкновенной температурѣ окружающаго воздуха на одинъ годъ, или около того, то къ концу этого срока онъ будетъ давать немного болѣе высокія показанія, сравнительно съ тѣми, какія мы получили бы, держа термометръ все время въ тающемъ льду; если мы теперь опять опустимъ термометръ въ тающій ледъ, то найдемъ такъ

называемый нуль *домага покоя*, нѣсколько отличный отъ повышеннаго нуля. Эти перемѣны совершаются тѣмъ медленнѣе и на меньшемъ протяженіи, чѣмъ ближе къ точкѣ кипѣнія стояла до того ртуть въ термометрѣ; чѣмъ выше была

температура до погруженія термометра въ ледъ, тѣмъ ниже будетъ наблюдаемый нуль. Положеніе нуля зависитъ не только отъ высшей температуры, въ которой термометръ находился, но и отъ того времени, въ теченіе котораго при этой температурѣ термометръ находился, слѣдовательно, для точнѣйшаго наблюденія температуры надо опредѣлить пониженный нуль непосредственно послѣ отчета термометра.

При наблюденіи точки пониженнаго нуля обыкновенно отмѣчаютъ нѣсколько разъ опусканіе столбика ртути: когда ртуть приближается къ нулю, когда достигаетъ его и когда отступаетъ отъ него.

Пернетъ (Pernet) нашелъ, что пониженіе нуля прямо пропорціонально квадратамъ предшествующихъ охлажденій.

Въ Международномъ Бюро Мѣръ и Вѣсовъ обыкновенно опредѣляютъ точку замерзанія въ комнатѣ, имѣющей температуру отъ 6° до 12° С.; наблюдая при болѣе высокой температурѣ, можно получить ошибку въ 0°·01 С.

Измѣненіе давленія имѣетъ также нѣкоторое, хотя очень слабое вліяніе на температуру тающаго льда (увеличеніе давленія понижаетъ точку замерзанія).

При опредѣленіи точки замерзанія необходимо наблюдать термометръ, какъ въ вертикальномъ, такъ и въ горизонтальномъ положеніи.

Разстояніе между нижней точкой кипѣнія и нижней точкой замерзанія, когда послѣдняя найдена, скажемъ, спустя часъ послѣ первой, можетъ быть опредѣлено съ точностью 0°·01 С. или 0°·02 С. изъ однократнаго измѣренія, если было принято вышеупомянутыя предосторожности. Guillaume доказалъ, что постоянство этого разстоянія для термометра изъ твердаго стекла находится въ предѣлахъ ошибокъ наблюденія.

Для точнѣйшихъ опредѣленій температуры слѣдуетъ опредѣлять постоянныя точки каждый разъ особо и къ нимъ относить наблюдаемыя температуры. Pernet предложилъ новый способъ, гораздо точнѣе старыхъ методовъ, при которыхъ могущая произойти разность равна 0°·2 С. Теорія Pernet'a состоитъ въ такой несложной формулѣ, что ея помѣщеніе здѣсь, безъ сомнѣнія, извинительно, вотъ она:
$$t = (X - Zt) \frac{100}{S100 - Z100}$$

здѣсь t искомая температура; X есть показаніе термометра; Zt пониженная точка замерзанія, которая опредѣляется непосредственно послѣ точки наблюденія; $S100$ пониженная точка кипѣнія, которая опредѣляется тотчасъ послѣ Zt ; $Z100$ пониженная точка замерзанія, опредѣляемая вслѣдъ за t ѣмъ, какъ найдено $S100$. Итакъ, $\frac{100}{S100 - Z100}$ есть эквивалентъ одного изъ градусовъ на термометрѣ, выраженный въ истинныхъ градусахъ Цельсія.

4) *Поправка несогласныхъ показаній на температуру шкалы выступающаго столбика ртути.*

Въ термометрахъ съ мѣдной шкалой разница температуры шарика, шкалы и столбика ртути можетъ повлечь ошибки въ нѣсколько сотыхъ градуса С., если не принято во вниманіе расширеніе мѣди; ошибки на одну или двѣ сотыхъ градуса являются, если упустить изъ виду коэффициентъ расширенія стеклянной трубки, а ошибка въ $\frac{1}{4}$ или $\frac{1}{2}$ градуса можетъ быть получена, если оставить безъ вниманія расширенія столбика ртути въ капиллярѣ. Если вмѣсто ртути взять алкоголь или эфиръ, то эта послѣдняя ошибка увеличивается въ 7 и 10 разъ.

Такъ называемая Поггендорфова поправка (получившая это названіе отъ имени ученаго, предложившаго ее въ 1826 г.) позволяетъ принять въ расчетъ измѣненія емкости капилляра, происходящія отъ перемѣнъ температуры. Величина этой поправки получена при температурѣ капилляра постоянно равной 100°Ц. ; очевидно поправка обращается въ нуль при 100° и при 0°Ц. ; наибольшей величины $0^{\circ}05 - 0^{\circ}08\text{Ц.}$; она достигаетъ при 50°Ц. , имѣя отрицательный знакъ. Предѣлы даны для различныхъ коэффициентовъ расширенія стекла.

Есть еще ошибки, происходящія отъ неправильности относительнаго расширенія шарика и ртути въ немъ; но обыкновенно поправка ихъ соединяется съ поправками Поггендорфа. Скомбинированная поправка будетъ $0^{\circ}00\text{Ц.}$ на 0°Ц. и 100°Ц. , maximum ея— $0^{\circ}207\text{Ц.}$ для 50°Ц.

Не опредѣляя теоретическихъ поправокъ, можно градуировать шкалу ртутнаго термометра по газовому.

Доказательствомъ того, что разница въ показаніяхъ зависитъ отъ качества стекла, служитъ одинаковость поправокъ, получаемыхъ для термометровъ, сдѣланныхъ изъ одного и того же сорта стекла. Вибе (Wiebe) и Гильомъ (Guillaume) утверждаютъ, что можетъ быть устроенъ ртутный термометръ, котораго показанія равнялись бы показаніямъ газоваго и были прямо-пропорціональны температурѣ.

5) *Поправка на давленіе въ шарикъ термометра.*

На тонкую стеклянную оболочку шарика термометра дѣйствуютъ два давленія: внѣшнее и внутреннее; согласно Гильому, мы должны считать эти давленія равными одной атмосферѣ, какъ внутри, такъ и снаружи. При увеличеніи внѣшняго давленія на 1 атмосферу показаніе термометра, — въ случаѣ термометра Тоннело съ цилиндрическимъ резервуаромъ, — увеличится на $0^{\circ}09\text{Ц.}$; для увеличенія атмосфернаго давленія на $0^{\circ}6$ атмосферы увеличеніе показанія будетъ $0^{\circ}005\text{Ц.}$; это повышеніе достигнетъ наибольшей вышины со сферическимъ резервуаромъ изъ очень тонкаго стекла. На большихъ высотахъ надъ уровнемъ моря эти измѣненія должны быть приняты въ расчетъ, если главныя двѣ точки не были опредѣлены при такомъ давленіи, какое господствуетъ на тѣхъ высотахъ.

Та часть внутренняго давленія, которая зависитъ отъ гидростатическаго давленія столбика ртути, измѣняется сообразно съ измѣненіемъ температуры и наклономъ термометра и достигаетъ maximum'a при вертикальномъ положеніи термометра.

Различные сорта стекла обладаютъ различной упругостью, слѣдовательно, вліяніе давленія на разнородные шарики будетъ не одинаково, но можно считать его постояннымъ для стекла одного и того же сорта, по этому, зная поправки термометра изъ нѣкотораго стекла, можно вычислить ихъ для термометра, сдѣланнаго изъ другого стекла извѣстнаго состава—Гильомъ (Guillaume) далъ формулу, выражающую отношеніе твердаго стекла и хрусталя.

Другая часть внутренняго давленія въ термометрическихъ

трубкахъ зависитъ отъ капиллярности; это давленіе достигаетъ $\frac{1}{6}$ атмосферы при внутреннемъ сѣченіи трубки въ 0.10 mm. Совмѣстное дѣйствіе обѣихъ причинъ внутренняго давленія можетъ обусловливать измѣненіе показанія термометра на 0.15C.

Чтобы освободиться отъ ошибки, являющейся вслѣдствіе капиллярности, надо дѣлать всѣ отчеты при повышеніи ртути. Дифференціальныя ошибки, зависящія отъ капиллярности, являющіяся, напр., при стаціонарной температурѣ, должны быть найдены, какъ половина разности температуры при повышеніи и пониженіи столбика ртути. Если ртуть переходитъ отъ повышенія къ пониженію, то термометръ грѣшитъ при показаніи этой перемѣны на двойную поправку, такъ какъ получается „мертвый промежутокъ“ (когда ртуть не двигается), который доходитъ до 0.07 Ц. при внутреннемъ сѣченіи трубки въ 0.03 mm., какъ указываетъ Пернетъ. Гильомъ нашелъ разницу въ 0.04C. при опредѣленіи точки кипѣнія, если измѣреніе было сдѣлано при повышающемся и кругломъ менискѣ, а затѣмъ при понижающемся и плоскомъ менискѣ.

6) *Инертность термометра.* Для достиженія термометромъ дѣйствительной искомой температуры требуется довольно продолжительное время; оно особенно велико, если шарикъ термометра имѣетъ форму сферическую; впрочемъ, зависитъ также и отъ способа установки термометра.

Если термометръ находится въ движущей средѣ, напр. на вѣтру, то истинныя величины получаются сравнительно скоро; если же окружающая среда находится въ покоѣ, то можетъ быть опредѣлена поправка помощью наблюденія термометра при возрастающей и падающей температурѣ.

7) *Термическое послѣдствіе и измѣненія нуля.* Беллини въ 1832 г. и позже Фарадей, Реньо и другіе наблюдали медленныя перемѣщенія нуля въ термометрахъ. Эти перемѣщенія зависятъ отъ качества стекла и достигаютъ цѣлыхъ 0.8Ц. для термометровъ, повидимому превосходныхъ, но сдѣланныхъ изъ обыкновеннаго стекла. Большая часть измѣненій нуля совершается въ первые два-три года послѣ изготовленія термометра. Тотъ фактъ, что на послѣдующихъ показаніяхъ термометра отражаются предшествующія показанія

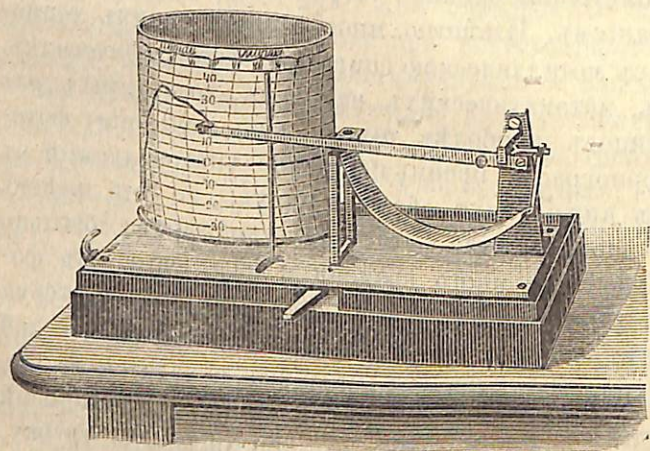
температуры, служитъ причиною лишняго весенняго повышения ртути въ наружныхъ термометрахъ сравнительно съ дѣйствительной температурой непосредственно за прекращеніемъ зимнихъ холодовъ и, наоборотъ, лишняго пониженія ртути вслѣдъ за окончаніемъ лѣтней жары; эти сезонныя измѣненія могутъ иногда достигать 0.10Ц.

Чтобы избавиться отъ упругаго или термическаго послѣдствія, было сдѣлано много попытокъ отыскать такой составъ стекла, при которомъ неправильности показаній низведены были бы до minimum'a. Лучшій рецептъ состава стекла былъ найденъ Аббе въ Генской лабораторіи, а именно: 67.5 частей кварца, 14.0 соды, 7.0 окиси цинка, 7.0 извести, 2.5 глины и 2.0 бурры. При стеклѣ подобнаго состава ошибка пониженія точки замерзанія равняется только 0.05 и перемѣщеніе нуля въ теченіе долгаго времени не превосходитъ 0.01C.

Термографы. Какъ ни желательно употребленіе самопишущихъ термометровъ, однако устройство ихъ не соответствуетъ требованіямъ. Извѣстно много типовъ такихъ термометровъ, напр. съ металлическою спиралью, фотографическихъ, напр. съ металлическою спиралью, фотографическихъ, электрическихъ, автоматическихъ, наконецъ, воздушныхъ; изъ всѣхъ этихъ типовъ наиболѣе точенъ, безъ сомнѣнія, фотографическій термографъ, преимущественно употребляемый въ Кью и другихъ англійскихъ обсерваторіяхъ, но онъ имѣетъ то неудобство, что обработка фотографической записи довольно хлопотлива и требуетъ много времени и опытности. Въ фотографическомъ термографѣ ртутный термометръ имѣетъ весьма длинную трубку, шарикъ помѣщается въ термометрической колѣткѣ, а верхняя часть ртутнаго столбика находится въ фотографической камерѣ, или въ темной комнатѣ. Маленькій воздушный пузырекъ, введенный въ термометрическую трубку, раздѣляетъ воздушнымъ промежуткомъ ртутную нить, свѣтъ стремится проникнуть сквозь это свѣтлое пространство и, посредствомъ зеркалъ и собирательныхъ стеколъ, направляется на вращающійся барабанъ, обложенный свѣточувствительной бумагой; сравненіе записи чрезъ опредѣленные промежутки времени съ непосредственными отсчетами по возлѣ находящемуся термометру позволяетъ перечислить и всю запись на обыкновенную термометрическую шкалу.

Металлическій спиральный термометръ при термографахъ Гиппа, Готтингера, Вильда-Гасслера и другихъ состоитъ изъ спирали спаянной по длинѣ изъ разныхъ металловъ; расширение или сокращеніе этой спирали сообщается стрѣлкѣ, которая, измѣняя чрезъ то свое положеніе, наноситъ отмѣтки на движущейся бумагѣ.

Термометръ, который употребляется въ электрическихъ термографахъ Секки, Теореля и Юза, устраивается въ видѣ трубки съ открытымъ верхнимъ концомъ, — тонкая проволока спускается въ нее до прикосновенія со ртутью, тогда замыкается токъ въ батарею, полюсы которой соединены съ проволокой и со ртутью термометрическаго шарика. Пространство, которое должна пройти проволока до неподвижнаго положенія надъ ртутью, измѣряется и записывается автоматически. Въ воздушномъ термографѣ металлическій резервуаръ наполненъ сухимъ воздухомъ, который при измѣненіяхъ температуры



Фиг. 9.

производитъ уменьшеніе и увеличеніе давленія въ особаго рода манометрѣ, съ которымъ онъ соединяется посредствомъ металлической трубки съ очень тонкимъ каналомъ; измѣ-

ненія давленія записываются различнымъ способомъ, какъ напр. въ аппаратахъ Шрейбера, Шпрунга и другихъ. Термографъ Ришара, изображенный на рис. 9, состоитъ изъ металлической, сплюсненной и нѣсколько согнутой трубки (Бурдоновой), герметически закрытой по наполненіи ея алкоголемъ. Одинъ конецъ этой трубки укрѣпленъ неподвижно

(лѣвый, какъ показано на рис.), а другой мѣняетъ свое положеніе, смотря по тому, загибается вверхъ или выпрямляется трубка, т. е. смотря по тому, расширяется или сжимается алкоголь. Это движеніе свободнаго конца сообщается короткому плечу рычага, къ длинному плечу котораго прикрѣплено перо, записывающее происходящія измѣненія на вращающемся цилиндрѣ.

Автоматическій термографъ съ опрокидывающимися термометрами устроенъ такъ: для каждаго отсчета имѣется особый термометръ, который опрокидывается въ назначенное время при помощи часового механизма; часть ртутной нити отрывается и падаетъ въ запаянный конецъ трубки, гдѣ длина оторваннаго столбика ртути измѣряется при помощи шкалы. Если имѣется двѣнадцать такихъ термометровъ, каждый часъ послѣдовательно одинъ за другимъ опрокидываемыхъ, то, установивъ этотъ аппаратъ два раза въ день, можно получить показанія температуры за каждый часъ.

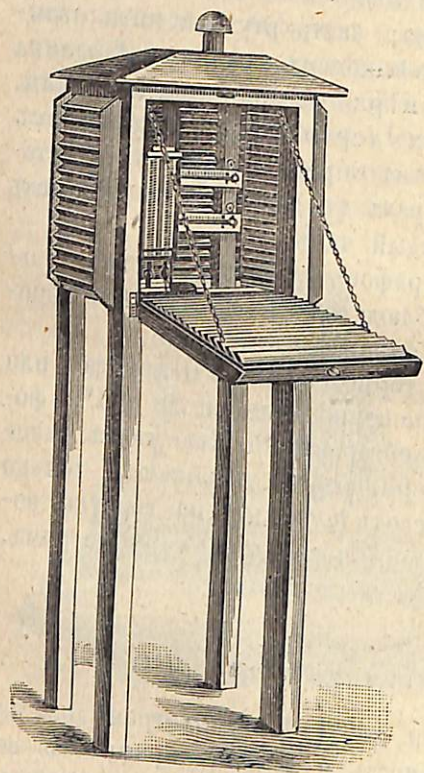
Точность показаній термографовъ зависитъ въ значительной степени отъ вниманія наблюдателя и отъ умѣлаго обращенія съ этимъ деликатнымъ аппаратомъ.

Инструменты, подобные термографамъ Шпрунга или Вильда-Гасслера, даютъ обыкновенно ошибки до 0.1° , фотографическій же термографъ обсерваторіи Кью даетъ вдвое большую точность. Всѣ эти термографы указываютъ только измѣненія температуры, а переводъ показаній на градусы совершается по сравненію съ обыкновеннымъ термометромъ, отсчитываемымъ два или три раза въ день.

УСТАНОВКА ТЕРМОМЕТРОВЪ.

При устройствѣ, калибраціи, вывѣркѣ термометровъ должна соблюдаться большая тщательность и должно принимать во вниманіе даже сотыя доли градусовъ; но вся тщательная и добросовѣстная работа не послужитъ къ полученію истинной температуры воздуха, если установка термометровъ сдѣлана неправильно, а чтобы найти правильное положеніе для термометра, нужно изслѣдовать сначала различныя причины возможныхъ ошибокъ. Термометръ получаетъ тепло черезъ тепло-

проводность отъ окружающаго воздуха (при чемъ конвекція играетъ самую важную роль) и путемъ лучеиспусканія отъ окружающихъ предметовъ; съ своей стороны онъ отдаетъ тепло черезъ теплопроводность и лучеиспусканіе; лучеиспусканіе и лучепоглощеніе должны такъ компенсироваться, чтобы термометръ не показывалъ ни слишкомъ высоко, ни слишкомъ низко, — вотъ въ чемъ задача установки. Нужно принять во вниманіе также, что въ метеорологіи мы должны получить температуру не малой части воздуха, которая подвергается мѣстнымъ влія-



Фиг. 10.

ніямъ, а желаемъ знать температуру возможно большой массы воздуха. Было изобрѣтено много типовъ неподвижныхъ термометрическихъ *клетокъ* или экрановъ, вполнѣ удовлетворительно разрѣшающихъ, по мнѣнію ихъ авторовъ, задачу идеальной установки. Широкой извѣстностью пользуются *клетки* Глешера (Glaisher), Стефенсона (Stevenson), Стоу (Stow), Рену (Renou), Вильда (Wild) и Сигнальнаго Бюро (Signal Service). Большинство ихъ имѣетъ видъ деревяннаго ящика, съ покатою, сплошною деревянною крышею; стороны же и дно его устроятся различно, смотря по идеѣ изобрѣтателя.

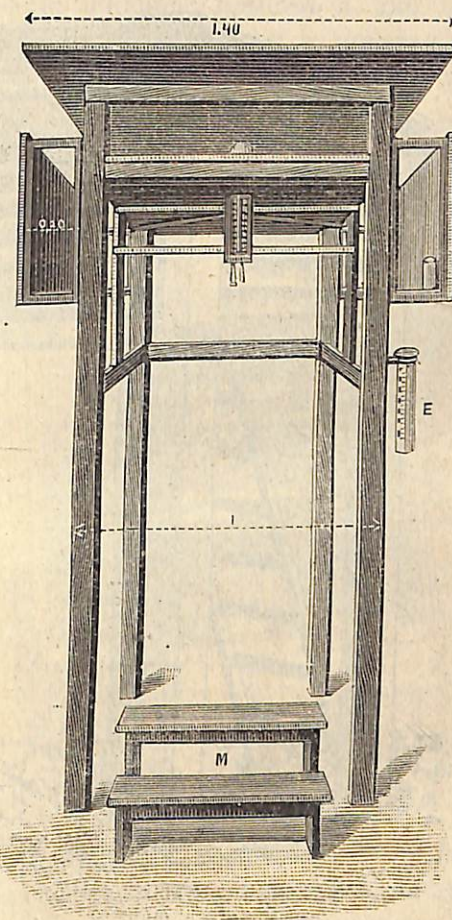
Особенности климатовъ требуютъ, конечно, разныхъ измѣненій въ деталяхъ этихъ образцовъ, который

навѣсовъ, и не существуетъ ни одного образца, который можно было бы рекомендовать для всѣхъ мѣстностей. Въ Англіи всего болѣе употребляется въ настоящее время *клетка* Стефенсона, рис. 10. Она имѣетъ двойныя стѣнки и

дно, которыя, предоставляя свободный проходъ свѣжему воздуху, не позволяютъ проникать внутрь дождю и предохраняютъ термометръ отъ вреднаго вліянія радіаціи. Термометръ съ такимъ навѣсомъ помѣщаютъ на высотѣ четырехъ футовъ надъ поверхностью земли, поросшей дерномъ.

Во Франціи употребляется навѣсъ Рену (рис. 11). Навѣсъ этотъ состоитъ собственно изъ двойной крыши, сдѣланной изъ дерева или изъ цинковаго листа, наклоненной подъ угломъ въ 30° къ горизонту, съ пустымъ пространствомъ для течи воздуха. Термометръ устанавливается подъ крышею приблизительно на высотѣ семи футовъ надъ землею, поросшей дерномъ; съ каждой стороны прикрѣплена доска или иной щитъ для того, чтобы предохранить термометръ отъ непосредственнаго вліянія солнечныхъ лучей утромъ и вечеромъ. Можно довольствоваться и однимъ лишь щитомъ для затѣненія термометра, но тогда придется передвигать его въ теченіи каждого дня, смотря по положенію солнца. Въ Россіи

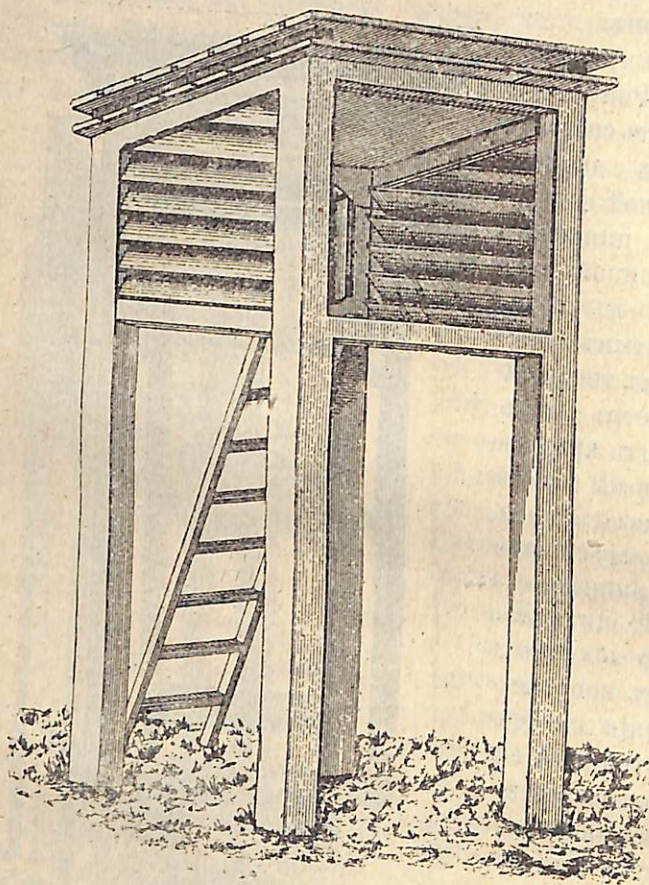
употребляютъ будку Вильда (рис. 12); она сдѣлана изъ дерева, имѣетъ двойную досчатую крышу и такую же южную стѣнку съ промежуткомъ между двухъ досокъ для прохода воздуха; сѣверная сторона и дно открыты; восточная и западная



Фиг. 11.

стѣнки сдѣланы въ видѣ жалюзи. Внутри этой деревянной будки находится цинковая клѣтка, въ которой помѣщается термометръ; клѣтка эта состоитъ изъ 4-хъ цилиндрическихъ щитовъ, защищающихъ термометръ со всѣхъ сторонъ отъ ра-

діаціи, но не мешающихъ свободному доступу воздуха. Диаметрально противоположные щиты скрѣплены попарно и могутъ вращаться около шпиля, составляющаго вертикальную ось клѣтки. Будучи повернуты на оси, какъ показано на фиг. 13, щиты оставляютъ сквозной просвѣтъ, глядя чрезъ который можно отсчитывать термометры; въ

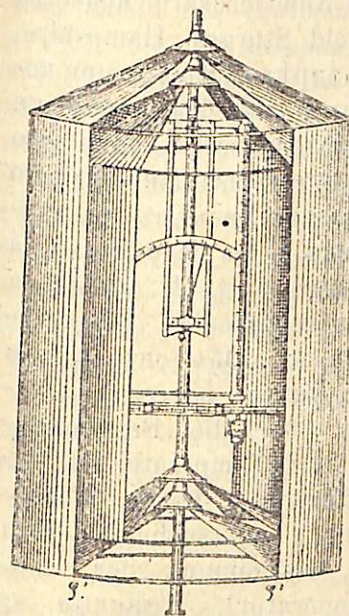


Фиг. 12.

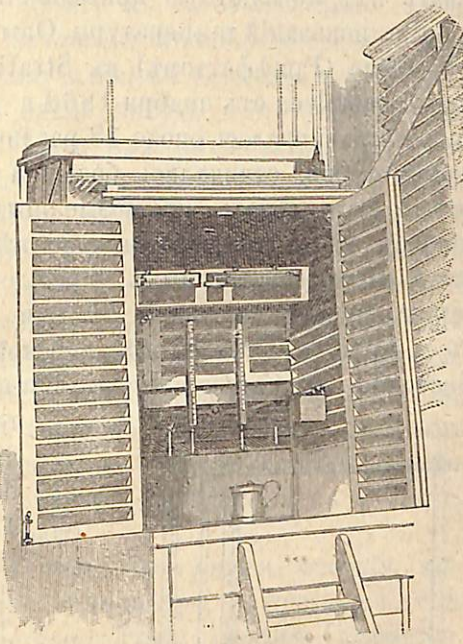
нижнемъ концѣ внутренняго цилиндра вмѣсто конического дна, показаннаго на рисункѣ, вставляется вентиляторъ, при помощи котораго рекомендуется продувать наружный воздухъ чрезъ внутреннее пространство клѣтки въ теченіе 5 минутъ передъ каждымъ наблюденіемъ. Термометръ долженъ

помѣщаться на высотѣ 3—3½ метровъ надъ землею, поросшей дерномъ.

Термометрический навѣсъ Хазена (Hazen) употребляется въ Weather Bureau въ Соедин. Штатахъ и представляетъ собой кубическій ящикъ въ три съ половиною фута длины, три фута высоты и три фута ширины; крышка и дно сдѣланы изъ крѣпкихъ досокъ, крышка двойная и покатая, въ ней промежутокъ въ шесть дюймовъ для прохода воздуха;



Фиг. 13.

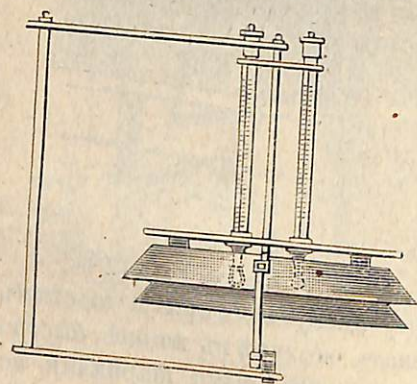


Фиг. 14.

стѣнки ящика сдѣланы въ одну доску и покрыты толстымъ слоемъ асфида. Чтобы перемѣнять воздухъ въ ящикѣ, быстро вращаютъ термометры съ сухими и влажными шариками по кругу въ восемь дюймовъ въ діаметрѣ, какъ разъ передъ самымъ наблюденіемъ температуры; ящикъ, помѣщаемый на крышѣ, долженъ отстоять на девять футовъ отъ поверхности послѣдней; помѣщаясь же надъ почвой, онъ долженъ находиться на высотѣ шестнадцати футовъ. Ящикъ очень тяжелъ и требуетъ для переноски четырехъ носильщиковъ. На рис. 14 представленъ

аппаратъ такого устройства, находящійся въ Кью, съ парю самопишущихъ термометровъ: съ сухимъ и влажнымъ шариками. Здѣсь ящикъ приделанъ къ стѣнѣ, и трубка термометра проведена черезъ стѣну въ фотографическую камеру, находящуюся внутри зданія.

Были сдѣланы многочисленныя испытанія разнородныхъ навѣсовъ для термометровъ, не только для того, чтобы узнать, чѣмъ они разнятся между собой, но и для того, чтобы установить ихъ абсолютную пригодность для полученія возможно точныхъ показаній температуры. Опыты Королевскаго Общества сдѣланные (Гриффитомъ) въ Strathfield Sturges Hampshire, продолжавшіеся отъ ноября 1868 г. до апрѣля 1870 г., при которыхъ сравнивалось около 18 различныхъ способовъ установки термометровъ, отличались большой тщательностью, такъ что можно было думать, что новые опыты будутъ излишни. Однако вопросъ этотъ возбуждался еще нѣсколько разъ въ различныхъ правительственныхъ учрежденіяхъ и въ обществахъ, а также многими частными лицами. Статьи В. П. Кёппена въ „Архивѣ Германской морской обсерваторіи“ (Deutsche Seewarte) въ Гамбургѣ подъ заглавіемъ: „Объ опредѣленіи



Фиг. 15.

температуры воздуха“. (Studien über die Bestimmung der Luft-Temperatur und des Luftdrucks. Erste Abhandlung. Untersuchungen über die Bestimmung der Luft-Temperatur), изданныя въ 1888 году, представляютъ итогъ послѣднихъ работъ различныхъ наблюдателей по этому предмету. Результаты этихъ изысканій не могутъ быть изложены здѣсь, но слѣдуетъ замѣтить, что каждая изъ разсматриваемыхъ тамъ установокъ термометра имѣетъ свои преимущества, и метеорологи не могутъ прийти къ согласію, чтобы остановиться на какой нибудь одной формѣ и исключить другія. Такимъ образомъ вопросъ объ универ-

сальной образцовой установкѣ остается до сихъ поръ открытымъ и, вѣроятно, не будетъ рѣшенъ въ близкомъ будущемъ.

Кёппенъ предлагаетъ простой формы защиту, въ которой шарики термометра помѣщаются между двумя горизонтально положенными дощечками, какъ показано на рис. 15.

Нормальная Температура.

Очевидно, невозможно прийти къ окончательному рѣшенію, какой изъ способовъ установки термометровъ есть наилучшій, т. е. при которомъ получалась бы истинная температура воздуха. Полезно было бы какой нибудь одинъ способъ установки принять за нормальный и имъ пользоваться для сравненія, но и это метеорологи затрудняются сдѣлать. Предполагается, и многіе метеорологи согласны съ этимъ, что если термометръ быстро вращается въ тѣни, внѣ дѣйствія солнечныхъ и иныхъ тепловыхъ лучей, то его показанія должны опредѣлять истинную температуру воздуха. Обыкновенно, для совершенія этой операціи, къ верхнему концу термометра привязываютъ снурокъ и вертятъ термометромъ, какъ пращей. Въ первый разъ примѣнилъ вращеніе термометра съ мокрымъ шарикомъ Соссюръ; но относительно обыкновенныхъ термометровъ этотъ методъ былъ впервые примѣненъ въ 1836 г. Бравэ (Bravais) и позже — Араго.

Для возбужденія искусственнаго воздушнаго теченія, которое должно омывать шарики термометра, существуетъ три способа, употребляемыхъ метеорологами: способъ вращенія рукой при помощи снурка, какъ было сказано; способъ вентиляции, — когда теченіе производится посредствомъ вытяжной трубы или вентилятора въ родѣ вѣера, и способъ коловращенія, когда термометръ приводится въ движеніе особою машинкой, внутри клѣтки (Хазенъ) или, вмѣстѣ съ клѣткою (Рену).

Джауль (Joule) и Томсонъ (Thomson) доказали своими наблюденіями, что если дующій вѣтеръ встрѣчаетъ на своемъ пути препятствіе, то температура воздуха бываетъ выше на сторонѣ навѣтренной, чѣмъ на подвѣтренной, — это будетъ динамическая теплота, происходящая отъ увеличенія давленія

и ее надо принимать во вниманіе при установкѣ термометра, чтобы не впасть въ ошибку. Показанія термометра увеличиваются на 0.1°C . при скорости вѣтра равной десяти метрамъ въ секунду, и почти на 0.5°C . при скорости тридцати равныхъ метрамъ въ секунду.

Въ 1817 г. Фурье предложилъ употреблять два термометра, шарики которыхъ обладали въ разной степени способностью излученія и поглощенія тепла, а именно: одинъ шарикъ былъ изъ чистаго стекла, а другой покрытъ голландской сажей; при помощи этихъ приспособленій Фурье хотѣлъ опредѣлить поправку на радиацию. Въ 1851 г. Лиэ (Liais) предложилъ къ употребленію три термометра съ шариками, имѣвшими разную способность лучепоглощенія. Въ 1865 г. Аббе (изъ Вашингтона), бывши въ Пулковѣ, также примѣнялъ два термометра. Уже Фурье выразилъ простой формулою поправку, зависящую отъ поглощенія теплоты стекломъ чистымъ или покрытымъ слоемъ сажи; въ послѣднее же время Феррель составилъ болѣе полную формулу, принявши въ расчетъ скорость струи воздуха, которой подвергается термометръ. Независимо отъ него Хазенъ выработалъ и опубликовалъ особый способъ наблюденія основанной на вращеніи двухъ термометровъ, одного съ позолоченнымъ шарикомъ, а другого съ шарикомъ, покрытымъ голландской сажей. Аббе въ 1883 году и раньше рекомендовалъ покрывать сажей, серебромъ и золотомъ шарики термометровъ для опредѣленія температуры даже при полномъ солнечномъ освѣщеніи. Въ 1857 году Неймайеръ (Neumaier) производилъ опыты надъ термометрами съ бѣлымъ, краснымъ и чернымъ шариками въ Мельбурнѣ, на Флагстафъ Обсерваторіи (Flagstaff Observatory), съ цѣлью опредѣлить вліяніе лучеиспусканія, но въ точности неизвѣстно, какихъ результатовъ достигъ онъ, такъ какъ они не были опубликованы; независимо отъ этого и Айткенъ предлагалъ употреблять термометры, имѣющіе шарики съ разной способностью радиации. И такъ видно, что многіе ученые не идеѣ, а потому открытіе ея нельзя приписывать кому-либо одному изъ новѣйшихъ изслѣдователей.

Лѣтомъ 1885 года и 1886 (а также и въ другое время)

Вильдъ произвелъ очень тщательные и полные опыты въ Павловскѣ съ различнаго рода термометрами, желая найти практическій способъ для полученія истинной температуры воздуха. Онъ бралъ термометры съ чистыми стеклянными шариками, съ позолоченными и съ покрытыми сажей и сравнивалъ ихъ; всѣ они были устанавливаемы въ будкѣ системы Вильда (рис. 12), сквозь которую прогонялся сильный токъ воздуха. Эти опыты показываютъ, во-первыхъ, что при настоящемъ состояніи нашихъ знаній невозможно получить истинную температуру воздуха ни при яркомъ солнечномъ свѣтѣ, ни въ тѣни, даже при сильномъ движеніи воздуха, съ помощью двухъ термометровъ, имѣющихъ шарики съ разными коэффициентами лучеиспусканія, такъ, напр., термометровъ съ позолоченнымъ шарикомъ и съ шарикомъ покрытымъ сажей; однакоже, если эти термометры находятся въ тѣни и окружены движущимся воздухомъ, то вѣроятно, что почти истинную температуру можно получить, вычитъ изъ температуры, наблюденной по термометру съ позолоченнымъ шарикомъ, 15% разности, которая окажется въ показаніяхъ обоихъ термометровъ. Однако нѣкоторые наблюденія, произведенныя на свѣту, даютъ по этой формулѣ около 1°C . излишка температуры на 20°C . Если вращать простой термометръ на солнцѣ въ полдень, то полученный результатъ будетъ съ повышеніемъ до 0.4°C ., а въ тѣни—съ пониженіемъ до 0.5°C .; вечеромъ, послѣ захода солнца это пониженіе температуры воздуха возрастаетъ до 0.8°C . При очень неблагоприятныхъ условіяхъ въ ясные, тихіе лѣтніе дни будка Вильда даетъ иногда повышеніе температуры до 0.5°C .; но если черезъ вентиляторъ, имѣющійся на днѣ металлической будки, проникнетъ внутрь струя воздуха со скоростью 2 метра въ секунду, то неправильность показанія дойдетъ только до 0.1° повышенія, отсюда видно, что если такая будка употребляется въ мѣстностяхъ, гдѣ часты ясные безвѣтренные дни, то вентиляторы особенно необходимы. Въ такіе тихіе дни при сильной радиации, наблюдая термометръ въ тѣни дома, подъ крышею, или подъ парусомъ, можно замѣтить, что температура воздуха измѣняется на 0.5°C . и болѣе при измѣненіи высоты отъ одного до четырехъ метровъ надъ поверхностью земли.

Шпрунгъ опубликовалъ недавно результаты нѣкоторыхъ опытовъ, произведенныхъ въ Берлинѣ, и его труды, наравнѣ съ другими, доказываютъ необходимость произвести международные опыты.

§ 2. Барометры.

Исторія изобрѣтенія барометра.

Барометръ былъ изобрѣтенъ Торричелли въ 1643 г., спустя годъ послѣ смерти Галилея, который доказалъ, что воздухъ имѣетъ вѣсъ.

Простѣйшій барометръ можно устроить слѣдующимъ образомъ: стеклянную трубку, одинъ конецъ которой запаивъ, наполняютъ чистой ртутью; потомъ, закрывъ пальцемъ открытый конецъ трубки, переворачиваютъ ее и опускаютъ вмѣстѣ съ пальцемъ въ сосудъ, тоже наполненный ртутью; затѣмъ палецъ удаляютъ, и если трубка нѣсколько длиннѣе тридцати дюймовъ, то ртуть опускается въ ней именно до этого уровня (въ томъ случаѣ, если опытъ производился въ мѣстности, лежащей невысоко надъ уровнемъ моря). Въ первый разъ этотъ опытъ былъ произведенъ математикомъ Вивіани (Viviani) по мысли Торричелли, и взятый имъ приборъ отличался отъ вышеописаннаго лишь тѣмъ, что на концѣ трубки, который долженъ быть запаивъ, былъ выдутъ стеклянный шарикъ, и когда ртуть начинала падать, — этотъ шарикъ, такъ же, какъ и часть трубки, оставался совсѣмъ опорожненнымъ. Такая трубка прикрѣпляется въ вертикальномъ положеніи къ особой подставкѣ, а шкала помѣщается около, тоже вертикально, такъ, что нижній конецъ шкалы, гдѣ находится нуль дѣлений, приходится у поверхности ртути въ сосудѣ. Такого въ общихъ чертахъ устройство такъ называемаго барометра. Наблюдая этотъ приборъ постоянно изо дня въ день или даже ежечасно, мы замѣтимъ, что высота ртути въ трубкѣ измѣняется весьма значительно; измѣненіе это доходитъ до двухъ дюймовъ въ теченіе нѣсколькихъ дней. Рѣдко употребляется, впрочемъ, барометръ такой простой конструкціи, такъ

какъ онъ способенъ отмѣчать только рѣзкія перемѣны атмосфернаго давленія. Практика и опытъ создали много различныхъ видовъ барометра съ цѣлью соединить два условія: точность и удобство, и мы прослѣдимъ здѣсь постепенный ходъ развитія барометра.

На рис. 16 представленъ барометръ примитивнаго устройства, употреблявшійся членами Academia del Cimento;

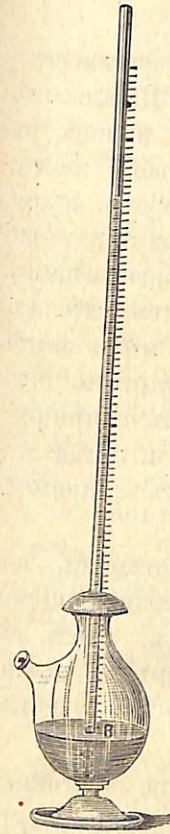
онъ состоялъ изъ плотно закрытаго сосуда, въ который воздухъ проникалъ только черезъ отверстіе въ шейкѣ сосуда; дѣленія обозначались произвольно при помощи маленькихъ зубчиковъ на стеклянной трубкѣ.

Для того, чтобы предохранить трубку только что разсмотрѣннаго резервуарнаго барометра отъ поврежденій, ее окружаютъ другой — металлической трубкой, и на этой послѣдней наносятъ шкалу для опредѣленія высоты ртутнаго столба.

Для того, чтобы аппаратъ этотъ было удобно переносить съ одного мѣста на другое, резервуаръ со ртутью привинчиваютъ къ нижнему концу металлической трубки барометра. Такого несложнаго устройства резервуарный барометръ, имѣющій неподвижное дно, очень употребителенъ на морскихъ судахъ.

Если вмѣсто чашки или цистерны для ртути удлиннить нижній конецъ стеклянной трубки и согнуть ее въ видѣ буквы U, то

получится такъ называемый сифонный барометръ. Послѣдній былъ весьма распространенъ до послѣдняго времени. Въ этомъ барометрѣ разница высотъ ртути въ двухъ колѣнахъ трубки показываетъ атмосферное давленіе (рис. 17)



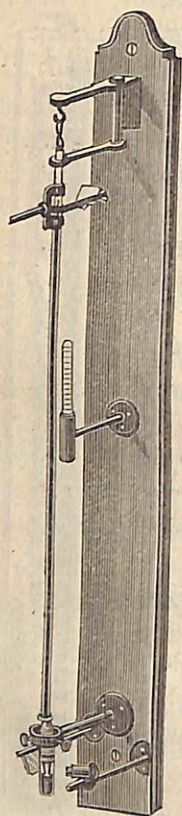
Фиг. 16.



Фиг. 17.

представляет сифонный барометръ съ двумя шкалами, которыхъ дѣленія идутъ вверхъ и внизъ отъ общаго нуля и слѣдовательно должны суммироваться для получения разности высотъ).

Различные виды барометровъ. Если основная идея барометра ясна, то не трудно понять также и цѣль различныхъ видоизмѣненій главной формы, которая во множествѣ дѣлалась въ послѣдніе годы; къ описанію ихъ мы и перейдемъ.



Фиг. 18.

Наибольшей извѣстностью пользуется резервуарный барометръ Фортеня. Шкала его укрѣплена неподвижно, и нижній конецъ ея оканчивается остриемъ изъ слоновой кости, нижняя точка котораго соотвѣтствуетъ нулевому дѣленію шкалы. Дно резервуара съ ртутью обыкновенно состоитъ изъ замшевого мѣшка, поддерживаемаго снизу винтомъ. Чтобы сдѣлать наблюдение, слѣдуетъ подвинчивать этотъ винтъ до тѣхъ поръ, пока ртуть въ резервуарѣ не поднимется настолько, что придетъ въ соприкосновеніе съ костянымъ остриемъ и тогда отчетъ высоты ртути по шкалѣ дастъ „барометрическую высоту“.

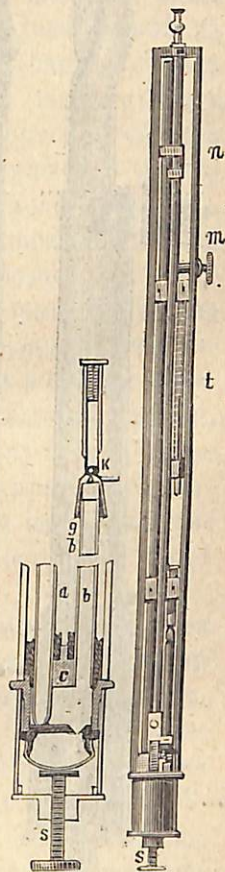
Теперь существуетъ много мастеровъ, изготовляющихъ такіе барометры, отличающіеся между собой только въ деталяхъ; этотъ же видъ барометра въ основныхъ чертахъ можно найти на рисункахъ въ большинствѣ учебниковъ физики и метеорологіи.

Наиболѣе дешевые и вмѣстѣ достойные вниманія новѣйшіе барометры Фортена можно найти у Бодена (Baudin) въ Парижѣ; образецъ такого аппарата представленъ на рис. 18. Дѣленія прямо нанесены на стеклянной трубкѣ, оканчивающейся внизу металлическимъ кольцомъ съ винтовой нарезкою; на это кольцо навинчивается металлическая оправа стекляннаго резервуара съ ртутью, притомъ такъ, что-

продолжая навинчиваніе можно довести поверхность ртути въ резервуарѣ до совпаденія съ стекляннымъ остриемъ, припаяннымъ къ барометрической трубкѣ и совпадающимъ съ нулемъ шкалы. Тогда по шкалѣ дѣлается отчетъ.

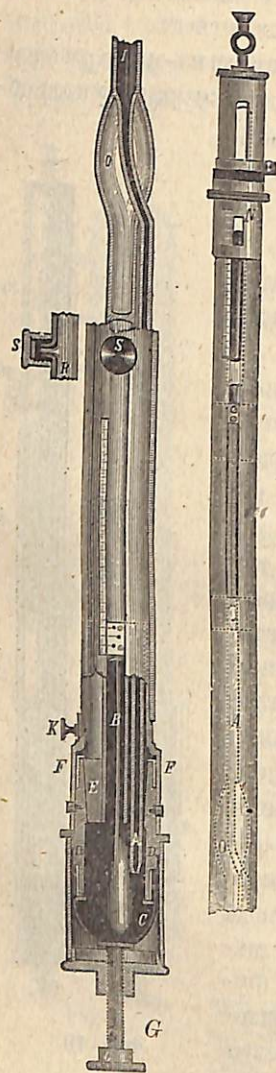
Около 1830 г. Купферъ изобрѣлъ сифонно-резервуарный барометръ, различные разновидности котораго употребляются нынѣ подъ названіемъ барометровъ Турреттини (Turrettini), Кёппенъ-Фусъ (Körpen-Fuess), Вильдъ-Фусъ (Wild-Fuess) и друг. Многія улучшенія были сдѣланы въ основной формѣ, и лучшимъ, безъ сомнѣнія, можетъ быть названъ теперь образецъ Вильда, изготовляемый Фусомъ въ Берлинѣ.

Чтобы легче составить себѣ понятіе объ устройствѣ подобнаго барометра, представимъ себѣ сифонный барометръ, у котораго короткое колѣно трубки обрѣзано при самомъ началѣ изгиба (рис. 17, буква С.), а оставшійся изогнутый конецъ длиннаго колѣна выпрямленъ, причемъ оба отрѣзка трубки опущены въ герметически закрытый сосудъ, наполненный ртутью и снабженный внизу винтомъ для подниманія уровня ртути, какъ въ барометрѣ Фортеня. Чтобы получить показаніе, ртуть заставляютъ подниматься въ обоихъ колѣнахъ трубки, пока вершина ртутнаго мениска въ короткомъ колѣнѣ не совпадетъ съ плоскостью визира, установленнаго на уровнѣ нуля шкалы; тогда показаніе шкалы, до котораго доходитъ менискъ ртути въ длинномъ колѣнѣ и будетъ истиннымъ барометрическимъ показаніемъ. На рис. 19 изображенъ барометръ Кёппенъ-Фуса, въ которомъ хорошо видны главныя составныя части и принципъ конструкціи. Такъ какъ этотъ приборъ не заключенъ въ мѣдной трубкѣ, какъ это обыкновенно дѣлается, а снабженъ лишь легкими вилкообразными визирами, то ничто не мѣшаетъ видѣть стек-



Фиг. 19.

лянные трубки, находящиеся внутри. При отсчитывании показаний этого аппарата головка винта *S* у основания поворачивается вправо до тех пор, пока ртуть в короткой трубке справа не достигнет неподвижного указателя нуля, обозначенного буквой *C*, тогда приводят верхний визирь, обозначенный буквой *n*, в уровень с поверхностью ртутного столба левой длинной трубки, действуя при помощи винта *m*. Обозначенный буквой *t* термометр ничем не защищен от лучей тепла, как и барометрическая трубка, с тою целью, чтобы температура его была одинакова с температурой последней. Этот тип барометра, за исключением Германии, мало где употребляется.



Фиг. 20.

На рис. 20 представлен барометр Вильда-Фусса; он отличается большей сложностью, чем только что описанный; в нем длинная трубка имеет такую форму, что короткая трубка приходится как раз под верхним концом ее, и вершины обоих наблюдаемых менисков ртути стоят на одной вертикальной линии. На чертеже верхняя часть барометра представлена на право, а нижняя — на лево, часть же предохранительной медной трубки удалена для того, чтобы конструкция стеклянных трубок была лучше видна. — Так как этот барометр нашел себе широкое распространение на континенте, как наилучший вид переносного аппарата, то он требует больше подробного описания. Трубки *A* и *B* соединены с закрытой цистерной *C*, в которой находится ртуть. Трубка *A*, более длинная и тонкая, проходит вверх,

до расширения в виде шарика, которым оканчивается трубка *B*, здесь она поворачивается влево и проходит сквозь этот шарик *O*, а затем поднимается вверх прямо над трубкой *B*. В верхней своей части трубка *A* расширена, так что ртутные мениски внизу и наверху наблюдаются в частях трубки одинакового поперечного сечения.

Короткая трубка *B* имеет одинаковый диаметр везде до отверстия *S*, а иногда вплоть до места соединения обеих трубок, что встречается впрочем только в очень точных приборах. Когда наблюдают давление при помощи этого барометра, то поворачивают винт *G*, пока вершина мениска ртути в *B* не совпадет с плоскостью нижнего визира (который приводится к нулю шкалы при помощи винта *K*), обозначенного на чертеже как раз над мениском. Высота поверхности ртути в длинной трубке наблюдается с помощью подвижного верхнего визира *N*, который тщательно устанавливается при помощи винта. Рамка визира *N*, на которую наносятся деления нониуса, имеет вид кольца и охватывает медную трубку, окружающую стеклянные трубки. Внешний воздух входит в короткую трубку сквозь скважину в боковой коротенькой трубке, прикрываемую навинчивающимся колпачком *S*; этот винтовой колпачок несколько отпускается при наблюдениях, но в остальное время остается завинченным.

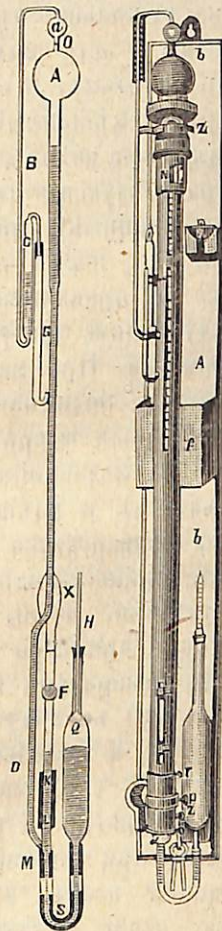
Принадлежащий к этому барометру термометр находится внутри окружающей его медной трубки; шкала его видна сквозь щель, шарик же термометра тщательно закрыт. Если барометр остается без употребления, то ртуть подвинчивается в *B* до тех пор, пока весь воздух не удалится через отверстие *S*, затем навинчивают колпачек *S*, чтобы ртуть не могла вытекать. При этом условии барометр можно без опасения опрокидывать (что обыкновенно делают при переноске с места на место), так как трубка *A* наполняется ртутью раньше, чем в *B* ртуть достигает *S*. При опрокидывании следует повернуть барометр колпачком *S* к себе, и нижнюю часть барометра медленно отодвигать от себя на лево вверх (захватив его левой рукою). Чтобы привести опрокинутый барометр в нормаль-

ное положеніе, устанавливають его опять такъ, чтобы *S* былъ обращенъ къ наблюдателю и затѣмъ нормальное положеніе сообщаютъ барометру, опуская резервуаръ по лѣвую руку отъ себя. При такомъ наклоненіи барометра короткая трубка находится выше основанія длинной трубки *A*, и такимъ образомъ въ длинную трубку доступъ пузырькамъ воздуха затрудненъ. Если они попадутъ черезъ *S* въ короткую трубку *B*, то затѣмъ собираются въ верхней части цистерны надъ ртутью. Большое теоретическое преимущество этого типа барометра состоитъ въ томъ, что онъ даетъ возможность опредѣлить давленіе воздуха, могущаго попасть въ барометрическую пустоту надъ длиннымъ столбомъ ртути въ трубкѣ *A*; это можно сдѣлать при помощи двойного измѣренія разницы высотъ ртути въ обѣихъ трубкахъ: во-первыхъ, когда пустота въ *A* имѣетъ отъ 4-хъ до 5-ти дюймовъ длины и во-вторыхъ, когда она будетъ уменьшена до одного дюйма, посредствомъ завинчивания нижняго винта *G*. Если въ пустомъ пространствѣ находится воздухъ, то онъ будетъ болѣе сжатъ при второмъ наблюденіи, чѣмъ при первомъ, и, слѣдовательно, вторая найденная барометрическая высота будетъ меньше, чѣмъ первая. Отношеніе разницы этихъ двухъ высотъ къ пространству, занимаемому воздухомъ при обоихъ показаніяхъ, опредѣляетъ количество воздуха въ несовершенной пустотѣ. Это есть приложеніе, такъ называемаго, метода Араго для переносного барометра. Пользуясь этимъ методомъ, слѣдуетъ винтовой колпачокъ *S* совсѣмъ снять съ барометра, тогда верхній визирь *N* можетъ быть сдвинутъ внизъ по мѣдной предохранительной трубкѣ и примѣненъ для отчета ртутнаго мениска не только въ трубкѣ *A*, но и въ трубкѣ *B*.

И только-что далъ нѣкоторое понятіе о переносныхъ барометрахъ, находящихся въ общемъ употребленіи, и о способѣ обращенія съ ними; всѣ они перевозятся въ такомъ видѣ, въ какомъ получены отъ мастера, т.-е. наполненные ртутью. Но перевозка хрупкихъ стеклянныхъ трубокъ, наполненныхъ тяжелою ртутью довольно рискована, а потому давно чувствовалась потребность имѣть такой барометръ, который можно было бы по желанію опорожнить или наполнить ртутью. Много было сдѣлано попытокъ въ этомъ направленіи; наи-

большаго одобренія заслуживаетъ барометръ, устроенный профессоромъ Зунделемъ (Sundell) въ Гельсингфорсѣ. Барометръ этотъ обратилъ на себя общее вниманіе, когда былъ демонстрированъ изобрѣтателемъ при его поѣздѣ по Европѣ, принятой для сравненія принятыхъ въ разныхъ странахъ нормальныхъ барометровъ. Барометръ Зунделя, представленный на рис. 21 и 22, состоитъ изъ системы трубокъ въ мѣдной оправѣ, которая служитъ какъ шкалой, такъ и защитой.

Двойная стеклянная трубка, какъ и въ барометрѣ Вильдъ-Фусса, составляетъ главную часть описываемаго аппарата; внутренній діаметръ трубокъ на высотахъ, гдѣ образуются мениски, равняется 11.1 мм. Къ верхнему концу трубки припаянъ сферическій шарикъ *A*, имѣющій около 110 см. объема. Между этимъ шарикомъ и капиллярной трубкой *B* (имѣющей длину въ 43 см., а сѣченіе—въ 1.63 мм.) находится маленький сферическій шарикъ *a* съ объемомъ въ 5 куб. см. Резервуаръ *C* имѣющій длину въ 10 см., а внутренній діаметръ—въ 11 мм, прикрѣпленный къ трубкѣ *B*, соединяется съ сушильной трубкой *G* посредствомъ узенькой трубочки, которая препятствуетъ постороннему тѣлу войти изъ *G* въ *C*. Трубка *G* обворачивается войлокомъ и соединяется съ *C* съ помощью пробки, причемъ мѣсто соединенія ихъ дѣлаютъ непроницаемымъ для воздуха при помощи смолы или воска; осушающимъ средствомъ служитъ фосфорно-кислый ангидридъ. Нижний конецъ тонкой трубки *D* входитъ въ трубку *LM*, которой ось совпадаетъ съ осью открытаго колѣна барометрической трубки, оканчивающейся въ точкѣ *K*; концы трубокъ *K* и *L* соединяются при помощи резиновой



Фиг. 21. Фиг. 22.

трубки, которая может быть болѣе или менѣе сдавлена посредством винта *P* (см. рис. 22). Конецъ трубки *M* соединенъ помощью резиновой трубки *S* (длина 120 ст., внутреннїй діаметръ 5 мм.) со стекляннымъ резервуаромъ *Q*, котораго объемъ равняется 200 куб. см. На верху *Q* помѣщена сушильная трубка, содержащая хлористый кальцій. На рис. 22 *N* есть верхнїй визирь, передвигаемый микрометрическимъ винтомъ; *R* есть нижнїй неподвижный визирь, *Y* термометръ, помѣщенный внутри мѣдной трубки такъ, чтобы его шкала была видна въ прорѣзъ. Методъ употребленія этого барометра слѣдующій: (мы будемъ разсматривать сначала барометръ опорожненный), чистая ртуть наливается въ резервуаръ *Q* (рис. 21), послѣ чего пробка, закупоривающая нижнїй конецъ *G*, прокалывается иглой, а кранъ *F* закрывается, чтобы предупредить доступъ воздуха въ нижнїй открытый конецъ барометра. При медленномъ поднятіи резервуара *Q*, ртуть постепенно поднимается въ трубкѣ барометра и вытѣсняетъ воздухъ изъ сферическаго шарика *A* и резервуара *C*.

При медленномъ опусканіи *Q* ртуть течетъ обратно (понижается), и внѣшнїй воздухъ, входя въ трубку черезъ *G*, самъ подвергается высушиванію и осушаетъ трубку. Повтореніе процесса наполненія и опоражниванія въ два-три приема достаточно, чтобы совершенно осушить трубки. Наконецъ, трубка барометра въ послѣднїй разъ наполнена ртутью; для этого резервуаръ *Q* долженъ быть поставленъ на полочку *g*₃ (рис. 22) наверху прибора; эта полочка такимъ образомъ помѣщена, а количество ртути въ *Q* такъ рассчитано, что когда *Q* стоитъ у *g*₃, то трубка *C* наполняется до верху. Маленькое отверстіе на концѣ сушильной трубки *G* теперь закрывается при помощи разогрѣтой визальной спицы, растапливающей воскъ, который былъ раньше проколотъ иглой для того, чтобы впустить струю воздуха. *Q* опять спускается и часть ртути выходитъ изъ *C* въ *B*, но остающїйся еще въ *C* воздухъ удерживаетъ своею упругостію въравновѣсіи столбикъ ртути въ капиллярной трубкѣ *B*; оставшая ртуть ухочеліеву пустоту. *Q* должно теперь стоять насколько возможно широко открытымъ, чтобы позволить маленькимъ пузырькамъ

воздуха свободно пройти между ртутью и стѣнками трубки *D* въ шарикъ *A*. При повторенномъ подъемѣ *Q* это небольшое количество оставшагося воздуха проходитъ въ трубку *C*, и тогда *Q* возвращается на прежнее мѣсто. Теперь аппаратъ готовъ для наблюденій, распредѣленіе ртути обозначено на рис. 21 тѣнвыми линіями. Однако, въ несовершенной пустотѣ всегда есть незначительное количество газа, состоящаго по большей части изъ водяныхъ паровъ; количество это можетъ быть всегда опредѣлено методомъ переменныхъ давленій (методъ Араго. Зундель нашелъ, что давленіе газа колеблется между 0.37 и 0.07 мм. Полное интересное описаніе этого барометра можно найти въ оригинальномъ, нѣсколько недоступномъ сочиненіи Зунделя въ Acta Soc. Fennicae, томъ XVI.

Что касается точности показаній различныхъ видовъ переносныхъ барометровъ (которая не должна быть смѣшиваема съ абсолютной точностію аппаратовъ, проверенныхъ по принятому нормальному), то трудно дать положительную оцѣнку, и съ этой точки зрѣнія выборъ зависитъ отчасти отъ личнаго усмотрѣнія. Если сравнить два обыкновенныхъ барометра Фортеня другъ съ другомъ, то показанія ихъ могутъ отличаться на 0.25 мм. одно отъ другого; другими словами: если мы знаемъ ошибку барометра относительно точнаго нормальнаго аппарата, то мы можемъ быть увѣрены, что получимъ истинное атмосферное давленіе съ точностію до 0.25 мм. изъ единичнаго отсчета. Барометръ Фортеня лучшаго достоинства даетъ единичныя показанія съ вѣроятной ошибкой 0.12 мм., барометръ Вильдъ-Фусса лучшей конструкціи даетъ показанія съ вѣроятной ошибкой 0.06 мм. Иначе сказать, если десять наблюденій сдѣланы одновременно на двухъ барометрахъ Вильда-Фусса, и каждая разность будетъ вычтена изъ средней величины десяти разностей, то полученное отклоненіе не превышаетъ въ среднемъ 0.03 мм. Существуетъ мало барометровъ Фортеня, дающихъ показанія такой точности, какъ барометръ Вильдъ-Фусса; также и личное уравненіе между двумя наблюдателями несомнѣнно меньше при барометрахъ послѣдняго типа.

Нормальные барометры.

Все обыкновенные барометры сравниваются съ нормальнымъ, прежде чѣмъ полученные результаты будутъ употреблены въ дѣло, такъ какъ барометры рѣдко бываютъ совершенно согласны между собой. На практикѣ это производится обыкновенно такъ: барометръ особенно хорошаго устройства, трубки котораго наполнились ртутью со всей возможной аккуратностью, предназначается для того, чтобы служить нормальнымъ и устанавливается навсегда въ главной обсерваторіи; такой барометръ признается за нормальный для всѣхъ официальныхъ наблюдений, производимыхъ въ странѣ или государствѣ, и остальные барометры, находящіеся въ употребленіи въ той же сѣти станцій, сравниваются съ нимъ. Это сравненіе дѣлается такъ: приносятъ барометръ, назначенный для сравненія, въ обсерваторію и сравниваютъ его непосредственно съ нормальнымъ барометромъ; или же сравниваютъ одинъ барометръ съ нормальнымъ и приносятъ его на наблюдательную станцію, гдѣ ужъ съ нимъ сравнивается другой дѣйствующій барометръ при тѣхъ условіяхъ и въ томъ помѣщеніи, гдѣ онъ обыкновенно находится во время наблюдений. Этотъ способъ считается лучшимъ, хотя случается и тутъ маленькая ошибка, происходящая отъ употребленія посредствующаго переноснаго барометра.

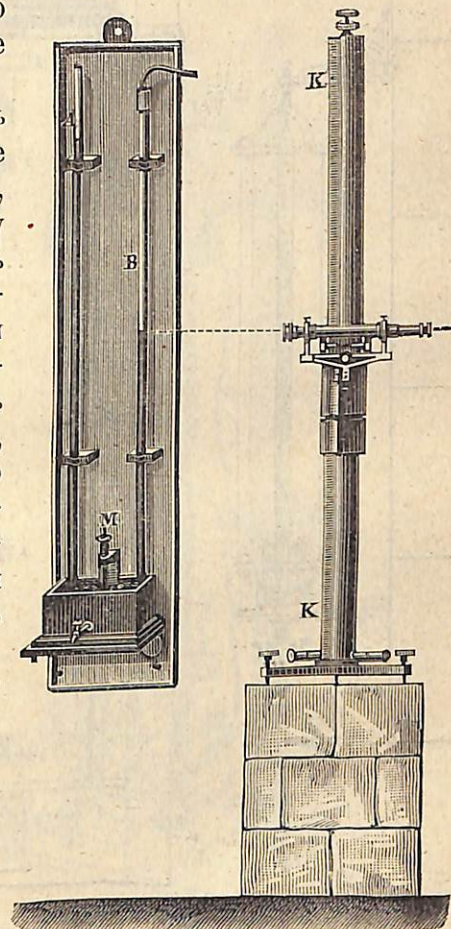
Благодаря постепенно возрастающей точности въ наблюдений и благодаря многократнымъ сличеніямъ наблюдений, произведенныхъ въ разныхъ странахъ, стало очевиднымъ, что принятые въ разныхъ мѣстахъ нормальные барометры согласуются между собою не съ желаемою точностью, и слѣдовательно, должны быть замѣнены болѣе точными аппаратами, которые давали бы абсолютно вѣрные показанія, *послѣ* исправленія ихъ нѣкоторыми теоретическими поправками. Усовершенствованіе барометровъ, началомъ котораго мы больше всего обязаны академику Вильду, дѣлаетъ съ каждымъ годомъ новые шаги. Понадобилось бы дѣлать специальное сочиненіе, чтобы дать полное описаніе всѣхъ нынѣ существующихъ нормальныхъ барометровъ; здѣсь можно дать только краткое описаніе различныхъ конструкцій, такъ

какъ отличіе ихъ состоитъ главнымъ образомъ въ различіи методовъ отсчета высоты ртутныхъ столбовъ, а это было указано въ отдѣлѣ объ ошибкахъ показаній. Я далъ между прочимъ чертежи многихъ нормальныхъ барометровъ, описанія коихъ были обнародованы, — думаю, что такого полного собранія до сихъ поръ еще не было издано.

Нормальный барометръ Реньо въ Collège de France былъ первымъ приборомъ, соотвѣтствовавшимъ своему названію. Этотъ барометръ былъ построенъ для лабораторнаго употребленія при производствѣ опытовъ, описанныхъ изобрѣтателемъ въ его знаменитомъ мемуарѣ, 1847 г.; происхожденіе этого барометра объясняется скорѣе потребностью знаменитаго физика имѣть точный и вѣрный барометръ, чѣмъ намѣреніемъ создать нормальный приборъ, съ которымъ могли бы сравниваться другіе, менѣе точные.

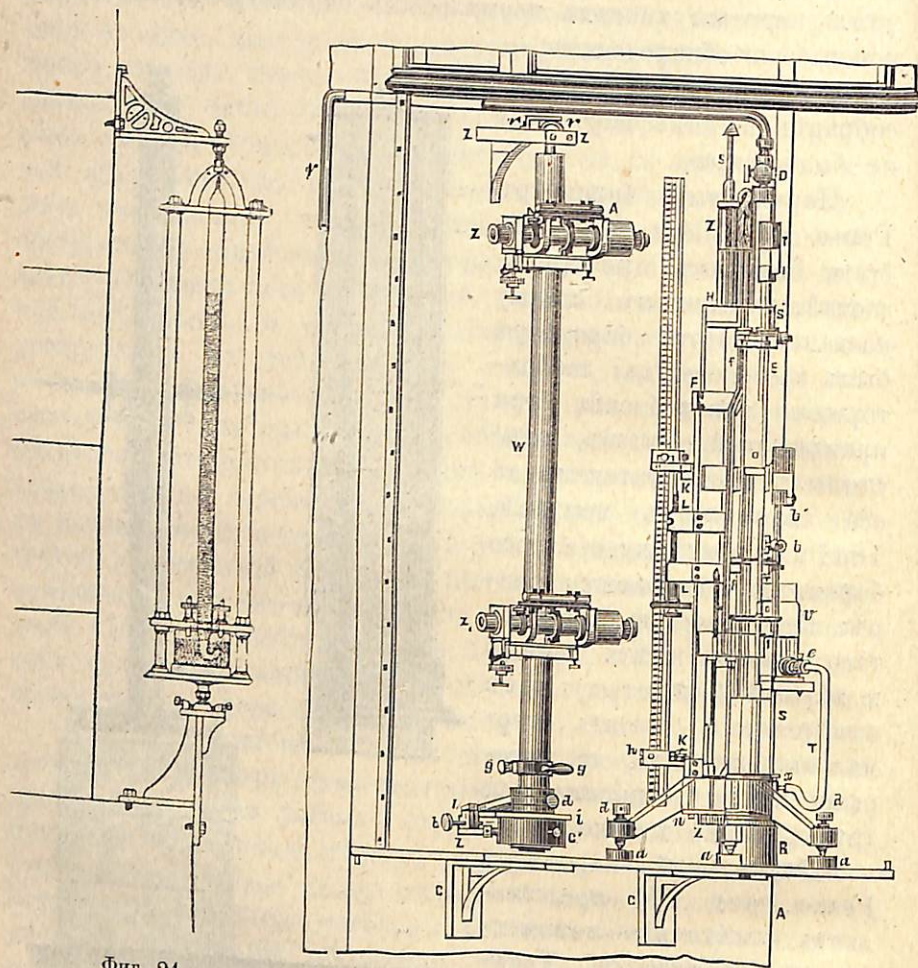
Нормальный барометръ Реньо (рис. 23) представляетъ комбинацію манометра съ барометромъ. Трубка *A* на рисункѣ есть трубка барометра, а трубка *B* (соединенная пунктирной линіей со зрительной трубой катетометра) есть трубка манометра.

Въ обсерваторіи Кью въ 1853—1855 гг. производились опыты завершившіеся постройкой нормальнаго барометра



Фиг. 23.

(рис. 24), катетометръ котораго былъ нѣсколько схожъ съ представленнымъ на рис. 23. Это былъ первый нормальный барометръ, принятый за эталонъ для метеорологическихъ инст-



Фиг. 24.

Фиг. 25.

рументовъ. Нормальные барометры Реньо и Кью немного разнятся между собой въ устройствѣ.

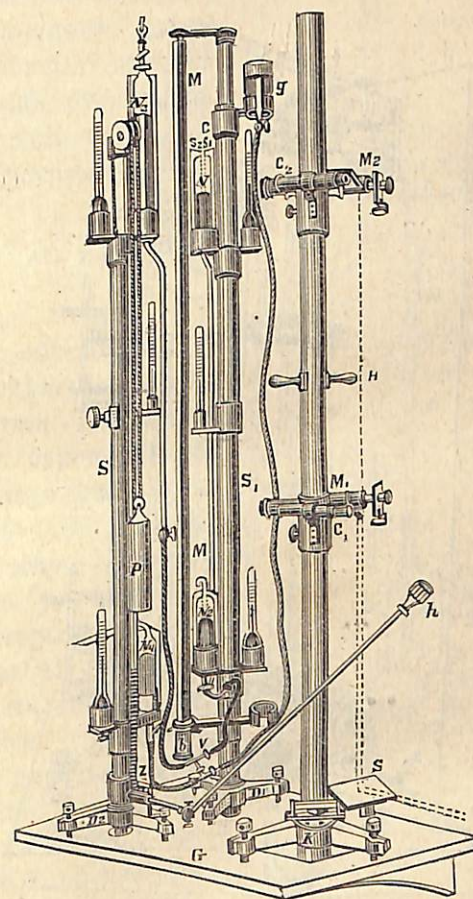
Спустя лѣтъ десять, въ 1866 или 67 г., Вильдъ устроилъ въ Бернѣ нормальный барометръ, воплотившій въ себѣ идею того аппарата, который былъ сдѣланъ Вильдомъ же, нѣсколько

позже, для Главной Физической обсерваторіи въ С.-Петербургѣ и который представленъ на рис. 25 (для объясненія его плана см. рис. 31).

Въ продолженіе слѣдующихъ десяти лѣтъ Вильдъ, Неймайеръ, Гельманъ и другіе много работали и хлопотали по части устройства новыхъ нормальныхъ барометровъ, и вотъ въ 1881 г. Фуссъ представилъ свой барометръ (рис. 26) въ лабораторію правительственнаго учрежденія для мѣръ и вѣсовъ въ Берлинѣ.

Этотъ барометръ, какъ и барометръ Перне, построенный съ тому же времени въ Международномъ Бюро мѣръ и вѣсовъ въ Севрѣ, были сдѣланы въ главныхъ чертахъ по идеѣ Вильда. Около 1882 г. былъ представленъ нормальный барометръ Марека (рис. 27) въ Международное Бюро мѣръ и вѣсовъ въ Севрѣ, а въ 1883 году Неймайеръ приобрѣлъ новый нормальный барометръ Фусса (рис. 28) для Deutsche Seewarte въ Гамбургѣ.

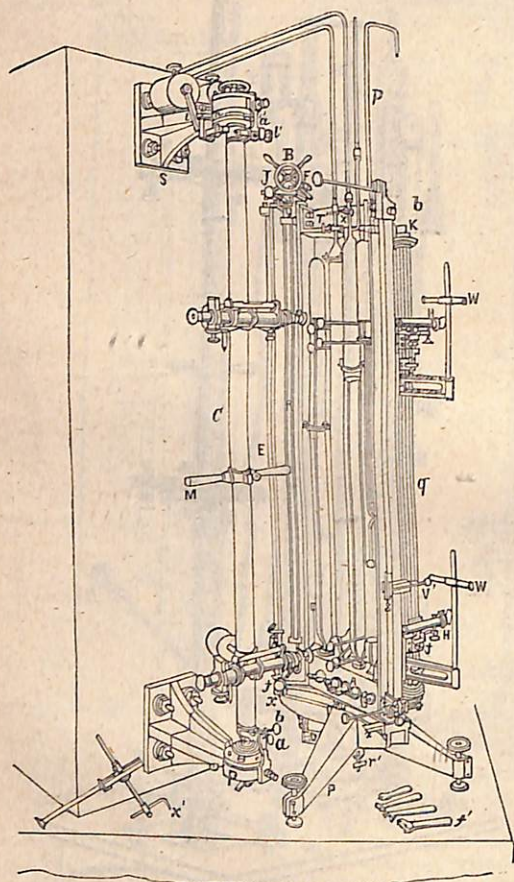
Нормальный барометръ новой конструкціи былъ построенъ въ 1885 — 1886 г. Зунделемъ (Sundell) въ Гельсингфорсѣ (рис. 29), по плану, опубликованному имъ же самимъ нѣсколько ранѣе. Послѣднія прибавленія въ этому списку нор-



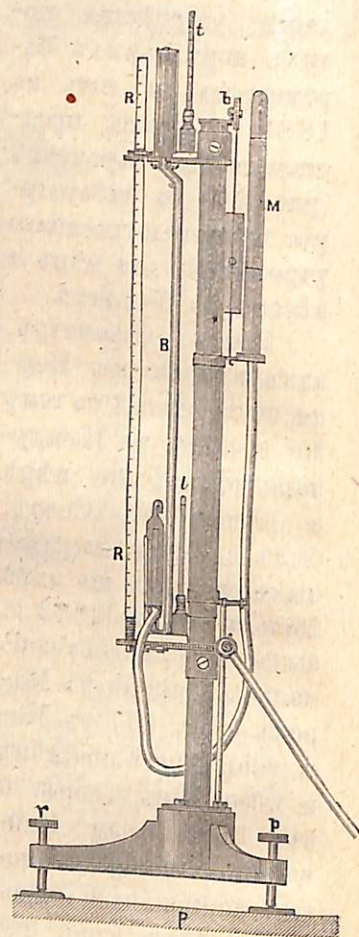
Фиг. 26.

мальных барометровъ были сдѣланы Вильдомъ въ Павловской Обсерваторіи въ Россіи въ 1891 и 1892 гг.

Вообще всѣ нормальные барометры могутъ быть раздѣлены на двѣ категоріи: инструменты Реньо и Кью составля-



Фиг. 27.



Фиг. 28.

ютъ первую категорію, въ которой прямая барометрическая трубка опускается въ чашечку со ртутью, и методы отсчитыванія верхняго и нижняго мениска различны. Всѣ остальные нормальные барометры, введенные въ употребленіе Вильдомъ,

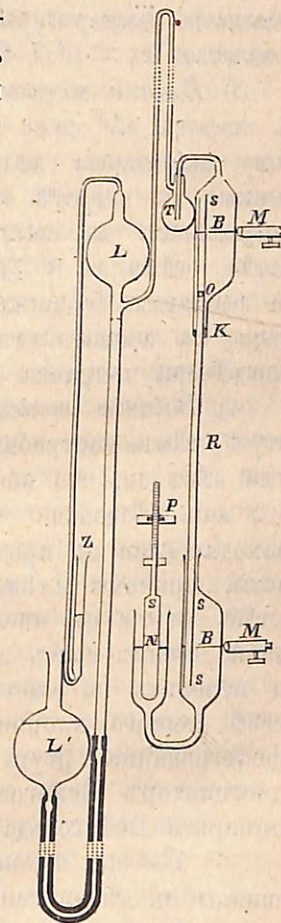
относятся ко второй категоріи, барометровъ сифонно-резервуарныхъ, въ которыхъ приемы для наблюденія обоихъ менисковъ ртути, нижняго и верхняго, совершенно одинаковы. Построенный по этому типу нормальный барометръ Deutsche Seewarte въ Гамбургѣ изображенъ со всѣми подробностями на рис. 28 (принадлежащій къ нему манометръ здѣсь не помѣщенъ). Специальныя отличія всѣхъ этихъ барометровъ будутъ объяснены особо, при описаніи ошибокъ, свойственныхъ этимъ инструментамъ.

Источники ошибокъ въ барометрахъ.

Есть много причинъ, обуславливающихъ ошибки при опредѣленіи истиннаго атмосфернаго давленія. Реньо желалъ, чтобы ошибка его барометра не превышала 0.10 мм. Вильдъ допускаетъ погрѣшность только въ 0.01 мм. и принялъ къ этому всѣ мѣры при постройкѣ петербургскаго нормального барометра (рис. 25), который онъ считаетъ (и я вполне согласенъ съ этимъ) за единственный ¹⁾ нормальный барометръ требуемой точности.

Я даю здѣсь краткій перечень причинъ погрѣшностей и необходимыя указанія для пизведенія ихъ къ 0.01 мм.

1) *Вліяніе измѣненій температуры ртути.* При обыкновенной температурѣ, скажемъ 20° С., средняя температура ртутнаго столба на всемъ его протяженіи должна быть опредѣлена съ точностью до ± 0.07 С. Это опредѣленіе можетъ быть сдѣлано чрезъ плотное сближеніе двухъ или трехъ



Фиг. 29.

¹⁾ Въ послѣдніе годы акад. Вильдъ построилъ еще два нормальныхъ барометра. Ред.

термометровъ съ барометрической трубкой, причемъ шарикъ термометровъ должны быть погружены въ стеклянныя трубки съ ртутью, которыхъ діаметръ долженъ равняться діаметру трубки барометра.

2) *Вліяніе температуры мѣдной шкалы.* При 20° С. показаніе температуры шкалы должно быть опредѣлено съ точностью въ $\pm 0^{\circ}.7$ С.

3) *Вліяніе измѣненія силы тяжести.* На уровнѣ моря въ широтѣ 45° сила тяжести принята за нормальную, а потому наблюденія надъ атмосфернымъ давленіемъ, произведенныя въ широтѣ 45° и на уровнѣ моря, не подлежатъ исправленію на силу тяжести; въ мѣстахъ же, удаленныхъ болѣе, чѣмъ на $8'$ (двѣ географическія мили) отъ 45° , и на высотахъ, большихъ, чѣмъ на 42 метра надъ уровнемъ моря, къ показаніямъ ртутныхъ барометровъ должна быть примѣнена поправка на измѣненіе силы тяжести.

4) *Вліяніе нечистоты ртути.* Гораздо легче очистить ртуть, чѣмъ, употребивъ нечистую, опредѣлять затѣмъ удѣльный вѣсъ ея, что необходимо для избѣжанія ошибки болѣе 0.2 мм. Довольно чистую ртуть можно получить, вымывъ находящуюся въ продажѣ въ слабомъ растворѣ азотной кислоты, причемъ слѣдуетъ встряхивать бутылку, содержащую смѣсь ртути съ кислотой, почаще въ теченіе нѣсколькихъ дней, затѣмъ слить кислоту, а ртуть промыть чистой водой и перелить въ чистый стеклянный сосудъ, заключающій въ себѣ немного хлористаго желѣза; желѣзо смывается и профильтрованная ртуть готова для перегонки, производимой на дистилляторѣ Вейнгольда или Wright'a (измѣненная форма аппарата Вейнгольда).

5) *Вліяніе наклоннаго положенія шкалы.* При установкѣ шкалы съ дѣленіями должно быть обращено особенное вниманіе, чтобы направленіе ея было вертикальное и чтобы она была укрѣплена очень прочно въ избѣжаніе смѣщенія при сотрясеніи. Отвѣсъ, привѣшенный на прочной подпоркѣ, указываетъ вертикальность достаточно вѣрно.

6) *Вліяніе ошибокъ шкалы.* Единственный способъ отыскать ошибки шкалы есть сравненіе ея съ нормальной шкалой извѣстной точности. Сравненіе это должно быть сдѣлано

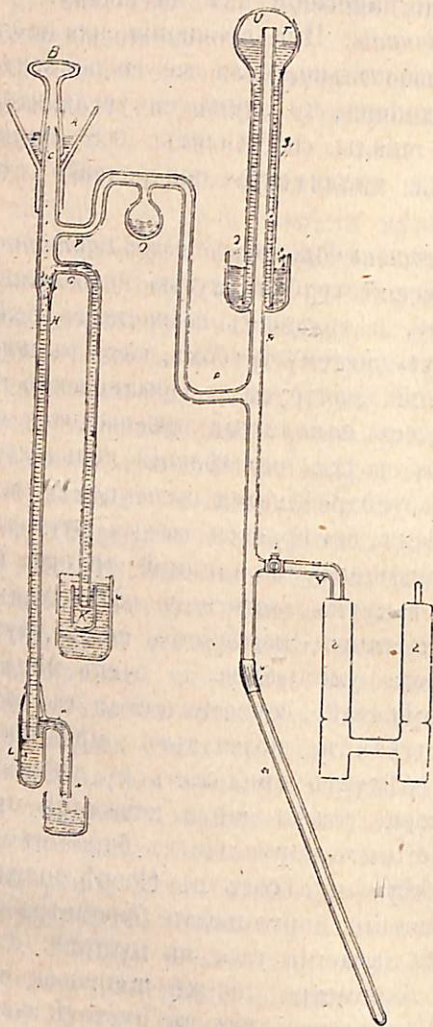
не только для крайнихъ точекъ, но и для двѣнадцати точекъ на ея протяженіи. Точность дѣленій очень много зависитъ отъ тщательности работы при нанесеніи ихъ на шкалу.

7) *Вліяніе растяженія шкалы.* При сравненіи шкалы съ нормальной она лежитъ горизонтально, если же ее повѣсить вертикально за ея верхній конецъ, то длина ея увеличится на 0.01 мм., если вѣсъ шкалы составляетъ 0.8 килограмма на каждый квадратный миллиметръ поперечнаго сѣченія.

8) *Вліяніе газа находящагося въ барометрической пустотѣ.* При наполненіи барометрической трубки ртутью невозможно получить абсолютную пустоту, и трудность возрастаетъ, если приходится наполнять сложную систему трубокъ, какъ въ нормальномъ барометрѣ новѣйшей конструкціи. Обыкновенно въ лучшихъ барометрахъ процессъ наполненія производится со всевозможной тщательностью, а для опредѣленія количества газа, оставшагося въ пустотѣ, употребляется вышеупомянутый методъ Араго, т.-е. съ начала измѣряется высота ртутнаго столба тогда, когда ртуть опущена въ длинной трубкѣ по возможности низко, и длина вакуума достигаетъ нѣсколькихъ дюймовъ, — затѣмъ дѣлается второе измѣреніе, когда ртуть поднята въ трубкѣ, и пустота уменьшена до очень малаго размѣра. Разница двухъ измѣреній, сопоставленная съ объемомъ пустоты въ обоихъ случаяхъ, позволяетъ опредѣлить то давленіе газа, которое слѣдуетъ приложить къ дѣйствительнымъ показаніямъ прибора, чтобы найти показанія при абсолютной пустотѣ. Для одного изъ нормальныхъ барометровъ въ Международномъ Бюро мѣръ и вѣсовъ въ Севрѣ должна быть сдѣлана поправка показанія нормального барометра на $+ 0.13$ мм., зависящая отъ давленія газа въ пустотѣ. Для петербургскаго нормального барометра та же поправка составляетъ около 0.06 мм. Количество газа въ пустотѣ зависитъ главнымъ образомъ отъ способа наполненія трубокъ ртутью.

Лучшій способъ наполненія практикуется Вильдомъ въ Петербургѣ, онъ же принятъ и въ Севрѣ: послѣ очистки ртути по методу Вейнгольда, ртуть дистилируютъ непосредственно въ трубку барометра, предварительно по возможности

совершенно освободивъ эту трубку (и всю систему трубокъ) отъ воздуха при помощи ртутнаго воздушнаго насоса ¹⁾.



Фиг. 30.

которая открываетъ и закрываетъ отверстие *E*. Ртуть попадаетъ изъ трубки *H* въ *L* и проходитъ черезъ *M* въ *N*, откуда ее перели-

¹⁾ См. соч. Вильда „Объ измѣреніи воздушнаго давленія“ въ „Repertorium für Meteorologie“ Band III, p. 145.

Вильдъ указываетъ еще въ 1874 году, что при наполненіи ртутью барометрическихъ трубокъ, онъ употреблялъ дистиллировочный аппаратъ Вейнгольда. Въ 1883 году я видѣлъ лично, что этотъ самый аппаратъ по прежнему былъ въ употребленіи и давалъ прекрасные результаты, почти безъ всякой опасности для барометрическихъ трубокъ.

Прилагаемый здѣсь рисунокъ (фиг. 30) представляетъ собою сдѣланный мною схематическій чертежъ этого аппарата. Рисунокъ представляетъ систему трубокъ, опорожненныхъ отъ воздуха. Части, находящіяся налѣво отъ точки *P*, составляютъ ртутный воздушный насосъ; *A* — резервуаръ со ртутью, служащій для наполненія насоса; *E* — маленькое отверстие, черезъ которое ртуть течетъ въ трубку *C*; протеканіе ртути регулируется ручкой *B*,

ваютъ опять въ *A*. Для ускоренія дѣла употребляется трубка *G* (длиною менѣе 30 дюймовъ); *I* и *K* наполняются ртутью, которая поднимается вверхъ по *G* и проходитъ въ *L* черезъ *H*. Ртуть, предназначенная для дистиллировки и наполненія барометрической трубки, послѣ промыванія кислотою, наливается въ *Q*; *W* — это барометрическая трубка, которую надо наполнить, а *V* — короткий отръзокъ изъ резины (невулканизированной, соединяющей *W* съ длинной стеклянной трубкой *R*; мѣста соединенія залиты сургучомъ (еще лучше парафиномъ, который не грязнитъ ртуть); *ZZ* — приспособленія для высушиванія воздуха; *X* — кранъ; *R* — длинная трубка, проходящая отъ *X* вверхъ, чрезъ *Q*, внутри трубки *S*, до *T*, гдѣ помѣщается ея открытый конецъ. *US* — трубка, опущенная открытымъ концомъ въ ртуть *Q*, и оканчивающаяся наверху баллономъ *T* (около пяти или шести дюймовъ въ діаметрѣ). Газовое пламя для нагрѣванія ртути помѣщается какъ разъ подъ баллономъ *T* и охватываетъ трубку *S*. Когда какъ разъ подъ баллономъ *T* перегонка ртути, налитой въ *Q*, то желаютъ приступить къ перегонкѣ ртути, налитой въ *Q*, то наливаютъ нѣсколько ртути въ *A*, *K* и *I*, кранъ *X* открываютъ и; при помощи поворачиванія или подниманія *B* для соединенія *A* съ *C* черезъ отверстіе *E*, заставляютъ ртуть течь черезъ *C* въ *L* и гнать вмѣстѣ воздухъ, который проходитъ чрезъ систему осушивающихъ трубокъ *ZZ*; этотъ процессъ повторяется до тѣхъ поръ, пока весь воздухъ въ трубкахъ аппарата будетъ замѣненъ осушеннымъ; полезно во время этой манипуляціи то открывать, то закрывать кранъ *X*. По окончаніи высушиванія, кранъ *X* запираютъ, и тогда начинаютъ разрѣжать воздухъ, дѣйствіемъ воздушнаго насоса; при этомъ ртуть изъ *Q* устремляется въ *S* (трубку, окружающую *R*) и наполняетъ ее до *T*, то есть почти до отверстія трубки *R*; другая же часть ртути течетъ изъ *K* въ *G* и внизъ — въ *H*. Когда воздухъ удаленъ совсѣмъ изъ системы, тогда подъ *T* зажигаютъ газъ, и ртутные пары изъ *T*, наполнивъ *U*, поступаютъ въ охлаждающую трубку *R*, здѣсь, сгустившись, ртуть падаетъ въ барометрическую трубку; часть же паровъ, попавшая въ *P*, сгущается въ *O*. Когда *W* наполнено чистой ртутью, пламя тушатъ, *X* открывается и воздухъ впускается въ трубки; барометриче-

ская трубка отдѣляется отъ трубки *R* посредствомъ растапливанія сургуча, которымъ она залита, и можетъ быть сейчасъ же пущена въ дѣло. Во время наполненія барометрической трубки пузырьки слѣдуетъ изгонять изъ трубки съ помощью бунзеновой горѣлки, которую перемѣщаютъ вдоль барометрической трубки, направляя пламя на то мѣсто, гдѣ появляются эти пузырьки.

Для наполненія барометра Вильда — Фусса контрольного типа, съ трубкой въ 11 миллиметровъ въ діаметрѣ, необходимо около 375 ± 25 граммовъ ртути предварительно тщательно вымытой въ кислотѣ или хлористомъ желѣзѣ. Первую порцію ртути лучше перегонять въ особую трубку, чтобы устранить окись ртути, которая получается въ началѣ перегонки; а потомъ уже замѣнить трубку настоящей барометрическою трубкою. Если дистилляторъ постоянно находится въ дѣлѣ, то эта предосторожность излишня. Весь процессъ удаленія воздуха изъ трубокъ требуетъ отъ тридцати до пятидесяти минутъ, — шумъ ртути въ воздушномъ насосѣ свидѣтельствуетъ объ его окончаніи.

Для наполненія нормального барометра Сунделя (Sundell) въ Гельсингфорсѣ пользовался приборомъ, изображеннымъ на рис. 29. Верхнее отдѣленіе *B* сообщается съ сушильной *T*, въ которой помѣщается фосфорно-кислый ангидридъ, также съ воздушнымъ ртутнымъ насосомъ *LL'*, баллоны котораго *L* и *L'* имѣютъ въ объемѣ 193 кубическихъ сантиметра. Чистая ртуть наливается въ нижнее помѣщеніе *B*, и насосъ пускается въ ходъ. Нижній баллонъ *L'*, наполненный ртутью, поднимаютъ вверхъ до тѣхъ поръ, пока ртуть не достигнетъ баллона *L*, и не заполнитъ его (для чего понадобится подбавить ртути въ *L'*). Изъ *L* ртуть течетъ внизъ въ трубку *Z*, длиною болѣе 32-хъ дюйм.; изъ послѣдней ртуть уже не можетъ подняться обратно въ *L*. Опустивъ *L'*, мы заставимъ ртуть опорожнить *L*, оставляя въ *L* за собой пустоту, въ которую и устремляется воздухъ изъ системы барометрическихъ трубокъ. Поднявъ снова *L'*, мы наполнимъ опять *L* ртутью, причемъ воздухъ изъ *L* будетъ прогнанъ ртутью по трубкѣ *Z* наружу; когда ртуть изъ *L* наполнитъ *Z*, то *L'* опускаемъ и процессъ начинается

свизнова. Повторяя эту манипуляцію, мы будемъ удалять изъ барометрическихъ трубокъ новыя и новыя порціи воздуха и такимъ образомъ разрѣжать находящійся въ *B* воздухъ. По мѣрѣ разрѣженія воздуха ртуть изъ *L'* нижняго будетъ подниматься по *R* и съвозъ *O* наполнять верхнее *B*. Разрѣженіе доводятъ до высшей степени, чтобы *B* верхнее наполнилось ртутью возможно выше, — тогда *L'* опускаютъ и ртуть занимаетъ положеніе, показанное на рис. 29. Сундель утверждаетъ, что давленіе газа въ вакуумѣ можетъ быть уменьшено до 0.005 мм. при помощи такого процесса.

9) *Вліяніе капиллярности.* Очень мало довѣрія заслуживаютъ поправки на капиллярность для мелкокалиберныхъ трубокъ. Чтобы ошибка, зависящая отъ явленія капиллярности была менѣе 0.01 мм., барометрическая трубка должна имѣть по крайней мѣрѣ 24 мм. (около дюйма) въ діаметрѣ, и передъ каждымъ наблюденіемъ ртуть слѣдуетъ поднимать въ обоихъ колѣнахъ трубки. Въ нормальныхъ барометрахъ въ Гельсингфорсѣ (рис. 29) и Павловскѣ трубки на уровняхъ ртути имѣютъ діаметръ въ 40 миллиметровъ.

Въ нормальныхъ барометрахъ Вильдовой системы ртуть заставляють подниматься, поднимая придаточный резервуаръ *M* (фиг. 28), а Сундель придѣлалъ для этой цѣли стержень *N*, который погружается въ ртуть винтовымъ движеніемъ (рис. 29).

10) *Вліяніе ошибокъ въ отчетахъ высоты ртутнаго столба.* Чтобы уменьшить ошибку въ показаніяхъ до условнаго предѣла (0.01 мм.), указаннаго нами выше, должны быть приняты большія предосторожности во всѣхъ деталяхъ отсчитыванія показаній барометра. До 1873 г. не было барометра, показанія котораго обладали бы указанною точностью. Необходимыя предосторожности могутъ быть распределены по слѣдующимъ группамъ:

а) Показанія должны наблюдаться при одинаковой кривизнѣ обоихъ ртутныхъ менисковъ, и способъ визированія обоихъ уровней долженъ быть, сколь только возможно, одинаковъ. При такомъ устройствѣ исключается вліяніе капиллярной погрѣшности и личныхъ ошибокъ наблюдателей. Въ барометрѣ Фортеня, гдѣ верхній и нижній мениски различны, не можетъ быть достигнута желаемая точность. Тоже можно сказать про

барометръ Реньо (рис. 23), въ которомъ сначала наблюдается въ подзорную трубу катетометра ртутный менискъ, обозначенный черезъ *A*, а затѣмъ верхушка винта *M* опредѣленной длины.

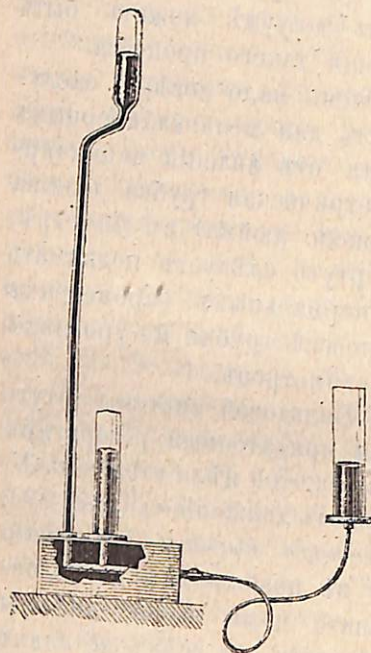
Современный методъ изгибать трубки сифоннаго барометра такъ, чтобы нижній менискъ ртути находился на одной вертикали съ верхнимъ, позволяетъ помѣщать визиры въ одина-

ковыхъ положеніяхъ при шкалѣ, которая должна быть вертикальна, и такимъ образомъ избѣгать второстепенныхъ погрѣшностей. Это хорошо видно на рис. 28, 29, а также на 31-омъ.

б) Ртуть должна быть опускаема въ обоихъ колѣнахъ послѣ того, какъ дѣлается отчетъ, во избѣжаніе загрязненія трубки въ мѣстахъ наблюденія; это достигается иногда при помощи введенія въ сифонъ другой трубки (изъ резины), оканчивающейся маленькимъ резервуаромъ съ ртутью (рис. 31), который можетъ быть по желанію поднятъ или опущенъ, и такимъ образомъ измѣнять высоту ртути въ обоихъ колѣнахъ барометра.

с) При обыкновенномъ катетометрѣ для опредѣленія высоты ртути только наиболѣе

опытный наблюдатель, сдѣлавъ тщательную установку, можетъ получить желаемую точность; причина погрѣшностей лежитъ во вліяніи лучистой теплоты тѣла, отражающемся на шкалѣ и ртути потому, что микроскопъ долженъ быть помѣщенъ не въ далекомъ разстояніи отъ барометрической трубки. Во всѣхъ новѣйшихъ барометрахъ шкала катетометра помѣщена подлѣ самой барометрической трубки, а двѣ подзорныя трубки укрѣплены на вертикальномъ стержнѣ въ разстояніи нѣсколькихъ футовъ отъ шкалы и баро-



Фиг. 31.

метра. Если надо отсчитать барометръ, горизонтальные нити подзорной трубы направляются на верхній и нижній менискъ ртути, и затѣмъ труба поворачивается слегка около вертикальной оси такъ, чтобы въ полѣ зрѣнія трубъ появились дѣленія шкалы, отсчитываемыя затѣмъ при помощи окулярныхъ микрометровъ. Такое расположеніе частей изображено на рис. 27 (мѣдная шкала *RR* направо); старинный же, менѣе точный, способъ наблюденія представленъ на рис. 23.

Въ Гельсингфорскомъ барометрѣ (фиг. 29) шкала нанесена прямо на стеклянную трубку *SSSS* и отсчитывается при помощи микрометра *ММ*. Подобный же методъ предложенъ Тизеномъ (Thiesen), и онъ уменьшаетъ ошибку до вышеуказаннаго предѣла.

д) Очень важно быть увѣреннымъ, что отсчитанная высота относится до истиннаго уровня поверхности ртути. Чтобы достигнуть этого, были испробованы различные способы освѣщенія, и постоянно дѣлались усовершенствованія. — Вначалѣ пользовались бѣлою бумагою или зеркальною поверхностью или какимъ-нибудь инымъ иллюминаторомъ, помѣщаемымъ позади барометрической трубочки; темная поверхность ртути, выдѣляясь на свѣтломъ фонѣ, могла быть довольно ясно наблюдаема. Въ Вильдовомъ нормальномъ барометрѣ (см. *G* и *G'* направо на рис. 25) во избѣжаніе отраженія свѣта отъ свѣтлаго фона въ зеркальной поверхности ртути, верхняя половина иллюминатора дѣлается черною; при наблюденіи въ зрительную трубу иллюминаторъ представляется въ видѣ пластинки, которой верхняя половина черная, а нижняя — бѣлая, причемъ раздѣльная линія между ними устанавливается какъ разъ надъ ртутнымъ менискомъ, такъ что край его ясно выдѣлится на бѣломъ фонѣ, и тѣмъ рѣзче, что бѣлая поверхность отбѣняется чернымъ фономъ. Если приходится отсчитывать барометръ съ помощью микроскопа, то пластинка будетъ видна въ обратномъ положеніи, т.-е. бѣлой половиной вверхъ, а черной внизъ.

Для нормальнаго барометра Фусса 1881 года (см. рис. 26-ой), помѣщеннаго въ Берлинскомъ Бюро нормальныхъ мѣръ, примѣняется иной способъ освѣщенія при помощи рефлекторовъ. Здѣсь барометръ устанавливается въ темномъ

подземелья, которое освещается газом. Лучи света, направляемые параллельно посредством двояковыпуклого стекла, падают на зеркало S и отражаются вверх на зеркала коллиматоров C_1 и C_2 проходят сквозь коллиматоры и освещают деления, которые должны быть прочтены в подзорную трубу; позади ртутного мениска находятся двойные рефлекторы (см. S_1 S_2 в N), на некотором расстоянии друг от друга. Левая сторона переднего отверстия коллиматора задвигается поперечной задвижкой, с острым горизонтальным ребром, имѣющим слабое движение по вертикали при помощи винта. Из правой половины отверстия коллиматора свет падает на шкалу с делениями и освещает ее, через левую же половину он проникает до рефлектора S_1 , отражается къ S_2 и, наконец, пройдя над вершиной ртутного мениска, возвращается назад къ микроскопу. Изображение острого поперечного ребра задвижки коллиматора усматривается въ центрѣ ртутной поверхности послѣ двойного отражения и отлично видно через трубу. Въ сущности это приспособление представляет собой то же самое, что соединеніе благо и черного фона въ барометр Вильда (фиг. 25), но оно болѣе удобно и, кажется, способствуетъ получению болѣе точныхъ результатовъ. Однако наилучшимъ методомъ для опредѣленія высоты ртутного мениска можно считать методъ Марека, употребляемый для нормальныхъ барометровъ въ Международномъ Бюро мѣръ и вѣсовъ въ Севрѣ (фиг. 27). Еще въ 1873 г. Вильдъ пользовался для точнаго опредѣленія высоты ртути въ открытой трубкѣ иглою, которую онъ опускалъ почти до соприкосновенія съ вершиною мениска ртути. Въ ртути появляется точное изображение острія, и если поперечныя нити микроскопа направить сначала на это отраженное изображение, а потомъ на кончикъ самого острія иглы, то среднее изъ этихъ двухъ показаній даетъ высоту ртутного мениска съ большой точностью (въ чемъ каждый можетъ легко убедиться изъ опыта, именно разсматривая въ горизонтальной плоскости отраженіе острія иглы въ ртути, налитой въ пробирку). Некоторые приписываютъ этотъ способъ наблюденія Цернети. Не такъ легко имъ пользоваться, когда имѣемъ дѣло съ запаянной трубкой, но Марека нашелъ способъ по-

бѣдить затрудненія. При помощи коллиматора, какъ показано на рисункѣ 27, съ правой стороны при HH , можно получить дѣйствительное изображеніе перекрестныхъ нитей внутри барометрической трубки, какъ разъ надъ поверхностью мениска ртути; тогда наблюдаются высота этого изображенія и его отраженія во ртути, и ихъ средняя даетъ истинную высоту ртути. То же самое дѣлается и для другого мениска ртути, находящагося въ нижнемъ колѣнѣ барометрической трубки. Такимъ образомъ ошибка барометрическаго показанія, по вычисленію Марека, можетъ быть уменьшена до 0.0015 мм. Такой результатъ превосходить даже требуемый предѣлъ точности, а самый методъ отличается такой простотой приѣмовъ, что навѣрное получитъ широкое примѣненіе. Тизенъ предложилъ свое видоизмѣненіе того же способа: онъ пользовался широкой барометрической трубкой, такъ что наблюдаемая имъ ртутная поверхность имѣла 40 мм. въ діаметрѣ, а остріе карандаша или другого какого-нибудь заостреннаго предмета онъ помещалъ внѣ трубки, но вблизи отъ нея, такъ что оно было видно непосредственно; а отраженное изображение вырисовывалось отчетливо на ртутной поверхности; при этомъ шкала можетъ быть нанесена прямо на барометрическую трубку, — такимъ образомъ дѣло значительно упрощается. Этотъ методъ былъ принятъ Сунделемъ и представленъ у насъ на рис. 29, гдѣ шкалы деленій изображены между SS и SS , напротивъ микроскоповъ MM . (Надо замѣтить, что фиг. 29 есть только эскизъ расположенія настоящаго аппарата). Вильдъ воспользовался Тизеновскимъ методомъ при построеніи новаго нормального барометра въ Павловскѣ. Для освѣщенія при всѣхъ этихъ работахъ, конечно, предпочтительнѣе всего электрический свѣтъ.

Въ нормальномъ барометрѣ въ Кью (фиг. 24) имѣются два стальныхъ заостренныхъ внизу указателя, около двухъ дюймовъ длины. Верхній указатель имѣетъ видъ ножика, закругленнаго по формѣ верхняго мениска, а другой указатель представляетъ собою просто остріе; оба приводятся въ соприкосновеніе съ ихъ изображеніями. Предъ отсчитываніемъ, вращаютъ барометръ около вертикальной оси и такимъ образомъ производятъ легкое вертикальное движеніе ртутного

столба, являющееся результатом центробѣжной силы въ чашечкѣ со ртутою.

е) Значительное вниманіе должно быть обращено еще на одну ошибку, которая легко можетъ вкратиться въ показанія барометра и зависить отъ вліянія вѣтра. Если барометръ защищенъ отъ вѣтра или стоитъ на вѣтру, то даваемые имъ показанія уменьшаются нѣсколько въ первомъ случаѣ и увеличиваются во второмъ. Теоретически не удастся вполне строго высчитать величину ошибки, являющейся слѣдствіемъ вліянія вѣтра. Аббе вычислилъ слѣдующія величины увеличенія давленія на подвѣтренной сторонѣ:

Вѣтеръ. Мили въ часъ.	20	40	60	80	120
Увеличеніе барометрич. давленія въ дюймахъ	0.015	0.061	0.138	0.383	0.548

Чтобы опредѣлить величину ошибки эмпирически, были сдѣланы въ 1886 г. опыты на горѣ Вашингтона въ Соедин. Штатахъ, на станціи Signal Service; результаты ихъ сведены въ нижеслѣдующей таблицѣ. Однако надо замѣтить, что при этихъ опытахъ невозможно было вполне точно отсчитывать барометръ вслѣдствіе дрожанія, сообщаемого сильнымъ вѣтромъ, всему зданію, а слѣдовательно, и инструменту.

Дата.	Вѣтеръ.			Вліяніе на барометръ открыванія.				
	Направленіе.	Средн. скор. (мил. въ часъ)	Порывы (мил. въ часъ)	Печныхъ трубъ.	Завѣтрен. оконъ.		Навѣтр. оконъ.	
				Вліяніе.	Направленіе оконъ.	Вліяніе.	Направленіе оконъ.	Вліяніе.
1886 г.				Дюймы.		Дюймы.		Дюймы.
Сент. 29	W. N. W.	65	85	—0,005	E.N.E.	—0,014	W. S. W.	+0,029
Сент. 29	W. N. W.	65	85	+0,003	E.N.E.	—0,008	W. S. W.	+0,045
Окт. 15	W. S. W.	70	85	+0,006	E.N.E.	—0,011	W. S. W.	+0,045
Окт. 21	W. S. W.	65	80	+0,003	E.N.E.	—0,018	W. S. W.	+0,062
Окт. 22	N. N. W.	70	90	—0,006	E.N.E.	—0,025	W. S. W.	+0,032

СРАВНЕНІЕ ОБРАЗЦОВЫХЪ ИЛИ НОРМАЛЬНЫХЪ БАРОМЕТРОВЪ.

Когда въ разныхъ странахъ были построены истинные нормальные барометры, то было найдено весьма важнымъ сравнить ихъ между собою и также со старыми образцовыми барометрами или эталонами. Въ этомъ смыслѣ высказывался профессоръ Неймейеръ въ Гамбургѣ. Съ теченіемъ времени были сдѣланы не только многочисленныя сравненія различныхъ эталоновъ, исполненныя во время путешествій отдѣльными метеорологами, но также цѣлые ряды сравненій международныхъ эталоновъ, сдѣланные лицами, перевозившими барометры съ мѣста на мѣсто специально съ цѣлью опредѣлить возможно точно разницу, существующую между эталонами и такъ называемыми нормальными барометрами. Результаты, достигнутые при этомъ, были далеко неудовлетворительны и показали, насколько Вильдъ былъ правъ, настаивая, что бы каждое метеорологическое учрежденіе имѣло свой собственный, хорошо изученный нормальный барометръ, и не пользовалось бы, какъ это дѣлалось обыкновенно, простымъ барометромъ, какъ эталономъ, прежде чѣмъ вѣрность его будетъ установлена сравненіемъ (посредственно или непосредственно) съ истиннымъ нормальнымъ барометромъ, находящимся хотя бы и въ удаленномъ пунктѣ.

Гельманъ ¹⁾ (изъ Берлина) сравнивалъ въ разное время многіе образцовые европейскіе барометры между собой, но результаты его работъ не были собраны и приведены въ какую либо систему, потому они не включены въ приложенную здѣсь таблицу. Въ 1881 г. Кистони, изъ Рима, возилъ по разнымъ странамъ Европы хорошій переносный барометръ и сравнивалъ его съ мѣстными эталонами, не преслѣдуя, впрочемъ, какъ мнѣ кажется, цѣли дать сравненіе показаній этихъ послѣднихъ. Въ 1883 году Ф. Вальдо дѣлалъ сравненія не только въ Европѣ, но позже и въ Америкѣ, поль-

¹⁾ Еще ранѣе была совершена барометрическая экскурсія М. А. Рыкачевымъ.

зуюсь переносными барометрами Вильдъ-Фуссовскаго образца числомъ до 4-хъ (фиг. 20). Въ 1886 году Сундель (изъ Гельсингфорса) при помощи барометра, перевозимаго имъ со станціи на станцію, съ опорожненной отъ ртути трубкой, сдѣлалъ наиболѣе обширные ряды сравненій изъ всѣхъ, которые когда либо получались. Я не могу не выразить сожалѣнія по поводу того, что Сундель не бралъ съ собой также барометра обыкновеннаго устройства, съ трубкою, постоянно наполненною ртутью. Въ 1887 г. Броуновъ изъ Петербурга также сравнилъ одинъ барометръ съ различными европейскими эталонами. Результаты этихъ четырехъ серій сравненій, которые свидѣтельствуютъ о настоящемъ состояніи нашихъ знаній, находятся на страницѣ 77-ой. Знакъ I, поставленный послѣ названія барометра, показываетъ, что сравненіе было произведено не непосредственно съ нормальнымъ барометромъ, а при помощи принадлежащаго къ нему второстепеннаго прибора, поправка котораго относительно нормальнаго была известна.

Цифры, заключенныя въ скобкахъ и помѣщенные послѣ результатовъ, собранныхъ Вальдо, показываютъ количество переносныхъ барометровъ, бывшихъ въ дѣлѣ. Въ этихъ рядахъ наблюденія, произведенныя въ Берлинѣ и отчасти въ Петербургѣ, были сдѣланы не самимъ Вальдо, а мѣстными метеорологами.

Въ послѣднемъ столбцѣ помѣщены поправки къ нѣсколькимъ барометрамъ, принятыя тѣми учрежденіями, въ которыхъ эти барометры находятся, для приведенія показаній ихъ къ показаніямъ избранныхъ эталоновъ; поправки эти собраны Сунделемъ въ 1886 или 1887 г. для всѣхъ странъ, за исключеніемъ Торонто въ Канадѣ, для которыхъ ихъ далъ Вальдо въ 1883 г.; и въ результатахъ, представленныхъ въ этой таблицѣ, онѣ приняты во вниманіе. Эта таблица, составленная Шенрокомъ въ Петербургѣ, здѣсь слегка дополнена. Отрицательный знакъ, поставленный передъ цифрой, указываетъ на то, что поправка вычитается изъ показаній барометра; если же передъ цифрой нѣтъ знака, то это означаетъ, что надо подразумѣвать плюсъ.

Таблица результатовъ международныхъ сравненій барометровъ.

№	Мѣста, гдѣ произведены сравненія.	Учрежденія въ которыхъ дѣлались сравненія.	Типы барометровъ бывшихъ въ дѣлѣ.	Поправки для приведенія къ нормальному Петербургскому барометру.			
				Ки-стони 1881.	Вальдо 1883.	Сун-дель 1886.	Броу-новъ 1887.
				м.м.	м.м.	м.м.	м.м.
1	Парижъ.	Центр. Метеор. Бюро	Реньо I.	-0,04	-0,05(2)	0,16	0,11
2	"	Астроном. Обсерват.	Фортенъ.	—	0,10(2)	—	—
3	"	Международное Бюро мѣръ и вѣсовъ (Севръ).	Вильдъ-Перне I. Марекъ I. Шаппо I.	—	-0,24(2)	—	—
4	Берлинъ.	Метеорол. Инстит.	Фуссъ № 76.	—	-0,04(1)	0,21	0,10
5	"	Комиссія нормальн. мѣръ.	Грейнеръ № 320. Нормал. Баром. I.	-1,16	—	0,32	-0,02
6	Вѣна.	Централ. Метеорол. Институтъ.	Писторъ № 279.	—	-0,25(3)	-0,05	—
7	Гамбургъ.	Германская Морск. Обсерваторія.	Нормал. Барометръ I.	-0,17	-0,08(3)	0,13	0,11
8	Кью.	Обсерваторія.	Эталонъ.	0,11	-0,04(4)	0,14	0,07
9	Римъ.	Обсерваторія.	Делюиль № 6.	-0,01	-0,10(2)	-0,05	—
10	Стокгольмъ	Академія Наукъ.	Писторъ и Мартенсъ № 579.	-0,02	—	—	—
11	Христіан.	Метеорол. Инстит.	Вильдъ-Фуссъ № 214.	0,00	—	0,06	—
12	Копенгаг.	"	Юнгерь и К°. Вильдъ-Фуссъ № 87.	-0,11	—	-0,05	+0,12
13	Брюссель.	Астроном. Обсерв.	Фортенъ Тоннело.	—	—	0,28	-0,15
14	Утрехтъ.	Метеорол. Инстит.	Бекеръ.	—	—	0,17	0,18
15	Цюрихъ.	Швейцар. Централ. Учрежденіе.	Вильдъ-Фуссъ № 168. Фуссъ, Сиф.-баром.	—	—	-0,44	-0,32
16	Мюнхенъ.	Метеорол. Инстит.	Вильдъ-Фуссъ № 43. Вильдъ-Фуссъ № 4.	—	—	-0,01	-0,16
17	Хемницъ.	"	Вильдъ-Фуссъ № 163.	—	—	0,05	-0,08
18	Гельсингфорсъ.	Лабораторія пр. Сун-деля.	Нормал. барометръ.	—	—	0,08	—
	"	Метеорол. Инстит.	Вильдъ-Фуссъ № 129.	—	—	0,00	+0,12
	"	"	Казелла. № 1155.	—	—	0,13	—
	"	"	Гиргенсонъ.	—	—	—	—
19	Вашингтъ.	Сигнальное бюро.	Эталонъ.	—	-0,18(4)	—	—
20	Торонто.	Канадская Метеорол. Обсерваторія.	Ньюманъ 33.	—	-0,09(1)	—	-0,18

Поправка приведенія къ действительнымъ показаніямъ мѣстныхъ эталоновъ, для приведенія къ избранному эталону.

Какъ видно изъ приложенной здѣсь таблицы недавнихъ сравненій образцовыхъ барометровъ, результаты, полученные разными изслѣдователями, совершенно противорѣчатъ другъ

другу. Въ 1889 г. Шенрокъ сдѣлалъ попытку дать объясненіе этимъ противорѣчіямъ, но оказался въ силахъ сдѣлать только общій разборъ причинъ. Въ 1890 г. Кёппенъ (Köppen) подвергнувъ этотъ предметъ болѣе основательному изученію и съ нѣскольکو болѣе большимъ успѣхомъ, но и онъ не могъ выяснитъ главной причины различія, существующаго между барометрами, впрочемъ, онъ нашелъ, что если внести поправку въ 0.09 мм. въ наблюденія Вальдо, относительно петербургскаго нормальнаго барометра, поправку $+ 0.10$ мм. въ наблюденія Сунделя и, наконецъ, поправку $- 0.06$ въ отсчеты Броунова, — тогда ихъ наблюденія будутъ очень мало разниться между собою. Нужно упомянуть, что по сравненіямъ Вильда новый нормальный Павловскій барометръ и нормальный Петербургскій совпадаютъ другъ съ другомъ, и въ 1889 г. Шенрокъ высказалъ мнѣніе, что только эти два да еще нормальный барометръ Сунделя въ Гельсингфорсѣ могутъ считаться для 1889 г. окончательно выбранными приборами, а ошибки ихъ точно изслѣдованными. Въ общихъ чертахъ причинами существующихъ несоотвѣтствій данныхъ вышеприведенной таблицы могутъ быть названы слѣдующія обстоятельства:

Внезапныя перемѣны въ показаніяхъ барометра, происходящія отъ перемѣщенія нѣкоторыхъ частей аппарата.

Постепенныя измѣненія, несомнѣнно случающіяся со всѣми барометрами въ болѣе или менѣе продолжительный срокъ.

Въ случаѣ если употребляется въ дѣло, посредствующій барометръ, то измѣненіе его показаній еще до сравненія съ нормальнымъ. Кратковременность вывѣрки и измѣненіе высоты барометра.

Различія освѣщенія, зависящія не только отъ суточного измѣненія свѣта, но также отъ того, что переносные барометры не всегда устанавливаются на той же высотѣ и въ томъ же положеніи при каждомъ сравненіи въ той или иной обсерваторіи. Однообразное искусственное освѣщеніе, разумѣется, можно рекомендовать, какъ лучшее для будущихъ опытовъ такого рода.

Несовершенство изслѣдованія ошибокъ нормальныхъ барометровъ, не оставляетъ возможности вѣрить въ неизмѣнность показаній, получаемыхъ въ различное время.

Измѣненія, зависящія отъ капиллярности во всѣхъ барометрахъ съ трубкой мелкаго калибра, также должны имѣть слѣдствіемъ различія того порядка, какъ въ большинствѣ сдѣланныхъ сравненій. Тщательные опыты А. М. Шенрока показываютъ, какія ошибки влечетъ за собою примѣненіе обычныхъ таблицъ поправокъ на капиллярность для барометровъ съ трубками разнаго діаметра.

Капиллярность въ барометрическихъ трубкахъ.

Капиллярная депрессія, въ барометрическихъ трубкахъ, въ значительной степени зависитъ отъ измѣненій высоты и формы ртутнаго мениска, которыя, слѣдовательно, оказываютъ существенное вліяніе на показаніе прибора. Вибе (Wiebe), Тизенъ (Thiesen) и многіе другіе занимались опредѣленіемъ абсолютной величины этихъ измѣненій, но здѣсь невозможно изложить всѣ результаты ихъ трудовъ. Такъ какъ измѣненія капиллярности обнаруживаются главнымъ образомъ въ нечистыхъ трубкахъ, то и на это обстоятельство слѣдуетъ обратить вниманіе. Шенрокъ сдѣлалъ нѣсколько очень интересныхъ сравнительныхъ опытовъ съ трубками разнаго діаметра, при чемъ бралъ за норму нормальный петербургскій барометръ, имѣющій трубку 25.2 мм. въ діаметрѣ. Онъ нашелъ, что:

1) Для трубки 12.8 мм. въ діаметрѣ въ зависимости отъ нечистоты ртути (содержаніе окиси), капиллярная депрессія колеблется между 0.23 мм. и 0.41 мм.; при сравнительно сухомъ воздухѣ надъ менискомъ ошибки были наиболѣе значительны, и тогда же получились высокія показанія барометра; если же воздухъ почти насыщенъ влагой, то депрессія имѣетъ постоянную величину около 0.33 мм. Трубочка такого же калибра, наполненная чистою ртутью, образуетъ въ сухомъ воздухѣ при депрессіи въ 0.39 мм. менискъ 1.71 мм. высоты, если при томъ ртуть поднимается медленно въ трубкѣ, и въ 1.44 мм. если она поднимается быстро.

2) Для трубки съ отверстіемъ въ 11.2 мм. при условіяхъ чистоты ртути и сухости воздуха депрессія измѣняется отъ 0.45 до 0.52 мм., при чемъ въ среднемъ равняется 0.49 мм.; въ влажномъ воздухѣ пониженіе колеблется между 0.43 и

0.47 мм., среднее составляет 0.45 мм. Высота мениска равняется 1.36 мм. во время быстрого подъема чистой ртути и 1.45 мм. при медленном движении.

3) Для трубки, имѣющей отверстіе 8.4 мм., депрессія колеблется между 0.69 и 0.83 мм., въ среднемъ составляет 0.78 мм. при сухости воздуха надъ ртутью и 0.71 мм. при влажномъ воздухѣ. Крайнія величины депрессіи были 0.56 и 0.85 мм. Высота мениска опредѣлилась въ 1.25 мм. при медленномъ поднятіи ртути и 1.05 мм. при быстромъ.

4) Для трубки въ 6.4 мм. діаметра измѣненія депрессіи при сухомъ воздухѣ происходили между 1.13 и 1.25 мм., въ среднемъ составляли 1.18 мм.; при влажномъ же воздухѣ между 0.95 и 1.09 мм., въ среднемъ 1.00 мм. Крайнія величины депрессіи были 0.91 или 1.34 мм. Высота мениска была 1.11 мм. при медленномъ и 0.80 мм. при быстромъ поднятіи. Эти разнообразныя выводы показываютъ, насколько мало заслуживаютъ довѣрія обыкновенно публикуемыя поправки на капиллярность трубокъ малаго діаметра, если требуется получить точныя показанія.

Анероидъ-барометръ.

Барометръ-анероидъ очень удобенъ для домашняго употребленія, но не можетъ служить для научныхъ цѣлей, когда требуется значительная точность. Это очень нѣжный приборъ, и показанія его часто зависятъ отъ случайностей, вслѣдствіе чего онъ требуетъ частой провѣрки по ртутному барометру. Вообще прежде, чѣмъ употреблять въ дѣло анероидъ, надо тщательно сличить его со ртутнымъ нормальнымъ барометромъ при всѣхъ температурахъ и давленіяхъ, при которыхъ только придется ему работать. Вліяніе переменъ температуры на различные приборы различно. Съ теченіемъ времени поправка барометра анероида измѣняется; такъ Вильдъ указываетъ слѣдующія измѣненія анероида Гольдшмида: въ апрѣлѣ 1869 г. поправка равнялась — 15.13 мм., въ декабрѣ же 1873 г. поправка = — 27.16 мм. Другой экземпляръ того же мастера измѣнилъ свою поправку только на 2.5 мм. за три года.

Хорошо вывѣренный анероидъ лучшей конструкціи можетъ дѣйствовать съ точностью до 0.2 мм., впрочемъ, только при томъ условіи, если его провѣрять часто и держать всегда въ одномъ и томъ же положеніи. При передвиженіи, показанія анероида значительно мѣняются, и невозможно указать крайній предѣлъ его погрѣшностей. Передъ отсчитываніемъ анероида, надо его слегка ударить пальцемъ, а также необходимо замѣтить температуру; затѣмъ слѣдуетъ сдѣлать соотвѣтствующую поправку такъ же, какъ для ртутнаго барометра, но таблица поправокъ не примѣняется ко всѣмъ анероидамъ одинаковой конструкціи, какъ это имѣетъ мѣсто для ртутныхъ барометровъ.

Термо-барометръ.

Если подняться съ термометромъ на возвышенность, лежащую надъ уровнемъ моря, то точка кипѣнія воды тамъ окажется ниже, чѣмъ на уровнѣ моря; это зависитъ отъ уменьшенія давленія. Законъ измѣненія температуры свободнаго кипѣнія въ зависимости отъ давленія воздуха извѣстенъ изъ опытовъ Ренью, такъ что, если тщательно наблюдать температуру кипѣнія, то можно опредѣлить по ней и атмосферное давленіе. Для того, чтобы опредѣлить давленіе съ точностью до ± 0.1 мм., ошибка въ опредѣленіи температуры не должна превышать $\pm 0.004^{\circ}\text{C.}$, но достигнуть такой точности просто невозможно. Теперь дѣлаются термометры изъ іенскаго стекла, и при помощи ихъ съ переноснымъ приборомъ въ лабораторіи давленіе можетъ быть опредѣлено, пожалуй, съ точностью до 0.3 мм.; но сомнительно, чтобы при переѣздахъ можно было достигнуть той же точности. Однако этотъ приборъ для опредѣленія давленія по точкѣ кипѣнія весьма важно имѣть при наблюденіи барометра-анероида, если не имѣется ртутнаго барометра для вывѣрки послѣдняго. Общія предосторожности употребляемыя при нанесеніи точки кипѣнія на нормальномъ ртутномъ термометрѣ, примѣняются при наблюденіяхъ по этому прибору.

Барографы.

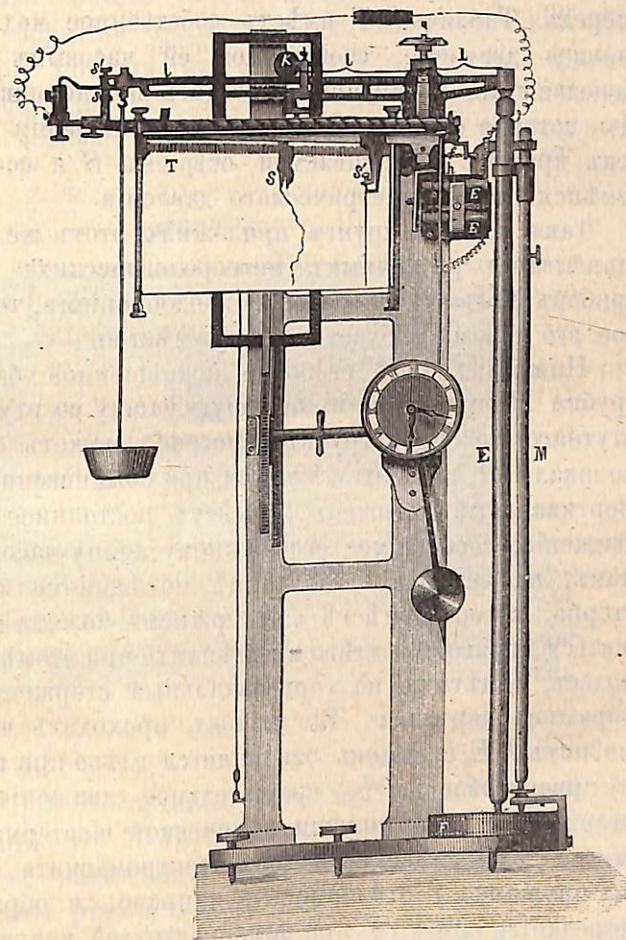
Давно уже начали стремиться къ тому, чтобы получить автоматическія записи барометрическихъ показаній; въ

этомъ направлеіи было сдѣлано много различныхъ механическихъ приспособленій, вошедшихъ въ употребленіе. Всѣ они могутъ быть подведены подъ четыре главныхъ категоріи: 1) чисто-механическое приспособленіе съ поплавкомъ, находящимся въ открытомъ колѣнѣ барометра и отмѣчающимъ свои движенія; 2) электрическая регистрація, при которой платиновая проволока опускается въ открытое колѣно трубки; когда эта проволока, служащая однимъ изъ полюсовъ батареи, придетъ въ соприкосновеніе со ртутной поверхностью, соединенною съ другимъ полюсомъ, токъ замыкается и отмѣчаетъ разстояніе пройденною проволокою отъ опредѣленной точки до поверхности ртути; по этимъ отмѣткамъ и вычерчивается ходъ барометра; 3) фотографическій приборъ, при помощи котораго непрерывно фотографируется высота ртути, находящейся въ закрытомъ колѣнѣ барометра; 4) вѣсовой барографъ, въ которомъ измѣряются измѣненія вѣса ртути въ трубкѣ, происходящія отъ того, что ртуть или выливается въ чашечку, или вливается въ трубку изъ чашечки, при чемъ чашечка, не должна быть прикрѣплена непосредственно къ барометрической трубкѣ; трубка подвѣшивается на одно изъ плечей вѣсового коромысла и уравнивается грузомъ на другомъ плечѣ. Теперь существуетъ до двадцати разнообразныхъ конструкций барографовъ, но всѣ болѣе или менѣе можно подвести подъ эти четыре типа; были, правда, предложены приборы, построенные на иныхъ принципахъ, но они не прижились. Всѣ такіе приборы отличаются различной степенью чувствительности; лучшимъ изъ нихъ, повидимому, слѣдуетъ считать вѣсовой барографъ Шпрунга, построенный Фуссомъ въ Берлинѣ. Среднее отклоненіе записей этого инструмента сравнительно съ непосредственными наблюденіями по хорошему обыкновенному барометру, равняется только ± 0.04 мм., т.-е. равняется среднему отклоненію одновременныхъ наблюденій двухъ переносныхъ барометровъ высшаго качества. Изъ другихъ барографовъ наибольшую точность представляютъ барографъ Вильдъ-Гаслера (Wild-Hasler), употребляемый въ Петербургѣ, и фотографическій въ Кью. Эйлертъ (Eylert) достигъ хорошихъ результатовъ съ барографомъ Фуса въ „Deutsche Seewarte“. Много зависитъ, впрочемъ, отъ способа обработки

барограммы; и обыкновенный способъ интерполяціи по сравненіи съ показаніями ртутнаго барометра нельзя признать удовлетворительнымъ.

Вѣсовой барометръ Шпрунга, изображенный на фиг. 32, имѣетъ то преимущество передъ многими другими барографами, что даетъ

непрерывную запись атмосфернаго давленія, между тѣмъ какъ большинство другихъ записываетъ только въ извѣстные промежутки времени, напр. черезъ каждыя десять минутъ. На приложенномъ здѣсь рисункѣ Шпрунгова барографа барометрическая трубка *B* подвѣшивается на одно плечо коромысла (на право) и уравнивается гру-



Фиг. 32.

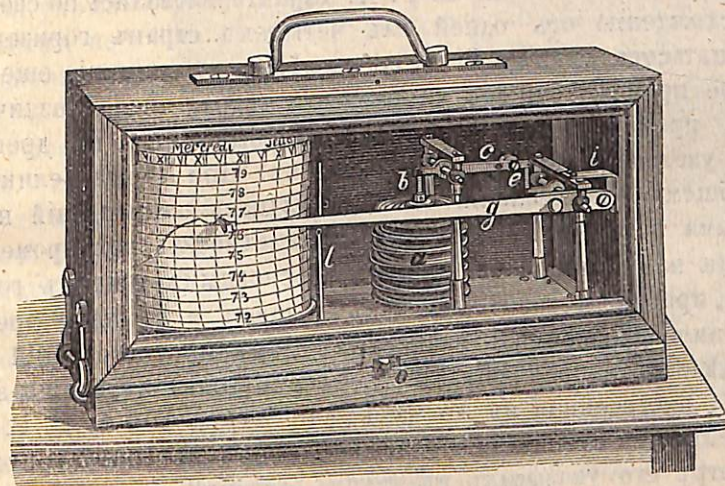
зомъ *g* и другими мелкими равновѣсками, подвѣшиваемыми къ другому плечу. Барометрическая трубка остается все время почти неподвижной, и когда измѣняющееся давленіе измѣ-

няетъ ея положеніе, то замыкается токъ чрезъ контактъ s или s' , и равновѣсіе восстанавливается легкимъ передвиженіемъ колеса R , которое катится къ длинному плечу вѣсовъ; его движеніе регулируется телѣжкой V , находящейся ниже, а къ этой послѣдней прикрѣпленъ штифрикъ S , остріе котораго отмѣчаетъ на табличкѣ T свои движенія взадъ и впередъ. Табличка T имѣетъ собственное медленное вертикальное движеніе, сообщаемое ей часовымъ механизмомъ. Неподвижный карандашъ S' ведетъ по табличкѣ прямую линію, которая берется за базисъ при измѣреніи разстояній точекъ кривой, вычерчиваемой остріемъ S и соотвѣтствующей измѣненіямъ барометрическаго давленія.

Такъ какъ Шпрунгъ приложилъ этотъ же принципъ для записыванія различныхъ метеорологическихъ явленій и его приборъ пользуется всеобщимъ одобреніемъ, то болѣе детальное его описаніе будетъ здѣсь уместно.

Нижній конецъ свободно подвѣшенной барометрической трубки B опускается въ большую чашку со ртутью F . Высота ртутнаго столба въ трубкѣ барографа можетъ быть отсчитана по шкалѣ M , какъ это дѣлается при обыкновенномъ барометрѣ. Вертикальный стержень t имѣетъ постоянное вращательное движеніе, сообщаемое его нижнему концу часовымъ механизмомъ, на верхнемъ его концѣ помѣщается коническая шестерня, которая вмѣстѣ со стержнемъ можетъ слегка перемѣщаться вправо или влево и зацѣплять при этомъ одно изъ двухъ колесъ, надѣтыхъ на горизонтальный стержень cc' съ винтообразною нарѣзкою. Когда токъ проходитъ черезъ электромагнитъ EE , стержень отклоняется влево при помощи якоря a и приспособленія h , вращательное движеніе t сообщается стержню cc' при помощи конической шестерни, которая движется тоже влево; если токъ электромагнита EE разомкнуть, то пружинка f отклоняетъ t направо, и обратное движеніе передается винту cc' при помощи другой конической зубчатки. Предположимъ, что атмосферное давленіе уменьшилось, тогда лѣвое плечо коромысла, которое слегка колебалось между s и s' , начнетъ опускаться, пока не придетъ въ соприкосновеніе со ртутью въ e , тогда токъ замкнется, электромагнитъ EE наклонитъ t налѣво, и стержень cc' начнетъ вра-

щаться направо, заставляя скользить въ винтообразной нарѣзкѣ штифтъ, соединенный съ телѣжкою и такимъ образомъ приводя въ движеніе телѣжку v , которая тянетъ передвижной грузъ R вдоль плеча коромысла до тѣхъ поръ, пока контактъ въ e не будетъ прерванъ; тогда пружинка f движетъ t направо, отчего cc' , а, слѣдовательно, v , R и S приходятъ въ обратное движеніе, пока токъ не будетъ опять замкнутъ. При помощи этого непрерывнаго перемѣннаго движенія, равновѣсіе обоихъ плечей вѣсовъ поддерживается въ предѣлахъ колебанія ихъ между s и s' , а движеніе те-



Фиг. 33.

лѣжки v и острія S соотвѣтствуетъ измѣненіямъ барометрическаго давленія. Въ Шпрунговомъ барографѣ, находящемся въ Магдебургѣ, карандашъ S увеличиваетъ въ пять разъ измѣненіе высоты ртутнаго столбика.

Анероидъ-барографъ. На старыхъ европейскихъ метеорологическихъ станціяхъ употребляется анероидъ-барографъ Гиппа, а также барографъ Готтингера, но въ настоящее время наибольшимъ вниманіемъ метеорологовъ пользуется барографъ, построенный братьями Ришаръ (фиг. 33).

Нѣкоторые изъ только что упомянутыхъ приборовъ мо-

гутъ дать барометрическія показанія съ точностью, быть можетъ, до 0.2 мм., если ихъ подвергаютъ ежедневно троекратной провѣркѣ по ртутному барометру, а барограму—тщательному анализу; въ большихъ обсерваторіяхъ, гдѣ эти приборы находятся въ дѣйствіи, ихъ показанія употребляются исключительно для интерполяціи показаній ртутнаго барографа между сроками наблюденій.

§ III. Приборы для измѣренія вѣтра.

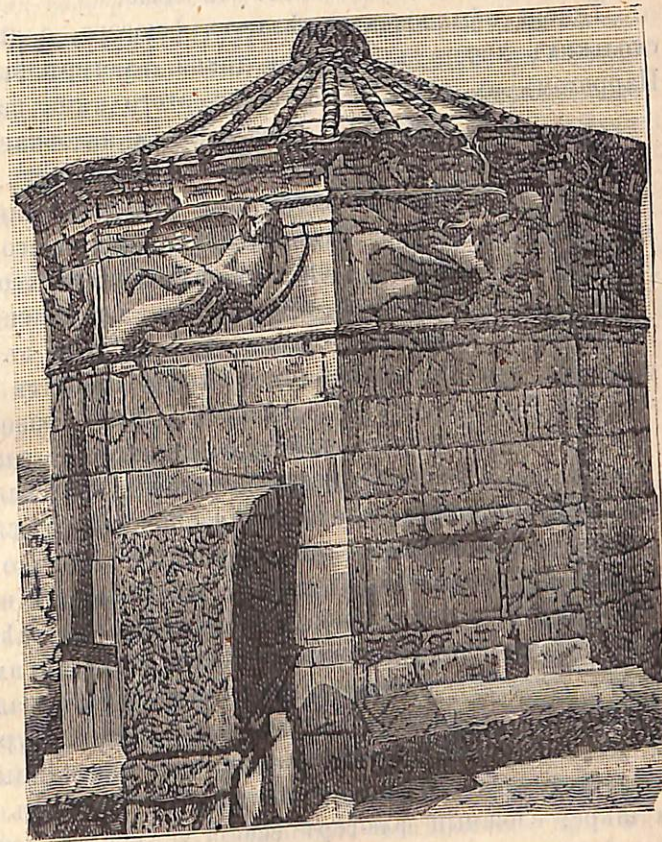
Исторія приборовъ для измѣренія направленія вѣтра. Вѣтры еще за 1000 л. до Р. Х. характеризовались по своему происхожденію отъ одной изъ четырехъ странъ горизонта, а за пятьсотъ лѣтъ до Р. Х. греки обратили вниманіе еще на четыре промежуточныхъ направленія вѣтра; число различаемыхъ промежуточныхъ направленій было еще въ древніе вѣка увеличено до двадцати четырехъ. При Карлѣ Великомъ въ общемъ употребленіи были двѣнадцать направленій подъ разными названіями, а затѣмъ стали относить всѣ промежуточные направленія къ четыремъ основнымъ точкамъ горизонта, приблизительно такъ, какъ дѣлаютъ и въ наше время.

Самое древнее изъ извѣстныхъ намъ приспособленій для опредѣленія направленія вѣтра,—осьмиугольная „башня вѣтровъ“, построенная въ Аѳинахъ (фиг. 34) за 100 л. до Р. Х. Въ центрѣ ея крыши помѣщался флюгеръ въ формѣ тритона, скипетръ его указывалъ въ какомъ октантѣ дуетъ вѣтеръ и былъ пригнутъ внизъ къ стѣнѣ, гдѣ находились греческія названія вѣтровъ и рельефныя аллегорическія фигуры ихъ.

На церковномъ шпицѣ былъ водруженъ флюгеръ въ видѣ пѣтуха впервые въ 820 г. на храмѣ въ Тироли епископомъ Бриксенскимъ Рампертомъ. Но первые флюгера современнаго типа были построены итальянцемъ Игнатіемъ Данти въ Болоньи и Флоренціи въ срединѣ XVI ст.; устройство ихъ показано на рис. 35. Регулярныя наблюденія флюгера съ метеорологическихъ цѣлями начались въ Италіи не ранѣе 1650 г., а въ Англіи еще немного позже. Гельманъ составилъ очень интересное описаніе этихъ древнихъ попытокъ измѣренія вѣтра.

Казалось бы, что о такомъ простомъ приборѣ, какъ вращающійся флюгеръ, нынѣ находящемся въ повсемѣстномъ употребленіи, можно сказать очень мало, какъ относительно его погрѣшностей, такъ и теоріи его движенія, но все-таки существуютъ нѣкоторые пункты, требующіе разсмотрѣнія.

Флюгеръ, вращающійся около своей оси, иногда замѣняютъ флюгеромъ, укрѣпленнымъ неподвижно на оси, а тогда эту послѣднюю помѣщаютъ между колесами тренія такъ, чтобы она могла вращаться съ наименьшимъ треніемъ. Чѣмъ легче флюгеръ, тѣмъ вѣрнѣе его показанія; если флюгеръ слишкомъ тяжелъ,



Фиг. 34.

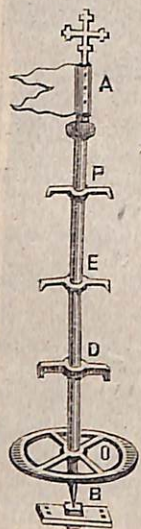
то онъ не особенно чувствителенъ къ быстрымъ переменамъ въ направленіи слабого вѣтра, а разъ приведенный въ движеніе сильнымъ вѣтромъ дѣлаетъ черезчуръ большіе размахи. Хорошо прикрѣплять къ нижнему концу оси, на который посаженъ флюгеръ, особаго рода демпферъ или успокоитель, предохраняющій флюгеръ отъ быст-

рых случайных порывовъ вѣтра, имѣющихъ только мѣстное значеніе, и въ то же время немѣшающій флюгеру отвѣчать на болѣе правильныя перемѣны вѣтра. Устраивается это такъ: къ нижнему концу оси прикрѣпляются легкія лопа- точки, опущенныя въ сосудъ съ масломъ или глицериномъ, гдѣ онѣ и вращаются вмѣстѣ съ осью.

Теперь обыкновенно дѣлаютъ флюгеръ о двухъ или нѣ- сколькихъ хвостахъ; впервые такой флюгеръ былъ устроенъ Парротомъ въ 1797 г. (флюгеръ этого типа изображенъ на рис. 37). При помощи подобнаго приспособ- ленія достигается устойчивость флюгера и независимость его отъ внезапныхъ толчковъ вѣтра. Относительно наилучшаго угла расхо- жденія лопастей флюгернаго хвоста метеоро- логи не пришли къ соглашенію. Парротъ принялъ уголъ въ 45° , а въ англійскихъ флюгерахъ съ 1840 г. принять уголъ только въ $22\frac{1}{2}^{\circ}$. Куртисъ (Curtis) разобралъ теоре- тически дѣйствіе простаго и сложнаго флю- гернаго хвоста и нашелъ, что для послѣдняго уголъ расхожденія лопастей во всякомъ случаѣ долженъ быть менѣе 30° , но что уголъ зави- ситъ отъ степени измѣчивости вѣтра, и, слѣ- довательно, можетъ быть опредѣленъ только тогда, когда извѣстна средняя амплитуда ко- лебаній (въ градусахъ). Сравнивая теоретическ и простой и сложный флюгера, Куртисъ дѣлаетъ слѣдующіе выводы для постоянныхъ вѣтровъ:

„Дрожаніе обоихъ флюгеровъ тѣмъ менѣе, чѣмъ они длиннѣе и шире; сложный флюгеръ всегда устойчивѣе, чѣмъ простой, устойчивость его возрастаетъ съ длиной флюгера и не зави- ситъ отъ скорости вѣтра“.

Вышеописанныя вращающіеся флюгера опредѣляютъ только горизонтальное направленіе воздушныхъ теченій. Важно знать также вертикальный наклонъ этихъ воздушныхъ токовъ. Бен- ценбергъ (Bentzenberg), Монтинья (Montigny), Геннесей (Hen- nessey), Дешевверень (Dècheverens) и др. дѣлали попытки уст- ройства аппаратовъ, приспособленныхъ для этой цѣли, а Ка-



Фиг. 35.

зелла сдѣлалъ даже очень остроумный самопишущій двойной флюгеръ, имѣющій двойное движеніе, горизонтальное и вер- тикальное; но трудность установки подобнаго аппарата и не- увѣренность въ правильности его показаній удержали отъ признанія за ними права на общее употребленіе¹⁾.

Приборы для измѣренія силы или скорости вѣтра.— При- боры для измѣренія скорости вѣтра принято называть анемо- метрами. Они всѣ могутъ быть подраздѣлены на три главныя группы: измѣрители давленія, вращательные и аспираціонные.

Анемометры 1-го рода бываютъ двухъ видовъ: или метал- лическая пластинка небольшого размѣра подвѣшивается въ видѣ маятника и качается отъ вѣтра, причемъ отмѣчается ея отклоненіе отъ отвѣсной линіи, или пластинка площадью въ 1 $\square$ ф. прямо подставляется дѣйствию вѣтра, и передаетъ его давленіе пружинкѣ, сжатіе которой и опредѣляетъ силу вѣтра. Кромѣ этихъ видовъ, было предложено много дру- гихъ; въ самомъ простомъ старинномъ анемометрѣ воздухъ входитъ въ воронкообразное отверстіе трубки, при которой имѣется манометръ, указывающій величину давленія.

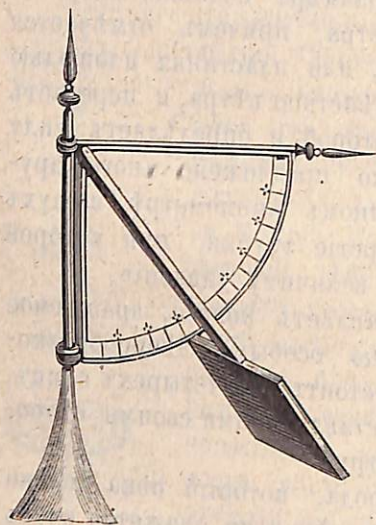
Анемометръ 2-го рода представляетъ колесо, вращаемое силой вѣтра; колесо или снабжено особыми вѣрообразно- расположенными лопастями, или состоитъ изъ четырехъ спицъ, оканчивающихся чашечками, представляющими своими сторо- нами различное сопротивленіе вѣтру.

Наконецъ, анемометръ 3-го рода, который пока только не болѣе, какъ игрушка, но, весьма вѣроятно, окажется очень полезнымъ, состоитъ изъ открытой сверху трубки, поставлен- ной вертикально, такъ что вѣтеръ дуетъ надъ отверстіемъ, и высасываетъ воздухъ изъ трубки; воздушное давленіе въ трубкѣ уменьшается, и это измѣненіе измѣряется при по- мощи водяного манометра.

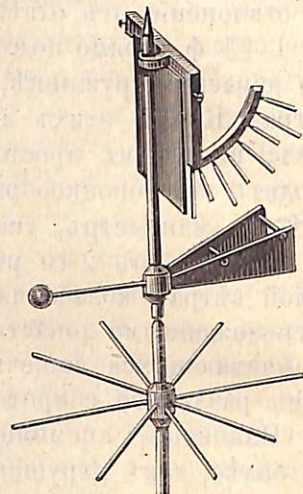
Анемометръ-маятникъ вслѣдствіе простоты и дешевизны его устройства больше всего употребляется въ настоящее время какъ въ Россійской Имперіи такъ и въ другихъ, преиму-

¹⁾ Въ настоящее время на башнѣ Эйфеля и на башнѣ Главной Физи- ческой Обсерваторіи въ С.-Петербургѣ, а также въ подготовлѣ метеорологіи Нижегородской Выставки дѣйствуютъ анемометры въ видѣ мельничныхъ крыльевъ съ вертикальною осью.

щественно европейских странахъ. Этотъ приборъ состоитъ изъ металлической пластинки, подвѣшенной на горизонтальной оси. Вѣтеръ, дующъ на пластинку, заставляетъ ее отклоняться отъ отвѣсной линіи на уголъ, котораго величина измѣняется сообразно съ силой вѣтра. Этотъ приборъ былъ придуманъ впервые предложенъ Гукомъ (Hook), но такъ какъ не вполне достовѣрно извѣстно, кто былъ его изобрѣтателемъ, то Аббе совѣтуетъ назвать его анемометромъ перваго метеорологическаго собранія Англійскаго Королевскаго Общества. Описаніе прибора было опубликовано Гукомъ въ 1667 г.;



Фиг. 36.



Фиг. 37.

изображеніе его представлено на рис. 36. Новѣйшее видоизмѣненіе его, извѣстное подъ именемъ флюгера Вильда, представлено на рис. 37. Колеблющаяся пластинка привѣшена здѣсь на оси, прикрѣпленной къ тому же вертикальному стержню, къ которому придѣланъ и флюгеръ, и потому пластинка становится всегда противъ вѣтра. Тизенъ теоретически разобралъ условія дѣйствія этого прибора и ввелъ въ свою формулу числовые коэффициенты, опредѣленные Доррандтомъ (Dohrandt) и имъ самимъ на основаніи опытовъ, произведенныхъ въ Петербургѣ, при помощи вращательной

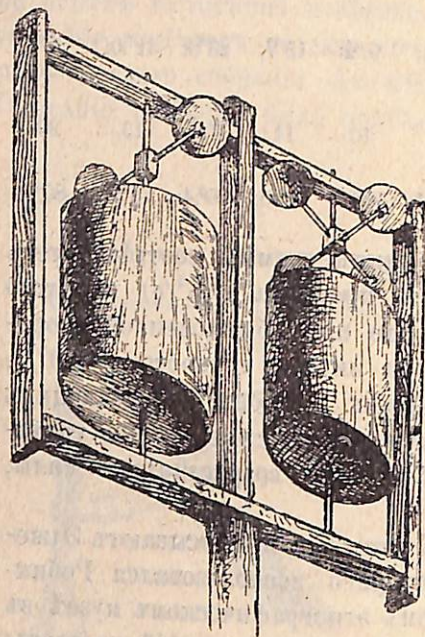
машины Комба (см. стр. 95). Онъ вывелъ слѣдующее соотношеніе между скоростью вѣтра и отклоненіемъ доски флюгера, которой площадь $= 15 \times 30$ центим., а вѣсъ $= 195$ грам., при бар. давленіи 758 мм. и температурѣ 15°C .

Скорость вѣтра метры въ секунду.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Уголъ отклоненія отъ вертикали въ градусахъ.	1.01;	4.61;	9.02;	15.07;	23.00;	31.00;	38.07.
Скорость вѣтра метры въ секунду.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	20.
Уголъ отклоненія отъ вертикали, въ градусахъ.	45.07;	52.01;	58.00;	62.05;	66.04;	74.00;	80.05.

Измѣненіе вѣса доски на одинъ граммъ соотвѣтствуетъ увеличенію скорости на четверть процента ($\frac{1}{4}\%$) для того же угла. Вильдъ утверждаетъ, что при обыкновенной скорости вѣтра показанія этого прибора имѣютъ точность до 10% , но онъ не годится для измѣренія вѣтровъ, обладающихъ скоростью болѣе 20 м. въ секунду, вслѣдствіе слабаго увеличенія угла сравнительно съ быстрымъ возрастаніемъ силы, вѣтра.

Изобрѣтеніе анемометра съ чашками приписываютъ Эджеворту (Edgeworth), мысль котораго воспользовался Робинзонъ; впрочемъ, въ Королевскомъ этнографическомъ музеѣ въ Берлинѣ находится древній приборъ очень похожій на этотъ; только сдѣланъ онъ изъ дерева, и чашки въ немъ овальныя, а не полушаровыя; приборъ этотъ вывезенъ изъ Тибета и, вѣроятно, представляетъ собой модель мельницы. Докторъ Грюнведель, состоящій при музеѣ замѣчаетъ, что въ книгѣ Палласа „Mongolische Völker“ 1770 г. есть также рисунокъ подобной машинки. Прилагаемый здѣсь снимокъ (рис. 38) взятъ изъ иллюстрированной статьи, помѣщенной въ „Century Magazine“ за январь 1891 г., и описывающей путешествіе Рокгилла по Монголіи и Тибету. Какъ видимъ, этотъ приборъ, несомнѣнно очень древняго происхожденія, является прототипомъ двойного чашечнаго анемометра. Такъ что, хотя Эджевортъ впервые примѣнилъ его съ научной цѣлью и, вѣроятно, нѣсколько преобразовалъ его, но самая идея не нова.

Робинзоновъ чашечный анемометръ (рис. 39) ¹⁾ состоитъ изъ четырехъ полыхъ полушарій изъ тонкаго металла, прикрѣпленныхъ къ оконечностямъ двухъ легкихъ металлическихъ стержней одинаковой длины, пересѣкающихъ другъ друга крестообразно подъ прямымъ угломъ. Чашки прикрѣпляются къ



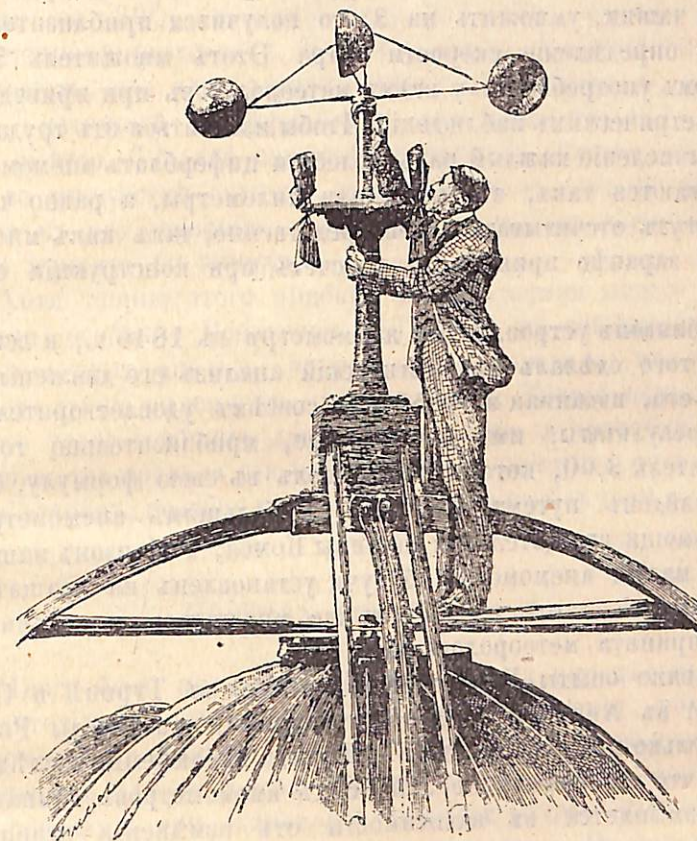
Фиг. 38.

концамъ креста такимъ образомъ, что ихъ выпуклости обращены всѣ въ одну сторону, вправо или влево, если на нихъ смотрѣть изъ середины креста. Крестъ наглухо прикрѣпляется въ горизонтальномъ положеніи на вертикальной оси въ точкѣ пересѣченія стержней. Ось проходитъ внизъ сквозь просверленную стойку, которая ее охватываетъ и поддерживаетъ, но не мѣшаетъ ей свободному вращенію, если не считать неизбежнаго треніе. Нижний конецъ оси заостренъ и опирается на подпорку, такъ что треніе уменьшено до minimum'a; ось имѣетъ на себѣ винтовую нарѣзку которая зацѣпляетъ зубчатое колесо, и поворачиваетъ его на одинъ зубецъ при каждомъ оборотѣ. Это колесо соединено еще съ системой колесъ, которыя такъ устроены, что извѣстное число оборотовъ оси вызываетъ одинъ оборотъ перваго колеса, а извѣстное число оборотовъ этого колеса влечетъ за собой одинъ оборотъ втораго колеса и т. д.; колеса снабжены стрѣлками и цифер-

¹⁾ На рисунокѣ анемометръ поставленъ надъ крышей зданія, какъ это обыкновенно и дѣлается. Модель, изображенная здѣсь, снята съ анемометра въ Кью. Понизе чашекъ расположенъ крылатый флюгеръ Беклея (Beckley).

блатами, чтобы отмѣчать число оборотовъ, ихъ десятковъ, сотенъ, тысячъ и т. д.

Если мы теперь предоставимъ приборъ дѣйствію вѣтра, то неравное давленіе воздуха, направленное на выпуклую и вогну-



Фиг. 39.

тую сторону чашекъ, приведетъ ихъ, а, слѣдовательно, и спицы въ вращательное движеніе вокругъ вертикальной оси. Это движеніе сообщается системой колесъ, и число оборотовъ чашекъ анемометра отмѣчается на циферблатахъ. При помощи этого приспособленія число оборотовъ, совершенныхъ анемометромъ въ единицу времени, становится извѣстнымъ; если мы назовемъ

его n , то расстояние, пройденное средней точкой одного изъ полушарій въ единицу времени будетъ равняться $2 \times 3.146 \times Rn$, гдѣ R есть радиусъ круга, описываемаго этой точкой. Но это не есть еще истинная скорость вѣтра, и Робинзонъ нашелъ путемъ опыта, что если цифру скорости, съ которой двигаются чашки, умножить на 3, то получится приблизительно вѣрное опредѣленіе скорости вѣтра. Этотъ множитель 3 въ большемъ употребленіи у всѣхъ метеорологовъ при приведеніи анемометрическихъ наблюденій. Чтобы избавиться отъ труда дѣлать вычисленіе каждый разъ, колеса и циферблаты анемометра устраиваются такъ, что мили или километры, а равно части ихъ могутъ отсчитываться непосредственно, такъ какъ множитель 3 заранее принятъ въ расчетъ при конструкціи счетчика.

Робинзонъ устроилъ свой анемометръ въ 1846 г., а вскорѣ послѣ того сдѣлалъ математическій анализъ его движенія, но теорія его, изданная въ 1850, не совсѣмъ удовлетворительна; хотя результаты, имъ достигнутые, приблизительно точны. Множитель 3.00, который онъ ввелъ въ свою формулу, былъ имъ найденъ путемъ опытовъ съ большимъ анемометромъ при помощи вращательной машины Комба; Робинзонъ нашелъ, что и малый анемометръ, будучи установленъ на вращательной машинѣ, даетъ почти тотъ же множитель, и величина 3 была принята метеорологами.

Однако опыты Каваллеро (Cavallero) въ Туринѣ и Стове (Stowe) въ Англіи (1870—72) доказали, что выводы Робинзона только приблизительно вѣрны; изъ наблюденій послѣдняго ясно, что множитель не для всѣхъ анемометровъ одинаковъ: онъ измѣняется въ зависимости отъ измѣненія отношенія между длиной плеча и радиусомъ самой чашки. Дорандтъ въ Петербургѣ первый показалъ, что коэффициентъ можетъ быть вычисленъ когда извѣстны размѣры плечей и радиуса чашекъ. Опыты его и другихъ показали, что анемометры той формы, которая обыкновенно употребляется, даютъ при старомъ расчетѣ скорость вѣтра на 20% большую противъ дѣйствительной скорости. Хотя это стало извѣстно около 20 лѣтъ тому назадъ, однако до сихъ поръ не вездѣ исправлены ошибки введенныя теоріей Робинзона, и оттого наблюденія вѣтра,

производимыя въ различныхъ метеорологическихъ учрежденіяхъ, до настоящаго времени имѣютъ только относительную, а не абсолютную цѣнность.

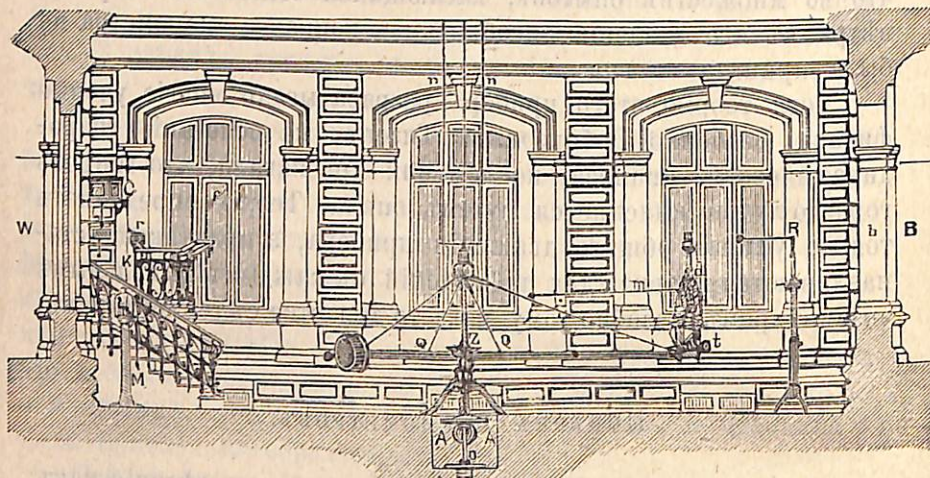
Для нахождения истинной скорости вѣтра по записи анемометра обыкновенной формы нужно убавлять его отмѣтки на 20% и прибавлять 0.8 метр. въ секунду къ полученному результату. Недавніе опыты Динеса (Dines) показываютъ, что для большого чашечнаго анемометра, образца Кью, истинный коэффициентъ колеблется между 2.0 и 2.2 вмѣсто 3.0 для среднихъ скоростей. Весьма вѣроятно, что во множествѣ опытовъ, касающихся отношеній скорости вѣтра къ его давленію, необходимая поправка анемометра не была принята во вниманіе.

Хотя теорію этого прибора разрабатывали многіе ученые физики, особенно Робинзонъ и Тизенъ, на основаніи гидродинамическаго анализа, но всѣ они признавали, что вопросъ гораздо лучше выясняется путемъ опыта. Теорія опредѣляетъ только условія общаго движенія прибора, а практикой устанавливаются правила для наблюденій съ каждымъ отдѣльнымъ экземпляромъ, подобно тому, какъ то дѣлается съ термометрами.

ПОВѢРКА АНЕМОМЕТРОВЪ.

Много было предложено способовъ для опредѣленія какъ относительнаго, такъ и абсолютнаго значенія показаній анемометровъ; обыкновенно на практикѣ метеорологи устанавливаютъ для этой цѣли рядомъ два прибора и отмѣчаютъ ихъ показанія при одинаковой скорости вѣтра, но этотъ способъ даетъ только относительные результаты. Въ теченіе послѣднихъ двадцати лѣтъ способъ провѣрки анемометровъ при помощи вращательной машины Комба получилъ повсемѣстное употребленіе благодаря тому, что имъ можно пользоваться во всякое время, получая какую угодно скорость. Этотъ приборъ (модель Германской Морской Обсерваторіи представлена на рис. 40), согласно Тизену, былъ введенъ въ употребленіе Смитомъ (Smeaton) и Цейгеромъ еще раньше Комбеса; онъ состоитъ изъ горизонтальнаго шеста ZQt , не менѣе 10 футовъ длины,

вращаемаго около вертикальной оси Z , находящейся у одного из концов его; на другомъ концѣ t —вертикальный стержень, на которомъ устанавливается вертикальная ось анемометра D , причемъ его чашки располагаются въ горизонтальной плоскости. Вращеніе горизонтальнаго шеста около вертикальной оси Z достигается при помощи небольшой машины въ двѣ или три лошадиныхъ силы (иногда онъ приводится въ дѣйствіе и людьми). Анемометръ, слѣдовательно, движется горизонтально по кругу, центръ котораго находится на оси Z . Движеніе анемометра встрѣчаетъ сопротивленіе воздуха, ко-



Фиг. 40.

торое оказываетъ такое же вліяніе на анемометръ, какъ если бы послѣдній находился въ покоѣ, а вѣтеръ дулъ съ той линейной скоростью, съ какою движется нашъ анемометръ. Пространство, пройденное серединою анемометра во время оборота наго плеча Zt ; если же время, въ которое совершается известное число оборотовъ, отмѣчено, напр. если известны показанія на циферблатѣ анемометра при началѣ и концѣ этого промежутка времени, то мы можемъ найти, сколько оборотовъ совершаютъ чашки анемометра вокругъ своей оси, соответственно съ тѣмъ, какой путь пройденъ въ секунду цѣлымъ

анемометромъ. Зная дѣйствительную скорость вѣтра, соответствующую вращенію машины, мы можемъ привести показанія циферблатовъ къ истинной величинѣ. Линейная скорость выводится, взявъ среднее изъ двухъ величинъ, которыя получаются на циферблатахъ анемометра, когда онъ вращается по направленію часовой стрѣлки и обратно.

Въ Deutsche Seewarte приборъ находится посреди внутренняго двора, который окруженъ галлереей и закрытъ стеклянной крышей. Помѣщенные ниже детали должны служить для лучшаго выясненія способа пользованія этимъ приборомъ.

Длинный горизонтальный шестъ отстоитъ не болѣе, какъ на три фута отъ гладкаго полированнаго пола, но анемометръ D расположенъ на высотѣ 8 фут. отъ пола и въ разстояніи 20—25 фут. отъ потолка. Вертикальная ось Z вращающагося шеста проходитъ сквозь трапъ A подъ полъ и приводится во вращеніе другой горизонтальной осью при помощи конической шестерни; эта длинная горизонтальная ось приводится въ движеніе газомоторомъ, находящимся внизу. Въ одной сторонѣ двора помѣщается стойка R съ кронштейномъ на которомъ укрѣпленъ небольшой анемометръ, какъ разъ надъ плоскостью движенія испытываемаго анемометра. (Въ Физической Обсерваторіи въ Петербургѣ этотъ анемометръ ставится внѣ круга, описываемаго испытываемымъ анемометромъ, но въ плоскости его вращенія). Маленькій анемометръ служитъ для измѣренія скорости воздушнаго теченія (Mit-Wind), происходящаго при вращеніи анемометра и имѣющаго то же направленіе, что и анемометръ. Скорость этого теченія составляетъ примѣрно 5% скорости, указываемой большимъ анемометромъ, и должна быть къ послѣдней приложена для опредѣленія истиннаго показанія этого послѣдняго.

Въ одномъ углу двора (налѣво) устроенъ маленький балкончикъ K , гдѣ можетъ помѣститься самъ наблюдатель, когда приборъ приведенъ въ дѣйствіе. Здѣсь есть ручка r , соединенная съ двумя коническими валами, находящимися въ подвалѣ около привода, на которые накинута рабочій ремень. При посредствѣ ручки этотъ ремень перемѣщается по валамъ, такъ что быстрота вращенія машины можетъ быть измѣняема наблюдателемъ съ балкона.

На балконѣ же поставленъ хронографъ *p*, который автоматически (электрическимъ способомъ) отмѣчаетъ секунды, число оборотовъ машины и число оборотовъ чашекъ анемометра. Эта сложная запись допускаетъ такую точность сравненій, которая иначе не можетъ быть достигнута.

Приборы этого рода были устроены Робинзономъ въ Ирландіи, Стоуе, Уиплемъ (Whipple) и др. въ Англіи, Гагеномъ (Hagen), Рекнагелемъ (Recknagel) и Неймайеромъ (Neumaier) въ Германіи, Вильдомъ въ Россіи, Марвиномъ (Marvin) въ Америкѣ и т. д.; но детали его лучше всего разработаны въ экземплярѣ, поставленномъ въ Deutsche Seewarte въ Гамбургѣ, построенномъ по указаніямъ Неймайера и представленномъ на рис. 40.

Такъ какъ всѣ метеорологическія учрежденія употребляютъ для испытанія анемометровъ вращательную машину одинаковыхъ размѣровъ и одинаково установленную, то наблюденія различныхъ странъ надъ скоростью вѣтра могутъ быть сравниваемы. Но даже и послѣ того значеніе ихъ можетъ быть только относительное. Еще остается сдѣлать опыты, которые бы показали отношеніе скоростей, получаемыхъ на вращательной машинѣ къ абсолютной скорости вѣтра на открытомъ воздухѣ.

Оцѣнка силы вѣтра.

Приборы для измѣренія скоростей вѣтра употребляются почти исключительно на сушѣ. На морѣ сила вѣтра опредѣляется обыкновенно по ощущенію. При опредѣленіяхъ употребляются большею частью выраженія въ родѣ слѣдующихъ: штиль, слабый вѣтеръ, свѣжій, крѣпкій вѣтеръ, буря, ураганъ для показанія различныхъ степеней силы вѣтра. Имѣя дѣло съ массой такихъ показаній, конечно, болѣе удобно замѣнить слова цифрами. Еще до 1780 г. была введена такъ называемая Мангеймская шкала, которая и была долгое время въ употребленіи. Эта шкала даетъ четыре степени отъ 0 (штиль) до 4 (сильный вѣтеръ). Впослѣдствіи составлено было въ разное время и въ различныхъ странахъ много шкалъ. Сила вѣтра обозначалась по этимъ шкаламъ цифрами отъ 0

(штиль) до 6, 7, 8, 10 и 12, причемъ послѣднія цифры указывали самый сильный вѣтеръ, какой только можетъ быть. Изъ этихъ шкалъ наиболѣе распространена двѣнадцатibalная шкала (0 — 12), которая была введена адмираломъ Бофортомъ (Beaufort) въ 1805 г. для употребленія на корабляхъ. Низшія степени или баллы этой шкалы приурочены къ скоростямъ нормально вооруженнаго паруснаго судна, высшія же степени — къ количеству парусовъ, которые корабль можетъ нести при сильныхъ вѣтрахъ. Шкала Бофорта получила примѣненіе и на сушѣ, особенно въ приморскихъ станціяхъ. Вдали отъ моря, впрочемъ, имѣетъ значеніе только половина всего числа балловъ Бофорта (отъ 0—6). Въ послѣднія двадцать лѣтъ была въ употребленіи въ Сѣверо-Американскомъ Бюро погоды при его международныхъ работахъ десятибалльная шкала (0 — 10). Въ книгѣ Аббе („Meteorological Apparatus and Methods“) мы находимъ слѣдующее сопоставленіе балловъ этой шкалы съ иными:

Шкала Бюро погоды А. С. Ш. 0—10	Шкала Бофорта. 0—12	Австрійс. шк. Елинека. 0—10	Русская шкала Вильда. 0—10	Старая русская шкала.	Французская шкала. 1—7	Шк. Париж. цент. метеор. Бюро. 0—6	Англійская сухопутная шкала. 0—6	Шкала Мангеймская. 0—4
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.5 и 1	—	1	0	1	1	0	—
2	1.5 и 2	1	2	1	2	—	1	1
3	2.5 и 3	—	3	1	3	2	—	1 до 2
4	3.5 и 4	2	4	2	4	3	2	2
5	4.5 и 5	3	5	2	—	—	—	—
6	5.5 и 6	4	6	3	5	4	3	3
7	7	5	7	3	—	—	4	—
8	7.5 — 9	6 и 7	8	4	6	5	5	4
9	10	8 и 9	9	4 ^{1/2}	—	—	6	—
10	11 и 12	10	10	—	7	6	—	—

Аббе приводитъ также скорости и давленія вѣтра для различныхъ балловъ шкалы 0 — 10, но вслѣдствіе значительнаго несогласія его выводовъ съ новѣйшими данными и отсутствія

точныхъ свѣдѣній о способѣ ихъ полученія, они не приводятся здѣсь.

Что касается немногихъ трудовъ касательно выраженія балловъ при помощи опредѣлений дѣйствительныхъ скоростей вѣтра, измѣренныхъ помощью анемометра, то таковыя собраны за послѣднія 20 лѣтъ Мономъ (Meteorol. Zeitschrift Февр. 1890 г.). Результатомъ этихъ сопоставленій, которыя велись преимущественно на маякахъ англійскихъ, германскихъ и норвежскихъ, явилась слѣдующая табличка:

Шкала Бофорта:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Истин. скорость метры въ сек.	2.0	3.5	5.5	7.0	9.0	11.0	13.0	15.0	17.0	19.0

Немногія наблюденія, сдѣланныя въ открытомъ океанѣ, даютъ приблизительно тѣ же соотношенія для низшихъ балловъ до 5 включительно, но высшимъ балламъ шкалы соответствуютъ на морѣ большія скорости вѣтра, чѣмъ дано въ табличкѣ.

Чтобы привести эти опредѣленія истинной скорости къ тѣмъ, которыя вычисляются по прежнему способу при помощи множителя 3, слѣдуетъ вычесть изъ каждой данной скорости вѣтра одинъ метръ въ секунду и затѣмъ приписать къ остатку четверть его самого.

Самозаписывающіе анемометры.

Записывающее приспособленіе при обыкновенномъ анемометрѣ, опредѣляющемъ давленіе, имѣетъ тотъ недостатокъ, что только сильныя внезапныя вѣтры хорошо отмѣчаются, но всѣ постепенныя измѣненія вѣтра за извѣстный промежутокъ времени, напр. за 1 часъ или 1 день, отмѣчаются очень неточно. Напротивъ, регистрація, приспособленная къ чашечному анемометру при помощи электрическаго контакта, замыкаемаго чрезъ извѣстное число оборотовъ чашекъ, не отличаетъ внезапныхъ порывовъ вѣтра, если они не длятся нѣкоторое время, но за то даетъ отличныя показанія часовыхъ и дневныхъ переменъ вѣтра. Первый описанный приборъ болѣе удобенъ для инженерныхъ цѣлей, а второй для метеорологическихъ. Желательно было бы еще построить приборъ, который достигалъ бы одновременно обѣихъ цѣлей.

Согласно Вестфалу, попытки устройства приборовъ для измѣренія и механическаго записыванія силы и направленія вѣтра ведутъ свое начало еще отъ 1667 года; имена Гука (Hooke), Пикеринга (Pickering), Христіана Вольфа, Лентмана и Лейпольда (Leupold) связаны съ первыми изобрѣтеніями по части анемографіи. Графъ d'Ons-en-Bray въ 1734 г. устроилъ счетчикъ для записыванія направленія вѣтра, очень похожій на изобрѣтенный впоследствии Беклеемъ (Beckley); здѣсь скорость вѣтра отмѣчается при помощи молоточка, поднимаемаго посредствомъ маленькой вѣтренной мельницы послѣ каждыхъ 400 оборотовъ ея и затѣмъ падающаго на равнобѣрно движущуюся бумагу для отмѣтокъ.

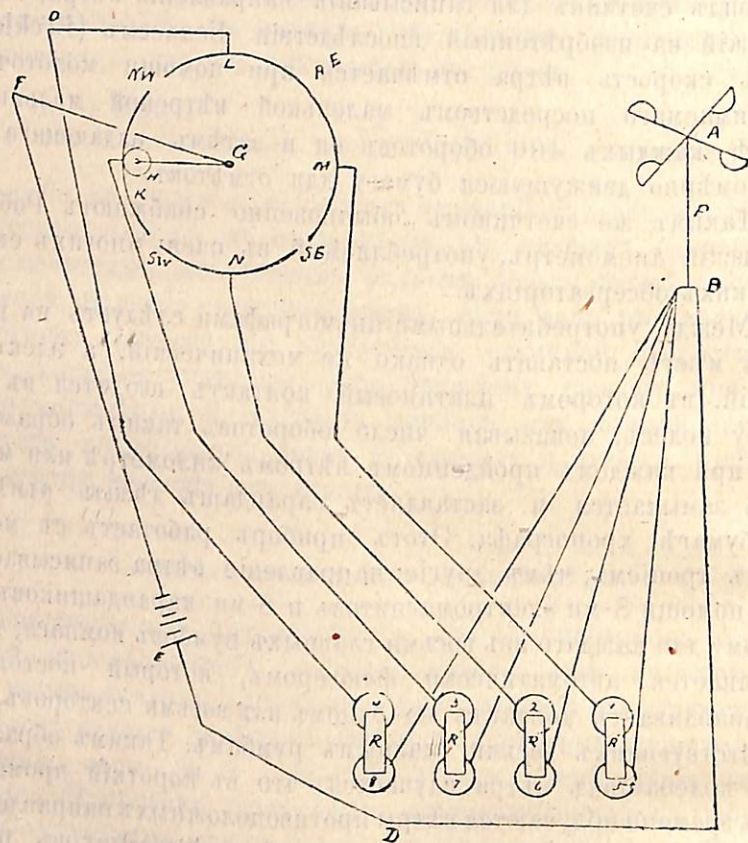
Такимъ же счетчикомъ обыкновенно снабжаютъ Робинзоновскій анемометръ, употребляемый въ очень многихъ европейскихъ обсерваторіяхъ.

Между употребительными анемографами слѣдуетъ на первомъ мѣстѣ поставить однако не механическій, а электрическій, въ которомъ платиновый контактъ вводится въ систему колесъ, показывая число оборотовъ такимъ образомъ, что при каждомъ пройденномъ вѣтромъ километрѣ или милѣ токъ замыкается и заставляетъ карандашъ дѣлать отмѣтку на бумагѣ хронографа. Этотъ приборъ работаетъ съ меньшимъ треніемъ, чѣмъ другіе; направленіе вѣтра записывается при помощи 8-ми электромагнитовъ и 8-ми карандашиковъ, по одному для cadaго изъ восьми главныхъ румбовъ компаса; токъ замыкается автоматически флюгеромъ, который постоянно устанавливаетъ контактъ на одномъ изъ восьми секторовъ, соответствующихъ восьми главнымъ румбамъ. Такимъ образомъ при колебаніяхъ вѣтра случается, что въ короткій промежутокъ времени получаютъ вѣтры противоположныхъ направленій.

Часто анемометръ вводится въ цѣпь проводниковъ регистраціи направленія. Тогда одни и тѣ же карандашники записываютъ одновременно и направленія вѣтра, и пути имъ пройденные въ миляхъ или километрахъ.

Общій принципъ, на которомъ основанъ этотъ затѣйливый приборъ, показанъ ясно на прилагаемомъ рисункѣ 41. Здѣсь *A* представляетъ Робинзоновскій анемометръ; *P*—поддерживающая стойка; *C* и *B*—точки, въ которыхъ прикрѣп-

лены провода, какъ то дѣлается и въ обыкновенной электрической конструкции самопишущаго анемометра, *C* и *B* металлически соединяются между собою при каждомъ пройденномъ вѣтромъ километрѣ или мили; въ остальное же



Фиг. 41.

время токъ между *C* и *B* прерванъ. *B* соединяется проволокой съ однимъ полюсомъ батареи *E*; проволоки же проходятъ отъ *C* къ зажимамъ 5, 6, 7, 8 электромагнитовъ записывающаго аппарата. Лѣвая часть рисунка представлена въ планѣ. *G*—нижній конецъ стержня, проходящаго сквозь

крышу въ комнату. Этотъ стержень соединенъ съ флюгеромъ и повторяетъ его движенія. На концѣ стержня *G* укрѣпленъ подъ прямымъ угломъ рычагъ, оканчивающійся маленькимъ фрикціоннымъ колесомъ *H*. Это колесо *H* катится по металлическому кругу, окружающему *G*; кругъ этотъ не цѣльный, но разрыванъ въ точкахъ, обозначенныхъ черезъ *NE*, *SE*, *SW*, *NW*. Эти перерывы такъ тонки, что *H* при своемъ оборотѣ вокругъ *G* почти мгновенно перескакиваетъ съ одного сегмента на другой. Сегментъ *L* соединяется съ зажимомъ 4 проволокой, проходящей черезъ *O*. Подобно тому *K* соединяется съ 3; *N* съ 2, а *M* съ 1. Проволока *GF* металлически соединена съ свободнымъ полюсомъ батареи.

Теперь предположимъ, что анемометръ и флюгеръ выставлены на вѣтеръ, который дуетъ съ запада. Это будетъ то положеніе, которое изображено на рисункѣ. Тогда замыкается черезъ *STZKHGFEDB* всякій разъ, когда анемометръ замыкаетъ токъ *BC*, якорь *R'* притягивается къ электромагнитамъ 3 и 7. Такимъ образомъ для вѣтровъ, идущихъ между *SW* и *NW* движенія якоря *R'* указываетъ каждую милю или километръ, пройденные вѣтромъ. Подобно тому якоря *R*, *R''*, *R'''* показываютъ пути вѣтровъ сѣвернаго, южнаго и восточнаго. Если мы прикрѣпимъ къ якорямъ *R*, *R'*, *R''*, *R'''* карандашики и поставимъ листокъ хронографа, то они запишутъ намъ въ отдѣльныхъ четырехъ столбцахъ соответствующія скорости вѣтра для четырехъ сторонъ горизонта. Удвоивши число сегментовъ, электромагнитовъ и карандашиковъ, мы получимъ записи для восьми румбовъ компаса. Мы достигнемъ того же, применяя вмѣсто колеса *H* два колеса, слѣдующія одно за другимъ по окружности на разстояніи 45° ; эти колеса замѣнутъ токъ по 2 сосѣднимъ направленіямъ тогда, когда вѣтеръ будетъ дуть по промежуточному румбу. Такимъ образомъ можно записывать вдвое больше румбовъ компаса. Записывая такимъ образомъ одновременно парныя комбинаціи 8 румбовъ, анемометръ Фусса позволяетъ отмѣчать 16 румбовъ.

Простѣйшій изъ употребительныхъ способовъ записыванія направленія вѣтровъ состоитъ въ томъ, что удлиняютъ ось флюгера, проводятъ въ комнату и ставятъ ее на коническое

нѣздо такъ, чтобы треніе было ничтожно; на нижній конецъ оси насаженъ цилиндръ, вращающійся вмѣстѣ съ нею: этотъ цилиндръ замѣняетъ ленту хронографа; въ него упирается записывающій карандашъ, медленно передвигаемый часовымъ механизмомъ въ вертикальномъ направленіи; когда цилиндръ вращается вмѣстѣ съ флюгеромъ, а карандашъ надавливаетъ на него, то постепенно записывается направленіе вѣтра. Карандашъ можно привести въ движеніе, прикрѣпляя его, напримѣръ, къ опускающейся гирѣ обыкновенныхъ стѣнныхъ часовъ.

Измѣреніе воздушныхъ движеній на большихъ высотахъ.

Обыкновенные приборы, употребляемые для измѣренія направленія и скорости воздушныхъ теченій, устанавливаются довольно близко отъ земной поверхности. Для того, чтобы измѣрять воздушныя движенія въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы, надо подняться на какую-нибудь возвышенность. Но и тамъ при всѣхъ благопріятныхъ условіяхъ все-таки нельзя уберечься отъ вредныхъ вліяній мѣста. Съ цѣлью достигнуть результатовъ, независимыхъ отъ расположенія зданій или рельефа мѣстности, было предложено пользоваться игрушечными воздушными шарами, дымомъ взрывающихся ракетъ, дымомъ фабричныхъ и пароходныхъ трубъ, привязанными аэростатами и бумажными змѣями, къ которымъ прикрѣплялись бы анемометры; однако всѣ эти способы мало примѣнялись на дѣлѣ.

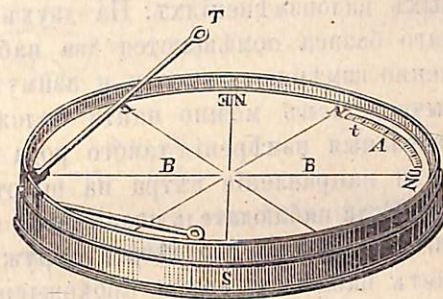
Въ большинствѣ метеорологическихъ учрежденій, наблюдаютъ верхнія воздушныя теченія, по движенію облаковъ. Такимъ образомъ легко опредѣлить направленіе воздушныхъ теченій; что же касается скоростей ихъ, то таковыя опредѣляются на практикѣ лишь немногими наблюдателями.

1) Направленіе движенія.

Обыкновенно наблюдатели отмѣчаютъ только направленіе проходящихъ облаковъ, но методъ, по которому совершается большинство наблюденій, вообще можетъ дать лишь приближительные результаты, за исключеніемъ того случая, когда облака проходятъ черезъ зенитъ. Въ нѣкоторыхъ обсервато-

ріяхъ употребляются зеркала, по поверхности которыхъ послѣдовательно движется отраженное изображеніе облаковъ, соотвѣтственно ихъ дѣйствительному движенію; приборы такого рода, какъ ниже описанный приборъ Форніони, весьма полезны, такъ какъ помогаютъ избѣгать крупныхъ личныхъ ошибокъ, являющихся при обыкновенномъ способѣ наблюденія.

Нефоскопъ Форніони, изображенный на фиг. 42, состоитъ изъ круглаго компаса (заключеннаго въ ящикъ) около 15 см. въ діаметрѣ со свободно вращающейся магнитной стрѣлкой въ центрѣ; надъ стрѣлкой, которая не можетъ быть видна на рисункѣ, укрѣплено горизонтальное черное стеклянное зеркало *ВВ*. На этомъ зеркалѣ намѣчены черточки по главнымъ румбамъ компаса. На секторѣ, заключенномъ между радіусами, проведенными чрезъ точки сѣвера и сѣверо-запада, часть амальгамы стерта



Фиг. 42.

что позволяетъ видѣть сквозь стекло магнитную стрѣлку, а также градусы компаснаго круга. По окружности прибора обращается визиръ *Т*. При употребленіи приборъ устанавливается горизонтально и ориентуется по меридіану. Тогда *Т* приводится въ такое положеніе, что глазъ наблюдателя находится на одной линіи съ центромъ зеркала и отраженіемъ нѣкоторой избранной для наблюденія точки облака. Тотъ радіусъ, по которому будетъ двигаться отраженіе этой точки, при неизмѣнномъ положеніи глаза, и представитъ собою дѣйствительное направленіе движенія облака. Доказательство этого правила для облаковъ, непаходящихъ въ зенитъ, очень облегчаетъ задачу слѣдующій принципъ, указанный Абба: „всѣ плоскости, проведенныя черезъ глазъ наблюдателя и горизонтальные пути облаковъ, движущихся параллельно другъ другу, пересекаются горизонтъ въ общей точкѣ, которая и опредѣляетъ азимутальное

направление движение облаков". Къ этой точкѣ направлень и тотъ радиусъ зеркала, по которому движется отраженіе облака.

2) Скорость движениа.

Если положеніе облака опредѣлено при началѣ и концѣ извѣстнаго промежутка времени, то и скорость его движениа опредѣлится. Для опредѣленія скорости движениа облаковъ примѣняются слѣдующіе способы:

Тригонометрическій методъ, предложенный въ 1650 г. Ричіоли (Riccioli) и примѣнявшійся съ успѣхомъ въ различныхъ видоизмѣненіяхъ. На двухъ концахъ хорошо вымѣреннаго базиса помѣщаются два наблюдателя, и оба одновременно измѣряютъ высоту и азимутъ облака. Затѣмъ простымъ вычисленіемъ можно найти положеніе облака. Два послѣдовательныя измѣренія такого рода дадутъ не только скорость, но и направленіе вѣтра на высотѣ облака.

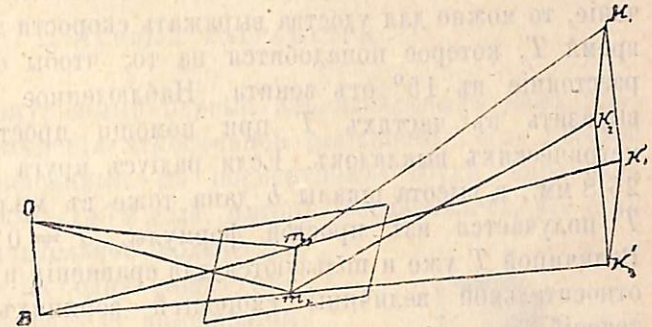
Если наблюдатель поднимется на такую возвышенность, съ которой можно обозрѣвать окружающую мѣстность, онъ можетъ наблюдать время прохожденія тѣни облака между двумя извѣстными точками, и при помощи топографической карты окрестностей опредѣлять направленія и скорости, а если еще наблюдена угловая скорость облака, то и высоту облака.

Нефоскопы, устроенные впервые Эме (Aimé) въ 1845, затѣмъ Броуномъ (Braun), затѣмъ еще Мари Дэви (Marie Davy), Линсомъ (Linns), Секки (Secchi), Форніони (Fornioni), Финеманомъ (Finemann) и другіе, — служатъ для опредѣленія видимыхъ или относительныхъ движеній облаковъ, которое замѣняетъ опредѣленіе абсолютныхъ движеній, въ томъ случаѣ если послѣднихъ нельзя наблюдать. Принципъ этихъ приборовъ слѣдующій:

Пусть O (фиг. 43) есть мѣсто глаза наблюдателя а K_1K_2 путь, описываемый облакомъ (предположительно въ горизонтальной плоскости); усматриваемое наблюдателемъ въ зеркалѣ перемѣщеніе облака изобразится линіею m_1m_2 , которая очевидно будетъ параллельна линіи K_1K_2 ; азимутъ линіи m_1m_2 будетъ слѣдовательно равенъ азимуту движениа облака. Кажущееся разстояніе m_1m_2 короче разстоянія K_1K_2 во

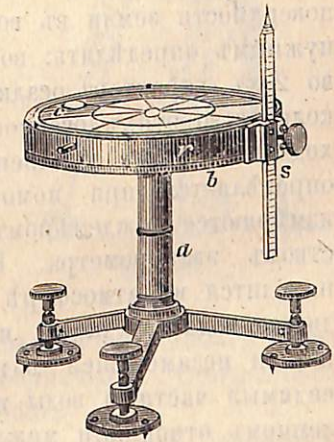
столько разъ, во сколько перпендикуляръ OB короче $k_1k'_1$, т.-е. во сколько высота визира меньше высоты облака ($\Delta b b_1$).

Изъ многихъ видовъ нефоскоповъ, построенныхъ на этомъ принципѣ, достоинъ упоминанія особенно одинъ — Финемана, изображенный на рис. 44.



Фиг. 43.

Этотъ приборъ, какъ и упомянутый приборъ Форніони, снабженъ компасомъ для того, чтобы можно было ориентироваться при веденіи наблюденій, и состоитъ также изъ круглаго горизонтальнаго зеркала съ радиусами, соотвѣствующими румбамъ компаса, и окружностью, проведенною около того же центра нѣкоторымъ опредѣленнымъ радиусомъ; сбоку помѣщена шкала, перпендикулярная къ зеркалу; эта шкала можетъ двигаться помощью винта вверхъ и внизъ, кромѣ того она прикреплена къ вращающемуся ободу такъ, что можетъ перемѣщаться по краю зеркала. Во время наблюденія шкала устанавливается такъ, чтобы глазъ наблюдателя находился на одной линіи съ центромъ зеркала, отраженной въ немъ избранной точкой облака и концомъ шкалы. Выбранная точка облака будетъ двигаться по направленію отъ центра зеркала вдоль по радиусу, и этотъ радиусъ дастъ направленіе движениа облака.



Фиг. 44.

Время, въ которое точка эта проходитъ отъ центра зеркала до окружности концентрическаго круга, обозначается черезъ t . Такъ какъ эти измѣренія имѣютъ чисто относительное значеніе, то можно для удобства выражать скорости движенія чрезъ время T , которое понадобится на то, чтобы облако прошло разстояніе въ 15° отъ зенита. Наблюдаемое время t легко выразить въ частяхъ T при помощи простыхъ тригонометрическихъ выкладокъ. Если радіусъ круга на зеркалѣ — 26·8 мм., а высота шкалы b дана тоже въ миллиметрахъ, то T получается изъ простой формулы: $T = 0\cdot01 bt$ (Аббэ). Величиной T уже и пользуются для сравненія и представленія относительной величины скоростей верхнихъ воздушныхъ теченій.

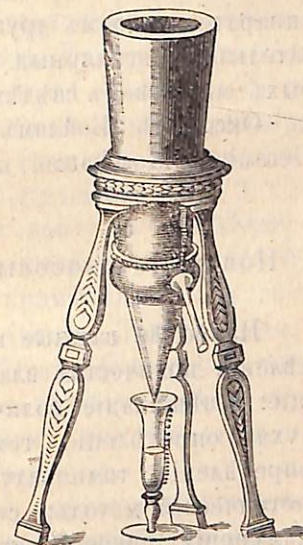
§ 4. Приборы для измѣренія влажности воздуха и осадковъ.

Для уясненія такъ называемаго круговорота воды въ атмосферѣ, состоящаго въ перемежающемся переходѣ воды съ поверхности земли въ воздухъ и обратно, метеорологи сочли нужнымъ опредѣлять: во 1-хъ, степень влажности воздуха; во 2-хъ, характеръ осадковъ, выпадающихъ на землю; въ 3-хъ, количество этихъ осадковъ, въ 4-хъ, количество влаги, переходящей путемъ испаренія изъ земли въ воздухъ. Первое опредѣляется при помощи гигрометровъ, второе и третье измѣряются дождемѣромъ, а четвертое вычисляется посредствомъ эвапорометра. Необходимо припомнить, что влага находится въ атмосферѣ въ двухъ формахъ: или какъ невидимые водяные пары, или какъ видимыя частицы замерзшей и незамерзшей воды. Сгущеніе невидимыхъ паровъ въ видимыя частицы воды наступаетъ обыкновенно при опредѣленномъ отношеніи между количествомъ влаги, давленіемъ и температурою воздуха, которое было тщательно изслѣдовано Реньо лабораторнымъ способомъ. Результаты, полученные Реньо для воздуха, насыщеннаго паромъ, приняты всѣми; послѣ некоторой переработки выводовъ Реньо, произведенной Брохомъ (Broch) въ Международномъ Бюро мѣръ и вѣсовъ въ

Севрѣ, появились еще болѣе усовершенствованныя таблицы для упругости насыщеннаго пара ¹⁾.

. ПЕРВЫЕ ГИГРОМЕТРЫ.

По Гельману, самый первый изъ извѣстныхъ намъ приборовъ для измѣренія атмосферной влажности, есть вѣсовой гигрометръ, описанный въ посмертномъ трудѣ кардинала Nicolaus de Cusa, 1472 года. Авторъ рассказываетъ, что если помѣстить значительное количество сухой шерсти на одну чашку вѣсовъ и уравновѣсить ее камешками, наложенными на другую, то вѣсъ шерсти увеличивается или уменьшается сообразно съ тѣмъ, дѣлается ли окружающій воздухъ болѣе сухимъ или болѣе влажнымъ. Неизвѣстно только время изобрѣтенія этого прибора, но такъ какъ кардиналъ умеръ въ 1464 г., когда Леонардо Да Винчи было всего 12 лѣтъ, то право за послѣднимъ на идею гигроскопа не можетъ быть признано, какъ то дѣлалось до сихъ поръ. Въ 1554 г. Мизо (Mizauld) впервые замѣтилъ вліяніе сырости на струны инструментовъ, а пять лѣтъ спустя Baptista Posta обратилъ вниманіе на гигроскопическія свойства „остей“ дикаго овса; Приблизительно черезъ сто лѣтъ Торричелли употреблялъ это вещество для опредѣленія влажности.



Фиг. 45.

Первый сгустительный гигрометръ былъ устроенъ Герцогомъ Фердинандомъ II въ Тосканѣ. Этотъ приборъ, изображенный на рис. 45, состоялъ изъ резервуара, имѣющаго форму усѣ-

¹⁾ Для температуръ ниже 0° важныя работы исполнены въ послѣдніе годы гг. Фишеромъ, и Юлиномъ (Julien), доказавшими различіе между насыщеннымъ паромъ жидкой воды и льда.
Ред.

ченного конуса, и былъ сдѣланъ изъ пробки, покрашенной внутри и обложенной снаружи металлическимъ листомъ. Остріе конуса представляла коническая стеклянная воронка безъ отверстія внизу, подъ которою ставилась стеклянная ваза. Когда резервуаръ наполнялся снѣгомъ или льдомъ, то частицы влаги, находящейся въ воздухѣ, сгущались на охлажденной внѣшней сторонѣ воронки, и затѣмъ капли падали въ подставленную измѣрительную вазу, причемъ отмѣчалось время, необходимое для того, чтобы собрать извѣстное количество влаги. Въ 1665 г. Фердинандъ установилъ регулярныя наблюденія по этому способу, для чего разослалъ нѣсколько аппаратовъ своимъ друзьямъ. Однако дѣйствительно послѣдовательныя регулярныя гигрометрическія наблюденія, о которыхъ мы имѣемъ свѣдѣнія, были начаты 30-го іюня 1666 года въ Оксфордѣ Бойлемъ, который воспользовался растеніемъ *Geranium Moschatum*, какъ гигроскопическимъ веществомъ.

Новѣйшіе способы измѣренія влажности воздуха.

Наиболѣе важныя изъ существующихъ методовъ для опредѣленія количества влаги, находящейся въ воздухѣ, слѣдующіе: взвѣшиваніе количества влаги въ данномъ объемѣ воздуха; опредѣленіе температуры насыщенія (точки росы), опредѣленіе температуры испаряющейся воды или психрометрическій методъ; спектроскопическій методъ; наблюденіе измѣненій гигроскопическихъ веществъ, втягивающихъ въ себя влагу, и наконецъ оптический методъ.

Изъ всѣхъ этихъ методовъ преимущественно два употребляются въ метеорологической практикѣ: наблюденіе температуры психрометра, т.-е. термометра съ сухимъ и влажнымъ шариками и измѣреніе длины волоса въ гигрометрѣ Соссюра.

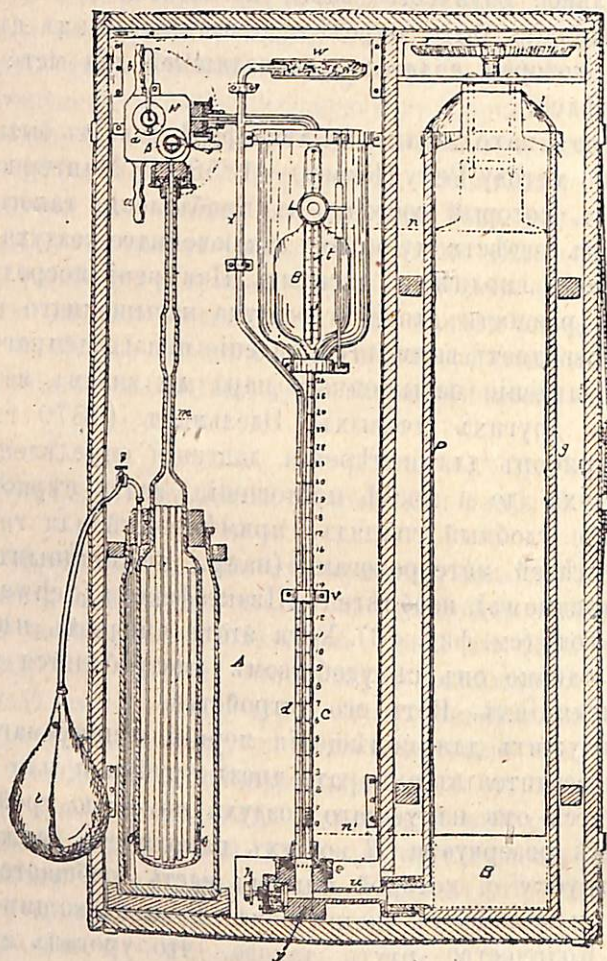
Болѣе точный, такъ называемый абсорбціонный методъ опредѣленія количества влажности, находящейся въ данномъ количествѣ воздуха, можетъ примѣняться только въ физическихъ лабораторіяхъ. Если назначенный къ высушиванію воздухъ проходитъ сквозь стеклянную сушильную трубку, гдѣ помѣщена стеклянная вата, облитая крѣпкимъ растворомъ

сѣрной кислоты или фосфорнымъ ангидридомъ, причемъ всасываемая струя движется по узкой трубкѣ со скоростью 2-хъ литровъ въ часъ, то одинъ литръ воздуха, высушеннаго такимъ образомъ, не будетъ содержать болѣе 0.0025 миллиграм. воды. Остальное количество влаги поглотится сушильною трубкою и можетъ быть опредѣлено взвѣшиваніемъ съ такою точностью, которая является уже излишней для метеорологическихъ цѣлей.

Упругость паровъ, находящихся въ атмосферѣ, можетъ быть опредѣлена еще по методу Рену (Renou)—1858 г. и Мантерна (Mantern) 1880 г., который состоитъ въ прибавленіи такого количества воды къ извѣстному объему заключеннаго воздуха, которое нужно, чтобы вполне его насытить. Измѣреніе посредствомъ манометра разности давленія воздуха насыщеннаго и ненасыщеннаго позволяетъ вычислить давленіе ненасыщеннаго пара, такъ какъ давленіе насыщеннаго пара мы знаемъ изъ опытовъ Рену и другихъ ученыхъ. Эдельманъ (1879 г.) конструировалъ приборъ для измѣренія давленія опредѣленнаго объема воздуха до и послѣ поглощенія влаги сѣрной кислотой; но болѣе удобный снарядъ, примѣненный для гигрометрическихъ цѣлей метеорологами (напр., Зворыкинымъ, Пернтеромъ и Марвиномъ), изобрѣтенъ Швакгёферомъ (Schwackhöfer) въ 1878 году (см. фиг. 46). Хотя этотъ аппаратъ нѣсколько тяжелъ, однако онъ съ удобствомъ употребляется и въ ученыхъ экспедиціяхъ. Вотъ его устройство.

Резервуаръ *B* служитъ для помѣщенія порціи испытываемаго воздуха, который вводится въ аппаратъ чрезъ трубки *a* или *b* и затѣмъ изолируется отъ наружнаго воздуха помощью тройного крана. Кромѣ резервуара *B* воздухъ наполняетъ также градуированную трубку *c*, которой нижняя часть сообщается горизонтальнымъ каналомъ съ цилиндромъ *P*, содержащимъ въ себѣ ртуть. Количество ртути таково, что уровень ея совпадаетъ съ нулемъ градуированной трубки. Но уровень этотъ измѣнится, если мы будемъ дѣйствовать на ртуть, находящуюся въ цилиндрѣ *P* свободно-движущимся поршнемъ *F*. Стоитъ для этого закрутить винтъ, обозначенный въ правомъ верхнемъ углу чертежа, и тогда поршень *F* выдавитъ ртуть, которая поднимется какъ въ трубкѣ *c* и резервуарѣ

B, такъ и въ цилиндръ *P* до большей или меньшей высоты. Понятно, что поршень *F* поднимаютъ, когда нужно впустить въ резервуаръ *B* пробу воздуха. Резервуаръ *B* окру-



Фиг. 46

въ срединѣ банки, и сообщается съ внутреннимъ пространствомъ послѣдней черезъ мелкія отверстія *oo*, продѣланныя у ея дна. Банка содержитъ также сѣрную кислоту. Если сжимать резиновый шарикъ *Z*, то воздухъ давитъ на

вторичной стеклянной оболочкой, заключающей въ себѣ глицеринъ для поддержания постоянной температуры, которая измѣряется термометромъ *t*. При помощи крановъ *a* и *β*, воздухъ, заключенный въ резервуаръ *B*, можетъ быть пропущенъ по трубкѣ *m* въ сушильную камеру *A*, содержащую стеклянные палочки и сѣрную кислоту. Камера *A* укрѣплена

поверхность кислоты и заставляетъ ее подниматься въ сосудѣ *A*. Передъ опытомъ кислоту выдавливаютъ до марки *m*, на уровнѣ которой кислота остается, коль скоро кранъ *q* будетъ запертъ. Предъ наблюденіемъ ртуть въ градуированной трубкѣ устанавливаютъ на нуль, а сѣрную кислоту—у марки *m*. Затѣмъ открываютъ кранъ *q* и дѣйствуютъ поршнемъ *F*; тогда ртуть выдавливается въ резервуаръ *B*, воздухъ переходитъ въ сушильную, а сѣрная кислота вытѣсняется въ банку; мѣшокъ *Z* наполняется бывшимъ въ немъ прежде воздухомъ. Когда воздухъ, находящійся въ *A*, лишится содержанія влаги подѣйствіемъ сѣрной кислоты, мѣшокъ *Z* сжимаютъ, одновременно дѣйствуя поршнемъ *F*, и кислота переходитъ въ *A*, а осушенный воздухъ вновь наполняетъ *B* и тонкія трубки. Нетрудно замѣтить, что ртуть въ градуированной трубкѣ теперь уже не будетъ стоять на той же высотѣ, до которой она доходила прежде, но поднимется нѣсколько выше по трубкѣ, такъ какъ давленіе высушеннаго воздуха ослабѣло отъ уничтоженія водяныхъ паровъ. Свободный доступъ наружнаго атмосфернаго давленія поддерживается черезъ трубку *d*, которая имѣетъ отверстіе *w*, заткнутое ватой; нижній открытый конецъ ея введенъ въ трубку со ртутью *c*. Чтобы найти измѣреніе объема воздуха, происшедшее вслѣдствіе осушенія, мениски ртути въ трубкахъ *c* и *d* поднимаются путемъ опусканія поршня *F* до тѣхъ поръ, пока обѣ поверхности совпадутъ и покажутъ, что давленіе воздуха по обѣ стороны одинаково. Тогда показаніе объема въ *c* будетъ свидѣтельствовать о томъ, что въ объемѣ воздуха произошла перемѣна вслѣдствіе удаленія изъ него водяныхъ паровъ. Весь опытъ можетъ быть произведенъ въ теченіе 10 минутъ. Можно сдѣлать нѣсколько тысячъ наблюденій съ однимъ и тѣмъ же зарядомъ сѣрной кислоты.

Волосный гигрометръ.

Изъ общепотребительныхъ гигрометрическихъ снарядовъ, наблюденія съ которыми регулярно публикуются, главнѣйшіе суть: психрометръ или два термометра съ влажнымъ и сухимъ

шариками и волосной гигрометръ. Послѣдній изъ нихъ былъ изобрѣтенъ Соссюромъ (Saussure), и до сего времени въ его конструкціи было сдѣлано очень мало усовершенствованій, за исключеніемъ мелкихъ механическихъ поправокъ въ деталяхъ. Въ инструментахъ хорошей конструкціи чувствительною частью служитъ свѣтлый женскій волосъ, очищенный отъ жира и натянутый грузикомъ, на немъ привѣшеннымъ (предѣльное сопротивление волоса = 100 граммамъ, а нагрузка у предѣла упругости составляетъ 33%). При увеличеніи влажности волосъ удлиняется, причемъ вытяженіе въ длину волоса, въ 10 дюймовъ длиной, доходитъ до 0.03 мм. на одинъ процентъ влажности. Для удобнѣйшаго отмѣчанія влажности нижній свободный конецъ волоса охватываетъ колесо, соединенное съ указателемъ. При растяженіи или сокращеніи волоса колесо поворачивается, и указатель скользитъ по особой дугообразной шкалѣ. Шкала раздѣлена на дѣленія отъ 0—100; 0 обозначаетъ абсолютную сухость, а 100 — высшую точку насыщенія влагой. Для установки указателя на 100, приборъ помѣщаютъ въ ящикъ, со стѣнкою, затынутою намоченнымъ кускомъ полотна, и затѣмъ закрѣпляютъ волосъ въ желаемомъ положеніи. Когда точка насыщенія жюстирована, то обыкновенно и прочія дѣленія шкалы приблизительно соответствуютъ процентамъ насыщенія. Существуетъ мнѣніе, что съ помощью этого прибора степень влажности опредѣляется съ точностью до 1 или 2%; такъ оно и бываетъ въ лабораторныхъ опытахъ. Г. Бергманъ вывелъ изъ многолѣтнихъ наблюденій метеор. станцій въ Россіи, что въ мѣсяцы съ наименьшею влажностью среднія величины ея по гигрометру выше на 2%, чѣмъ по психрометру, а въ мѣсяцы съ наибольшею влажностью — ниже на столько же; въ отдѣльных же мѣсячныхъ выводахъ средняя разница, случается, достигаетъ и $\pm 8\%$. Опытъ показалъ, что необходимо провѣрять гигрометръ хоть разъ въ годъ, и разъ въ пять лѣтъ отдавать старый инструментъ въ починку, или совсѣмъ замѣнять его новымъ.

Психрометры.

Употребленіе ртутнаго термометра съ влажнымъ шарикомъ для опредѣленія количества влаги, находящейся въ воздухѣ, путемъ наблюденія охлажденія, производимаго испареніемъ, было введено Бомомъ (Baume), Соссюромъ (de Saussure), Гуттономъ (Hutton) и Лесли (Leslie); но идея новѣйшаго психрометра, состоящаго изъ двухъ термометровъ, одного съ сухимъ шарикомъ, и другого съ шарикомъ, покрытымъ мокрой кисеей, принадлежитъ Айвори (Ivory 1822 г.) и Августу (1825 г.), развившимъ одну и ту же мысль независимо другъ отъ друга. Августъ болѣе подробно разработалъ свою теорію и осуществилъ на практикѣ аппаратъ, который теперь и называется его именемъ. Первоначальная теорія инструмента, разработанная Апхономъ (Apjohn), Реньо и другими, основывается на разсмотрѣніи парообразованія и охлажденія въ одной массѣ воздуха безъ притока тепла извнѣ и называется конвекціонною теоріею. Въ 80-хъ годахъ появились теоріи Стефана и Максвелля, основанныя на диффузіи паровъ. Весьма интересная работа Максвелля помѣщена въ *Encyclopædia Britannica*.

Опредѣленія постоянныхъ величинъ путемъ опыта и вообще экспериментальное изслѣдованіе психрометра было выполнено Зворыкинымъ въ Россіи и Марвиномъ (Marwin) на Пайксъ-Пикѣ (Pikes Peak). Феррель свелъ въ одно цѣлое результаты этихъ работъ и теорію Стефана и напечаталъ свою монографію въ изданіяхъ Signal Service въ Вашингтонѣ.¹⁾

Работая съ психрометромъ, должно принимать тѣ же предосторожности, что и по отношенію къ обыкновенному термометру, а именно: влажный шарикъ долженъ быть всегда помѣщаемъ въ воздушномъ теченіи. Еще задолго до 1786 г. Соссюръ устраивалъ вентиляцію для влажнаго шарика термометра, быстро вращая его на шнурѣ, къ нему привязанномъ; независимо отъ Соссюра, методъ вращенія или венти-

¹⁾ Въ послѣдніе годы весьма цѣнное изслѣдованіе психрометра выполнено Эггольмомъ, давшимъ правила для наблюденія психрометра при температурахъ ниже 0°.

лированія термометра былъ предложенъ многими учеными: Белли (1830), Араго (1830), Бравэ (1836), Эспи (1840) и др. Давно признано, что наблюденія съ психрометромъ, особенно если температура ниже нуля, безъ вентиляціи прибора, отличаются неправильностью, но, несмотря на то, одни только итальянскіе метеорологи ввели у себя вентиляцію психрометра еще до опубликованія изслѣдованія Зворыкина (*Repertorium für Meteorologie* Вильда). Зворыкинъ ясно указалъ, что постоянная психрометра оказывается постоянною именно только при воздушномъ теченіи со скоростью не менѣе 2 метровъ въ секунду; а при меньшихъ скоростяхъ имѣетъ инныя величины. Немного лѣтъ спустя послѣ этого вентиляція была принята большою сѣтью станцій, подвѣдомственныхъ Бюро Погоды Сѣверо-Американскихъ Соед. Штатовъ.

Въ случаѣ невозможности устроить вентиляцію для психрометра, волосной гигрометръ окажется предпочтительнѣе, въ особенности при низкихъ температурахъ, при которыхъ малая ошибка въ опредѣленіи температуры влечетъ за собою большую ошибку въ вычисленіи относительной влажности. Подвергать термометръ дѣйствию воздушнаго потока, скорости 2-хъ или 3-хъ метровъ въ секунду, необходимо за двѣ минуты до наблюденія; большая скорость воздуха, въ которомъ находится термометръ, излишня, такъ какъ мало прибавляетъ въ смыслѣ точности получаемыхъ результатовъ.

Ассманнъ (Assmann) изобрѣлъ переносный аппаратъ (рис. 47), въ которомъ термометрическіе шарикъ заключаются въ двойныхъ металлическихъ отлично отполированныхъ гильзахъ, сквозь которыя пропускается особымъ вентиляторомъ быстрая струя воздуха. Съ такимъ приборомъ можно получать хорошіе результаты, работая даже въ солнечный день, а также во время путешествій.

Самопишущіе гигрометры.

Къ волоснымъ гигрометрамъ легко придѣлывается приспособленіе для записыванія его показаній; прекрасные и дешевые гигрографы этого рода изготовляютъ братья Ришаръ

въ Парижѣ. Но лучшій способъ состоитъ въ фотографированіи показаній сухого и влажнаго шарика термометра, причемъ вентиляція и смачиваніе должны быть постоянны.

Измѣреніе осадковъ.

Измѣреніе осадковъ, будь они въ видѣ дождя или въ видѣ снѣга, составляетъ занятіе очень многихъ частныхъ метеорологовъ. Безъ ихъ содѣйствія не могутъ обойтись спеціальныя метеорологическія учрежденія. Хотя относительно принципа измѣренія осадковъ не существуетъ никакихъ несогласій, и хотя вездѣ измѣряютъ непосредственно ихъ количество, выпадающее на данную горизонтальную площадь, для чего нуженъ только открытый резервуаръ, однако на дѣлѣ примѣняются столь различныя формы и способы установки дождемеровъ, что показанія отдѣльныхъ наблюдательныхъ пунктовъ для одной и той же мѣстности разнятся между собою болѣе, чѣмъ на 100%.

Существуетъ нѣсколько причинъ такого несогласія въ показаніяхъ: размѣры и форма отверстія собирательнаго сосуда, приспособленія, устраиваемыя для удержанія водяныхъ капель, послѣ того какъ онѣ направлены въ отверстіе сосуда, а болѣе всего предосторожности, которыя были приняты при



Фиг. 47.

установкѣ дождемѣра, для того, чтобы, по возможности, уничтожить вредныя вѣшнія вліянія, особенно выдуваніе осадковъ вѣтромъ.

Вопросъ о размѣрѣ и формѣ отверстій есть вопросъ второстепенной важности, но тщательная установка дождемѣра очень важна, столько же, сколько важна установка термометра при наблюденіяхъ его. Что касается формы сосуда, то почти повсемѣстно остановились теперь на цилиндрическомъ сосудѣ, сдѣланномъ изъ металлическаго листа, съ правильно обточеннымъ по кругу заостреннымъ краемъ (отъ 8 до 10 дюймовъ въ діаметрѣ; для тропическихъ странъ достаточно—3 дюйма); внутри сосуда помѣщается воронкообразное фальшивое дно, сквозь которое вода можетъ пройти въ нижнюю, иногда суженную часть сосуда, гдѣ она предохраняется отъ испаренія. Заостренные края дождемѣра иногда дѣлаются скошенными, такъ, чтобы въ дождемѣръ попадали не только вертикально падающія капли, но и струи косою дождя.

Вильдъ совѣтуетъ вводить въ сосудъ четыре металлическихъ перегородки, расположенныя подъ прямымъ угломъ другъ къ другу, пересѣкающія оси дождемѣра, чтобы удерживать снѣгъ отъ выдуванія, разъ онъ уже попалъ въ снѣгомѣръ.

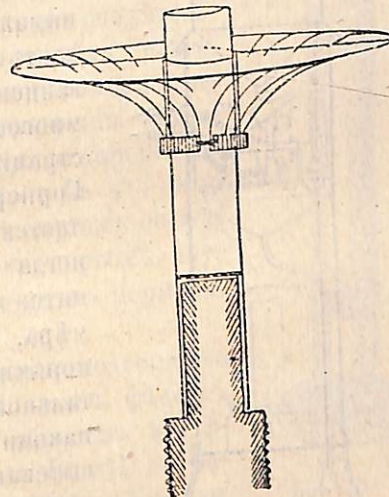
Существуютъ различные методы для измѣренія количества осадковъ. Можно взвѣшивать осадки на вѣсахъ, или измѣрять толщину ихъ слоя масштабомъ или переливать ихъ въ градуированный высокій стаканъ, какой употребляется химиками, для болѣе точнаго измѣренія объема. Въ нѣкоторыхъ лучшихъ дождемѣрахъ у основанія приделанъ кранъ, черезъ который воду можно выпустить изъ дождемѣра, такъ что не надо каждый разъ переворачивать сосудъ. Снѣгъ, прежде чѣмъ мѣрить, конечно, надо растопить.

При установкѣ дождемѣра слѣдуетъ заботиться о томъ, чтобы вѣтеръ оказывалъ наименѣе вліянія на количество „сбора“, и чтобы потеря воды, путемъ испаренія, до измѣренія была низведена до крайняго minimum'a. Вредное вліяніе вѣтра до извѣстной степени умѣряется посредствомъ конической жести-

ной защиты, окружающей дождемѣръ. На рисунокѣ 48 помѣщено изображеніе щита, предложеннаго Ниферомъ въ 1878 г. Въ настоящее время отверстія дождемѣра и защиты помѣщаются въ одной горизонтальной плоскости. Благодаря такому устройству, внутрь дождемѣра не попадаетъ вѣтеръ сверху, и выскакиванія водяныхъ брызгъ не наблюдается.

Давно уже было замѣчено (кажется, впервые Геберденомъ (Heberden) въ 1766 году), что количество собирающихся въ дождемѣрѣ осадковъ уменьшается по мѣрѣ поднятія его вверхъ надъ земной поверхностью; существовало мнѣніе, что количество выпадающихъ на верху осадковъ дѣйствительно меньше чѣмъ внизу, на поверхности земли; теперь же доказано, что эта разница въ количествѣ осадковъ является лишь результатомъ дѣйствія вѣтра. Въ Ниферовомъ защищенномъ дождемѣрѣ, на примѣръ, собирается почти одинаковое количество дождевой воды, какъ вверху, на крышѣ, такъ и внизу, на землѣ, тогда какъ въ обыкновенномъ дождемѣрѣ, если его установить на возвышенномъ пунктѣ, не накопится и $\frac{3}{4}$ того количества, какъ внизу. Между прочимъ достойно замѣчанія, что Вильдъ, набрасывая планъ Павловской Обсерваторіи (см. рис. 60), такъ вывелъ верхъ башни, чтобы возможно болѣе отклонять вѣтеръ книзу, и такимъ образомъ достигъ того, что на крышѣ оказались нормальныя условія движенія воздуха.

Вліяніе испаренія можно довести до minimum'a, помѣщая дождемѣръ въ тѣни, а также суживая отверстіе фальшиваго дна насколько возможно больше.

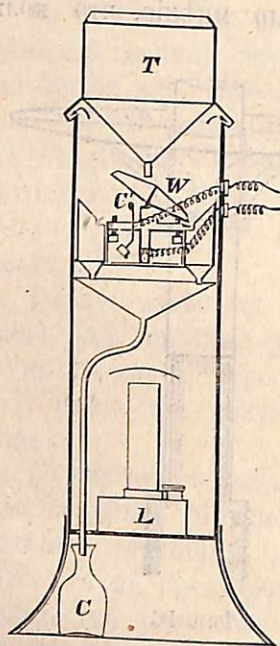


Фиг. 48.

Много было сдѣлано пробъ съ цѣлью выработать лучшій образецъ дождемѣра; одинъ изъ позднѣйшихъ, принадлежащій Гельману (въ Берлинѣ), принятъ для станцій недавно преобразованнаго Прусскаго Метеорологическаго Бюро.

Самопишущіе дождемѣры или плювиографы.

Приборы для самозаписыванія показаній количества выпадающаго дождя встрѣчаются трехъ категорій: 1) съ по-



Фиг. 49.

плавающимъ, 2) съ качающимся корытцемъ и 3) вѣсовой. 1) Опущенный въ дождемѣръ поплавочъ, поднимаясь при накопленіи воды, передаетъ свое движеніе приспособленію, записывающему его по одному изъ многочисленныхъ методовъ регистраціи; 2) корытце, изобрѣтенное Горнеромъ (W на фиг. 49), раздѣляется перегородочкою на двѣ части; когда одна часть корытца наполнится водою, вытекающею изъ дождемѣра, то она перевѣшивается, и корытце, насаженное на горизонтальной оси, переваливается; тогда накопившаяся вода изливается, а вытекающая изъ дождемѣра вода начинаетъ скопляться въ другой половинѣ корытца, пока не перетянетъ опять корытце въ свою сторону. Такимъ образомъ корытце автоматически качается съ одной стороны на другую и опорожняется само собою, когда получить извѣстное количество воды; каждое качаніе замыкаетъ токъ чрезъ качающійся контактъ 'C', и отмѣчается на бумагѣ хронографа; число и время его колебаній можетъ быть записываемо также механическимъ способомъ. 3-й способъ состоитъ въ постоянномъ или прерывающемся автоматическомъ записываніи относительнаго вѣса воды.

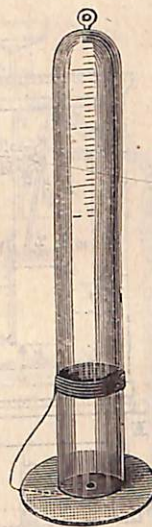
Испареніе.

На обыкновенныхъ метеорологическихъ станціяхъ употребляется эвапорометръ Пипа (Piche, рис. 50), состоящій изъ градуированной пробирки, которую наполняютъ водою, прикрываютъ листкомъ пропускной бумаги и опрокидываютъ. Пропускная бумага препятствуетъ вытеканію воды изъ пробирки, а вмѣстѣ съ тѣмъ, намокая, подставляетъ вліянію воздуха постоянно влажную поверхность; вода постепенно испаряется, и убыль ея пополняется водою, которая находится въ трубочкѣ. Измѣненіе высоты водяного столба свидѣтельствуетъ о количествѣ испарившейся влаги. Найдено, что существуетъ постоянное отношеніе между количествомъ испаренія эвапорометра Пипа и количествомъ испаренія съ свободной водной поверхности, такъ что если это отношеніе точно опредѣлится путемъ опыта, то показанія, получающіяся въ первомъ случаѣ, могутъ быть легко приведены къ нормальнымъ величинамъ.

Скорость испаренія настолько подвержена вліянію скорости вѣтра, что этотъ факторъ долженъ быть тщательнымъ образомъ изслѣдованъ. Тома Руссель (Thomas Russel) въ Вашингтонѣ нашелъ, что при вѣтрѣ, обладающемъ скоростью 15 миль въ часъ, испареніе въ 5 разъ больше, чѣмъ при штилѣ.

Количество испаренія зависитъ также отъ размѣровъ и вещества диска, съ поверхности котораго испаряется влага, такъ что для количественнаго опредѣленія влаги нужно знать для каждаго даннаго прибора его собственный переводный множитель.

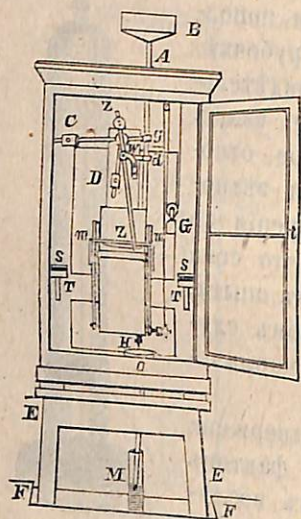
Самозаписывающій эвапорометръ или атмографъ можетъ быть устроенъ на тѣхъ же основаніяхъ, какъ самозаписывающій вѣсовой дождемѣръ. Соотвѣтствующее приспособленіе можетъ быть придѣлано и къ эвапорометру Пипа. Нерѣдко



Фиг. 50.

испаряющаяся поверхность атмографа выставляется совершенно свободно на воздухъ; въ этомъ случаѣ, естественно, въ резервуаръ съ водою будутъ попадать осадки дождя, снѣга и пр., и для полученія количества испаренія нужно будетъ изъ показаній атмографа вычитать показаніе плевіографа.

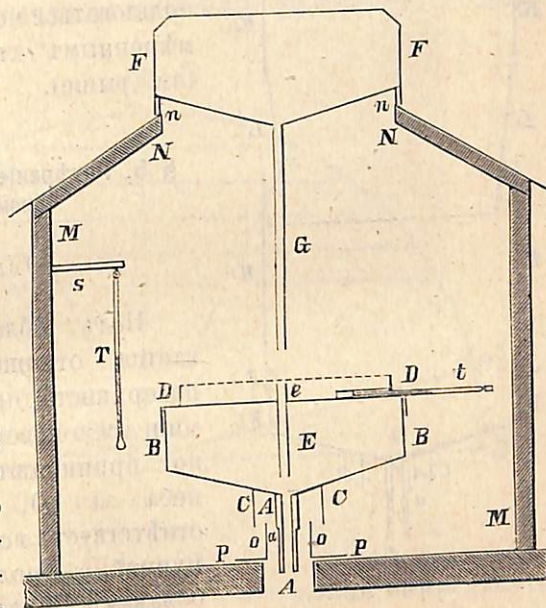
Вильдъ устроилъ самозаписывающій вѣсовой аппаратъ (рис. 51'), приспособленный для обѣихъ цѣлей, т. е. какъ для измѣренія количества испаренія, такъ и для измѣренія осадковъ; количество выпадающаго снѣга измѣряется на этомъ аппаратѣ, носящемъ названіе омбро-атмографа непосредственно путемъ взвѣшиванія, какъ и количество дождя.



Фиг. 51'.

На рисункѣ видно изображеніе регистрирующаго аппарата, котораго нѣтъ необходимости подробно описывать, довольно только сказать, что *B* — это металлическая чашка, открытая сверху, и что она посредствомъ стержня *A* опирается въ точкѣ *g* на призму праваго плеча коромысла вѣсовъ и уравнивается грузами *C* и *D*. Нижній конецъ показателя *Z*, прикрѣпленнаго къ коромыслу вѣсовъ, нажимаетъ автоматически на записной листокъ черезъ каждыя десять минутъ, и такимъ образомъ колебанія коромысла, происходящія отъ убыли или прибыли воды въ *B* и *A*, записываются послѣдовательно черезъ десяти-минутные интервалы. Рисунокъ 51'' представляетъ въ большомъ масштабѣ приспособленія, примѣняемые въ лѣтнее время, т. е. когда температура не опускается ниже 0°. Стержень *A* проходитъ сквозь отверстіе въ крышѣ будки атмографа, такъ что чашка *B* помѣщается надъ крышею послѣдней; особая рѣшетчатая будочка *MM* защищаетъ чашку *B*. На верху *B* укрѣпляется тарелка *D* съ трубкой *E*, проходящей черезъ дно ея и съ отверстіемъ *e*, находящимся немного ниже верхняго края *D*,

которая наполняется водою. Эта вода представляетъ испаряющуюся поверхность. Надъ крышею будки *M* помѣщается резервуаръ для собиранія осадковъ *F*, изъ котораго вода течетъ сквозь трубку *G* въ тарелку *D* и оттуда въ трубку *e*, изъ которой она выливается черезъ кранъ *H* черезъ опредѣленные промежутки времени. Термометръ *t* показываетъ температуру воды, а термометръ *T* — температуру воздуха въ будкѣ. Когда дождь идетъ, то количество воды въ *D*, *B* и второстепенныхъ трубкахъ *e* и *A* увеличивается, и вѣсъ на правомъ плечѣ коромысла возрастаетъ, что и приводитъ въ движеніе записывающій показатель. Когда же нѣтъ дождя и начинается процессъ испаренія, вѣсъ уменьшается и слѣдуетъ обратное движеніе указателя.



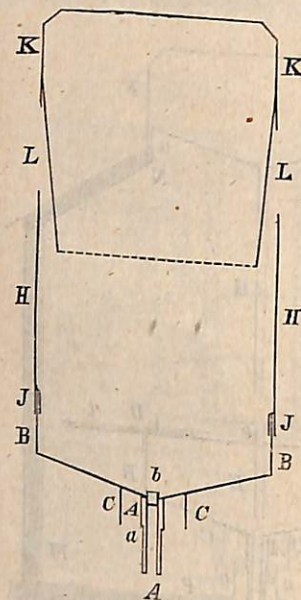
Фиг. 51''.

Эти различные движенія, отмѣченныя на листкѣ, легко читаются. Если показанія наносятся только черезъ десяти-минутные промежутки времени, то при отмѣчаніи непродолжительныхъ явленій могутъ вкратѣться легкія ошибки, происходящія отъ того, что не будутъ записаны ни испареніе, совершающееся между двумя послѣдовательными отмѣтками, ни дождь, выпавшій въ теченіе того же самаго промежутка времени, такъ какъ они взаимно уравниваются.

Зимой Вильдъ замѣняетъ металлическую тарелку *D* цилиндромъ *H* (фиг. 51''') съ высокими стѣнками, а равнымъ образомъ и приѣмному резервуару даетъ форму цилиндра

KKLL съ высокими стѣнками и безъ дна. Снѣгъ, попадающій въ отверстіе *KK*, соскальзываетъ внизъ и по немногу накопляется въ *B* и *H*. Когда уровень его поднимется до соприкосновенія съ *Z*, его вычерпываютъ ложкою изъ аппарата причемъ дѣлаютъ соотвѣтственную отмѣтку на записи. Зимой отверстіе трубки *A* закрывается пробкой, чтобы талая вода, при замерзаніи, не разрушила трубки.

Для достиженія непрерывности записи омбро-атмографа можно воспользоваться методомъ Шпрунга, примененнымъ къ вѣсовому барографу (см. выше).



Фиг. 51^м.

§ 5. Измѣреніе облачности и солнечной радіаціи.

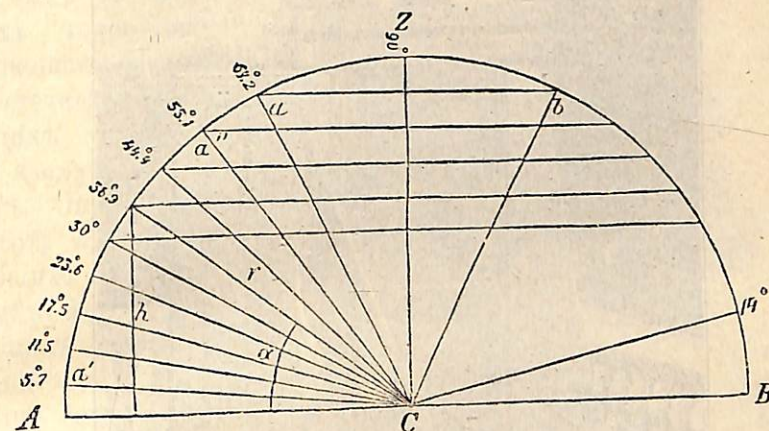
Облачность.

Подъ облачностью подразумѣвается отношеніе между частью поверхности неба, покрытой облаками и всею поверхностью. Обыкновенно принимаютъ всю поверхность неба за 10, тогда отмѣтка 0 соответствуетъ ясной погодѣ, 10 — пасмурной, 5 — половинѣ неба, покрытой облаками. Вслѣдствіе перемѣн облачности, зависящихъ отъ мѣста и мѣстныхъ отмѣтокъ имѣютъ

времени, такіа моментальныя и мѣстные характеръ. Вѣрность опредѣленія относительной степени облачности всецѣло зависитъ отъ наблюдателя, который безъ всякихъ измѣрительныхъ приспособленій, невооруженнымъ глазомъ дѣлаетъ выводъ, что именно такая-то часть неба покрыта облаками; поэтому отмѣтки записной книжки имѣютъ довольно условное значеніе: небольшая степень облачности = 1, не много бѣлая = 2 и т. д. до 10, т.-е. до высшей степени облачности.

На приложенномъ чертежѣ, заимствованномъ изъ статьи Лауренти (Laurenty; Repertorium für Meteorologie Вильда т. X), показана относительная величина каждой десятой небеснаго свода, начиная отъ горизонта къ зениту. Полоса облака, простирающаяся по всему горизонту до высоты $5 \cdot 7^\circ$, должна обозначаться на шкалѣ, раздѣленной на 0 — 10 дѣлений, — 1 (единицей), т.-е. точно такъ же какъ облако, занимающее надъ головою наблюдателя кругъ радіусомъ въ $25^\circ, 8$.

Надо вообще замѣтить, что трудность измѣренія увеличивается по мѣрѣ увеличенія зенитнаго разстоянія, и нѣко-

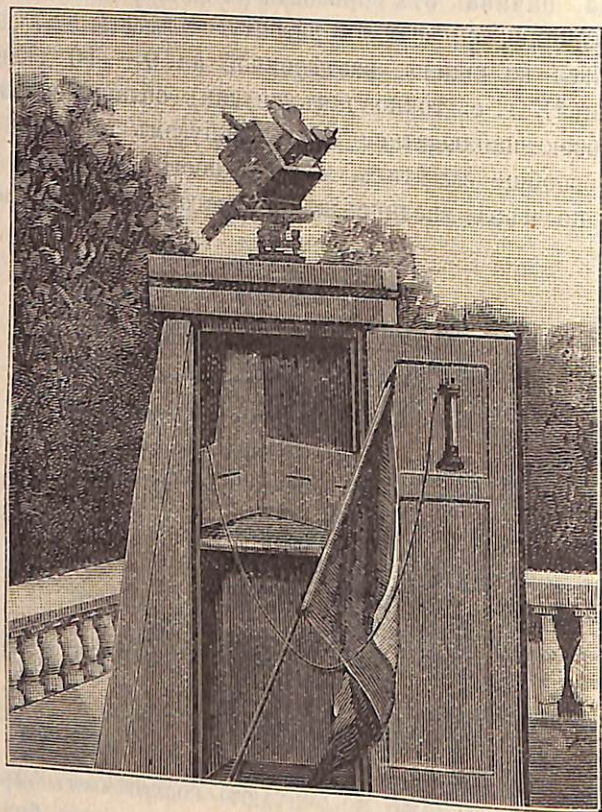


Фиг. 52.

торые метеорологи даже не считаютъ возможнымъ опредѣлять степень облачности при зенитныхъ разстояніяхъ болѣе 45° ; это мнѣніе основано на томъ, что если облако находится на горизонтѣ, то видимое протяженіе его обусловливается его толщиною, между тѣмъ какъ въ зенитѣ видно его дѣйствительное горизонтальное протяженіе.

Наиболѣе пригоднымъ вспомогательнымъ средствомъ для опредѣленія поверхности части неба, покрытой облаками, служитъ употребляемая въ Павловскѣ конусообразная рамка изъ проволоки. Наблюдатель устанавливаетъ свой глазъ у вершины конуса, обращенной кнззу и визируетъ чрезъ верхніе проводочные круги обширный сегментъ неба вблизи зенита, діа-

метромъ въ 120° . Отнесенная къ этой площади облачность, оказывается меньшею, чѣмъ опредѣляемая непосредственно для цѣлаго небеснаго полусвода неба.



Фиг. 53.

Очень немного сдѣлано измѣреній толщи облаковъ, въ большинствѣ наблюдений только обозначается какую часть земной поверхности могутъ закрыть облака, т.-е. насколько велико затѣненіе земли.

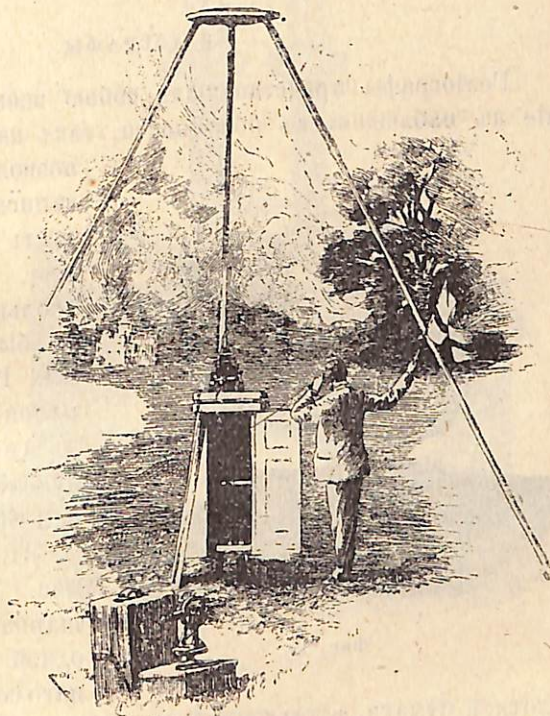
Высота облаковъ.

Умѣть опредѣлить высоту облаковъ надъ земной поверхностью нужно по двумъ причинамъ: во-1-хъ, для того, чтобы измѣрять скорость вѣтра въ верхнихъ слояхъ атмосферы,

и во-2-хъ, для того, чтобы имѣть понятіе о процессѣ образованія облаковъ. Появленіе каждаго изъ различаемыхъ типовъ облаковъ обуславливается опредѣленными физическими причинами, изъ которыхъ лишь немногія достаточно ясно выяснены. Много было предложено методовъ для изслѣдованія высоты облаковъ; изъ нихъ наиболѣе удачный состоитъ въ одновременномъ фотографированіи облачныхъ раіоновъ при помощи двухъ камеръ, устанавливаемыхъ на концахъ точно измѣреннаго базиса, на стативахъ, имѣющихъ движеніе по азимуту и высотѣ. Опредѣливъ высоту и азимутъ общихъ точекъ двухъ фотографическихъ изображеній облака и длину базиса, путемъ простого тригонометрическаго вычисленія (быстро дѣлаемаго по составленнымъ таблицамъ или графическимъ способомъ) получимъ высоту облака, а

фотографія дастъ внѣшній видъ его. Такой приборъ, называемый фото-нефоскопомъ или фотограмметромъ, употребляется въ обсерваторіи Кью, гдѣ онъ былъ установленъ впервые Эбнеемъ (Abney) около 1883 г. (Рис. 53).

Этотъ приборъ въ дѣйствиіи изображенъ на рис. 54, гдѣ видна одна изъ станцій. Большой треножникъ служитъ для

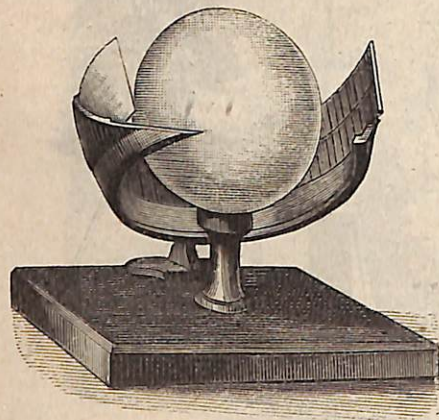


Фиг. 54.

точнѣйшей юстировки мѣсть аппаратовъ. Сообщение между двумя наблюдателями производится при помощи телефоновъ и сигнальнаго флага. Телефонъ такъ облегчаетъ переговоры между двумя станціями, что многія полезныя наблюденія были произведены двумя наблюдателями даже безъ употребленія фотографій, потому что тождественность избранныхъ точекъ большею частью могла быть установлена съ достаточною точностью.

Гелиографы.

Гелиографы представляютъ собою весьма важное дополненіе къ наблюденіямъ облачности, такъ какъ эти инструменты позволяютъ съ легкостью записать продолжительность солнечнаго сіянія, т.-е. отмѣтить когда и сколько времени солнце не было покрыто облаками. Большимъ распространеніемъ, въ особенности въ Англии, пользуется слѣдующій гелиографъ Campbell-Stokes'a.



Фиг. 55.

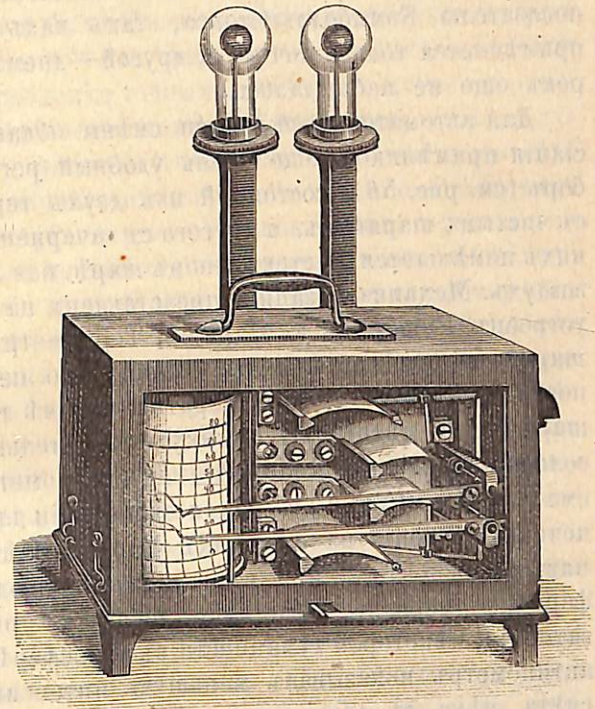
Этотъ приборъ (см. рис. 55) состоитъ изъ шарообразнаго стекла, съ одной стороны окруженаго согнутою полоскою изъ плотной бумаги, вставленной въ особую подставку такимъ образомъ, что всѣ точки ея поверхности находятся какъ разъ въ фокусѣ стекла. Лучи солнца, проходя сквозь стекло, прожигаютъ отверстие въ папѣ, а когда солнце измѣняетъ свое положеніе, то, сообразно съ тѣмъ, и прожженная дырочка появляется въ другомъ мѣстѣ на бумагѣ; по истеченіи дня на бумагѣ получается узенькая выжженная полоска. Когда облака затемняютъ солнце, то въ прожженной полоскѣ замѣчаются перерывы; выжженные части свидѣтельствуютъ о времени солнечнаго сіянія, а пропущенныя, нетронутыя части папки указываютъ

на то, что солнце нѣкоторое время было закрыто облаками. При помощи дѣленій, нанесенныхъ на бумагу, время это выражается въ часахъ и минутахъ. При опредѣленіи времени однако вкрадывается нѣкоторая неточность, происходящая съ одной стороны отъ недостаточной отчетливости краевъ выжженныхъ мѣстъ, а также оттого, что прохожденіе небольшихъ облаковъ, на примѣръ, такихъ, которыя затемняютъ солнце на три, четыре минуты, едва замѣтно.

Большей точности можно достигнуть помощью приборовъ съ фотографическою бумагой, которая измѣняется отъ дѣйствія солнечнаго свѣта ¹⁾.

Среди многихъ другихъ приборовъ, употребляемыхъ от-

дѣльными метеорологами, заслуживаетъ вниманія устроенный по мысли Пикеринга (Pickering). Идея этого прибора та же, что и въ звѣздномъ, меридіанномъ фотометрѣ Пикеринга, установленномъ въ Кембриджѣ С. Шт. Полярная звѣзда движется очень медленно и если въ ясную ночь на нее направить свободно-движущуюся фотографическую пластинку, то



Фиг. 56.

¹⁾ Въ гелиографѣ ген. Ф. К. Величко примѣнена ферро-ціановая бумага синѣющая при отмываніи только на мѣстахъ подвергнувшихся освѣщенію.

получимъ звѣзду въ видѣ сплошнаго слѣда; послѣдній однако выйдетъ прерывистымъ, если проходящія облака будутъ на время скрывать звѣзду. Ротшъ (Rotch) съ успѣхомъ пользуется этимъ методомъ въ обсерваторіи Blue Hill въ Масачузетсѣ. Очевидно, что этотъ способъ опредѣленія облачности можетъ быть разсматриваемъ, какъ дополнительный къ солнечному показателю Кэмпбелль-Стокса, такъ какъ одинъ изъ нихъ примѣняется только ночью, а другой—днемъ; время же сумерекъ еще не наблюдалось.

Для автоматической записи смѣны облаковъ и солнечнаго сіянія примѣняютъ еще очень удобный регистрирующій приборъ (см. рис. 56), состоящій изъ двухъ термометровъ: одного съ чистымъ шарикомъ, а другого съ зачерненнымъ; каждый изъ нихъ помѣщается въ стеклянномъ шарѣ, изъ котораго выкачанъ воздухъ. Механизмъ записи представленъ на рис. 56, какъ онъ устроенъ Рипаромъ въ Парижѣ. Термометръ съ зачерненнымъ шарикомъ отмѣчаетъ почти ежеминутно переходы отъ облачности къ ясному небу и обратно. Кроме того, приборъ Рипара даетъ нѣкоторую оцѣнку относительной интенсивности солнечной радіаціи. Для этой цѣли актинометръ былъ примѣняемъ Эптономъ (Ypton) во время экспедиціи для наблюденія солнечнаго затменія на островахъ Каролины въ 1883 году. Приведя за основаніе при приведеніи наблюденій актинометра формулу Ферелли, онъ могъ доказать присутствіе въ день затменія, нѣкоторой туманности въ атмосферѣ, такъ какъ тогда актинометръ показывалъ меньшую интенсивность солнечнаго свѣта, чѣмъ въ другіе ясные дни, характеризовавшіеся болѣе шимъ постоянствомъ интенсивности свѣта.

§ 6. Метеорологическія Обсерваторіи.

Историческій очеркъ.

Въ теченіе нѣсколькихъ столѣтій съ названіемъ „обсерваторія“ соединилось понятіе объ астрономической обсерваторіи. Эта привычка такъ крѣпко привилась, что и теперь очень много представителей образованнаго міра, когда рѣчь идетъ о какомъ-нибудь учрежденіи, посвященномъ названію обсерваторіи, спросятъ: „какого рода эта обсерваторія?“ Въ дни юности

метеорологіи не было надобности въ постройкѣ особыхъ обсерваторій, потому что наблюденія и аппараты, тогда употреблявшіеся, отличались примитивнымъ характеромъ, а выборъ мѣста для наблюденія обусловливался личнымъ удобствомъ наблюдателей. Напротивъ установка телескопа требовала спеціально устроеннаго для того зданія, т.-е. обсерваторіи. Первыми наблюдателями были физики, естествоиспытатели, учителя, духовныя лица и т. п., которые не имѣли спеціальной подготовки къ употребленію точныхъ приборовъ. Астрономы же, занимавшіеся метеорологическими наблюденіями, вели аккуратно записи всѣхъ метеорологическихъ элементовъ; это дѣло было для нихъ не обременительно, такъ какъ оно занимало всего нѣсколько минутъ черезъ установленные промежутки времени и не только не мѣшало ихъ регулярнымъ занятіямъ, но даже, съ теченіемъ времени, вошло въ составъ самой службы. Стремленіе астрономовъ къ точности сказалось и по отношенію къ метеорологическимъ наблюденіямъ; такимъ образомъ астрономамъ болѣе чѣмъ прежнимъ физикамъ мы обязаны послѣдовательнымъ развитіемъ современныхъ методовъ метеорологическихъ наблюденій. Въ позднѣйшіе годы введеніе температуры и атмосфернаго давленія въ астрономическія вычисленія заставило дѣлать еще болѣе точныя наблюденія этихъ элементовъ въ разныхъ обсерваторіяхъ. Неизмѣнность мѣста астрономическихъ обсерваторій сообщаетъ громадное значеніе метеорологическимъ даннымъ, собраннымъ ими, такъ какъ ихъ данными, какъ нормальными, можно пользоваться для приведенія короткихъ рядовъ наблюденій, дѣлаемыхъ въ ихъ окрестностяхъ, къ нормальнымъ. Наблюденія, производимыя въ Парижской и Гринвичской обсерваторіяхъ, представляютъ прекрасные примѣры многолѣтнихъ записей: напримѣръ, наблюденія надъ выпаденіемъ осадковъ простираются въ Парижѣ на 200-лѣтній періодъ.

На астрономическихъ обсерваторіяхъ употреблялись приборы лучшей конструкціи, которыми можно было пользоваться, какъ эталонами для инструментовъ низшаго достоинства на станціяхъ менѣе постоянныхъ. Особенно это можно сказать относительно барометровъ.

Подобныя, долго существовавшія, условія способствовали

тому, что метеорологія оказалась только однимъ изъ отдѣловъ науки-астрономіи; и вотъ, когда стали задумывать и устраивать правительственныя метеорологическія предпріятія, то астрономическія обсерваторіи оказались самымъ удобнымъ мѣстомъ для необходимой въ такихъ случаяхъ централизаціи наблюденій, а когда были изобрѣтены нѣжные, самозаписывающіе аппараты, то астрономы оказались едва ли не единственными изъ числа регулярныхъ наблюдателей, съумѣвшими обращаться съ ними. То же самое можно сказать и относительно наблюденій надъ земнымъ магнетизмомъ. Подобное развитіе дѣла всего лучше можно было наблюдать на дѣятельности Парижской обсерваторіи за послѣдніе 15 лѣтъ.

Интересъ, который возбудился къ физической географіи, благодаря трудамъ Гумбольдта въ началѣ нынѣшняго столѣтія, и его продолжателей Купфера, Кэмца (Kaemtz), Сэбайна (Sabine) и др., былъ причиной разрыва, постепенно произошедшаго между астрономіей и метеорологіей; метеорологія совершенно вышла изъ подъ опеки астрономіи, хотя впрочемъ многія астрономическія обсерваторіи еще и понынѣ продолжаютъ публиковать метеорологическія наблюденія. Хотя еще раньше этого были организованы самостоятельныя метеорологическія учрежденія, однако только въ 1850 году начали свое дѣйствительное существованіе большіе метеорологическіе институты. Главная физическая обсерваторія въ Петербургѣ и обсерваторія Королевскаго Общества въ Кью — лучшіе образцы институтовъ, созданныхъ въ это время.

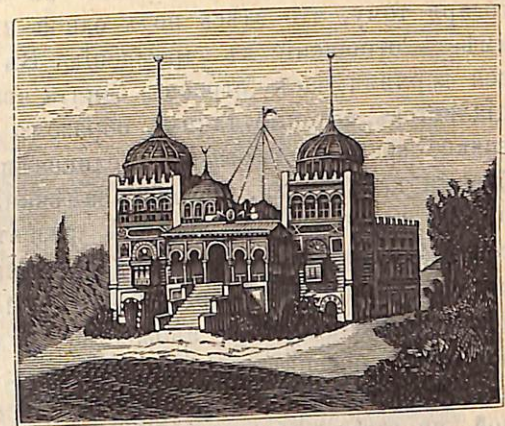
Оставляя въ сторонѣ исторію развитія этихъ метеорологическихъ учрежденій, замѣтимъ только, что теперь метеорологическіе институты стоятъ въ такихъ же отношеніяхъ къ обсерваторіямъ магнитнымъ, въ какихъ въ началѣ находились астрономическія обсерваторіи къ нимъ самимъ, и перейдемъ къ описанію ихъ общей современной фizioноміи.

Центральныя обсерваторіи.

Въ каждой странѣ, гдѣ есть сѣть метеорологическихъ станцій, есть и центральное учрежденіе, направляющее и контролирующее работу станцій и собирающее наблюденія

послѣднихъ для разбора и обнародованія или совмѣстнаго разсмотрѣнія. Хотя эти институты устраиваются вообще по одному и тому же плану, но каждый изъ нихъ представляетъ нѣкоторыя особенности.

Прежде чѣмъ приступить къ описанію центральныхъ обсерваторій, я хочу обратить вниманіе на Observatoire Municipal—въ Монсури (Montsouris) близъ Парижа (рис. 57). Эта обсерваторія занимается изученіемъ воздуха не только съ метеорологической точки зрѣнія, но и съ химической стороны. Это такого рода учрежденіе, которое желательно было бы видѣть въ каждой странѣ. Не существуетъ отчетовъ болѣе интересныхъ, чѣмъ анналы этой обсерваторіи, посвященные: „метеорологіи, химіи, микрографіи, гигиеническимъ приложеніямъ и пр.; они издаются фирмою Gauthier-Villars въ Парижѣ подъ названіемъ: „Annuaire de l'Observatoire Municipal de Montsouris“.



Фиг. 57.

Первоначальная задача метеорологическихъ институтовъ состоитъ въ собраніи и обнародованіи наблюденій, приходящихъ изъ разбросанныхъ повсюду обсерваторій, и нужно признать, что въ большинствѣ случаевъ выполненіе этой задачи не оставляло желать лучшаго. Число второстепенныхъ станцій весьма различно въ разныхъ странахъ, смотря по размѣрамъ каждой, а также различны и методы, по которымъ ведется дѣло, начиная отъ приемовъ, принятыхъ въ „Бюро Погоды“ въ Вашингтонѣ, гдѣ множество вычислителей исполняютъ предписанныя имъ обязанности болѣе или менѣе механически, и кончая „Австрійскимъ центральнымъ Бюро“ въ Вѣнѣ, гдѣ работа выполняется лично или по крайней мѣрѣ непосредственно ведется такими специалистами, изъ которыхъ нѣко-

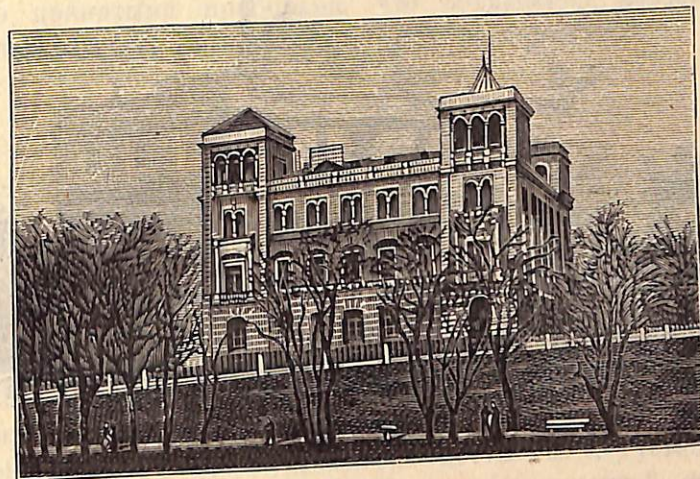
которые могли бы быть директорами обсерваторий. Повидимому такой порядок соответствует основным принципам Вѣнскаго центрального метеорологическаго института; это наиболѣе консервативное изъ всѣхъ большихъ центральныхъ учреждений; его официальное дѣло состоитъ: въ производствѣ мѣстныхъ наблюдений, въ пересмотрѣ наблюдений второстепенныхъ станцій, въ подготовленіи ихъ къ изданію по международнымъ образцамъ и производство предсказаній погоды изъ городского бюро, обособленнаго отъ центральной обсерваторіи въ Hohewarte; вѣроятно нигдѣ нельзя найти такого единства работы, какъ въ этомъ институтѣ, благодаря тому, что здѣсь подъ одной крышей живетъ все, что имѣетъ отношеніе къ учрежденію. Въ этой обсерваторіи почти вся верхняя часть строенія занята квартирами главныхъ спеціалистовъ, которые такимъ образомъ имѣютъ возможность во всякое время пользоваться великолѣпной библіотекой и рабочими кабинетами. Достоинно замѣчанія, что эта обсерваторія играла главную роль въ дѣлѣ развитія международной метеорологіи, и что вліяніе ея поддерживалось при посредствѣ метеорологическаго журнала, который издавался тамъ въ теченіе почти 25 лѣтъ; множество трудовъ, выполненныхъ директоромъ обсерваторіи, Ю. Ханномъ, хотя и не въ официальномъ изданіи таблицъ, свидѣтельствуетъ о его удивительной, не имѣющей себѣ равной, плодовитости, какъ писателя и критика.

Нѣкоторыя изъ центральныхъ бюро такъ приспособлены, что разомъ выполняютъ назначеніе центрального учрежденія, а также обсерваторіи, хорошо расположенной и оборудованной для производства наблюдений, таковы: Hohewarte въ Вѣнѣ и Deutsche Seewarte въ Гамбургѣ (рис. 58). Теперь однако въ большинствѣ случаевъ предпочитаютъ раздѣленіе этихъ двухъ функций, при чемъ устраиваютъ одно учрежденіе, для административной работы и затѣмъ филиальную обсерваторію, находящуюся въ значительномъ разстояніи отъ первой въ мѣстности, представляющей лучшія условія для успѣшнаго хода наблюдений. Таковы обсерваторія въ Кью, зависящая, въ значительной степени отъ Лондонскаго Meteorological Office, Павловская обсерваторія, подчиненная С.-Петербургской глав-

ной физической обсерваторіи, и Observatoire Parc St. Maur, находящаяся подъ началомъ Парижскаго Центрального метеорологическаго Бюро. Такая организація несомнѣнно обеспечиваетъ успѣшный, ничѣмъ непрерываемый ходъ занятій, столь необходимый для развитія обсерваторскаго дѣла.

Спеціальныя занятія нѣкоторыхъ обсерваторій.

Вывѣрка приборовъ, употребляемыхъ при наблюденіяхъ — одна изъ самыхъ важныхъ функций центральныхъ институтовъ. Наибольшаго развитія достигло это дѣло въ обсерваторіи

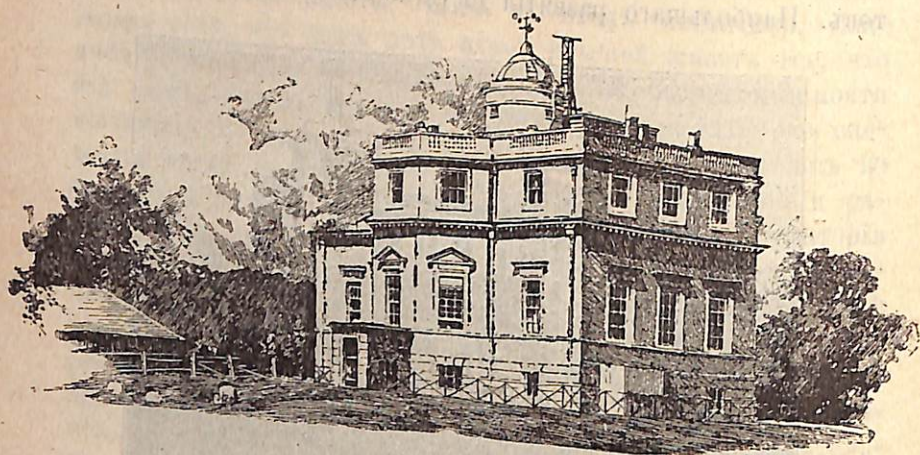


Фиг. 58.

Кью (см. рис. 59), которая стала извѣстна всему свѣту по сертификатамъ, приложеннымъ къ инструментамъ, работающимъ почти во всѣхъ странахъ. Хотя дѣло провѣрки инструментовъ поставлено въ нѣкоторыхъ другихъ обсерваторіяхъ, напр., въ С.-Петербургской главной физической обсерваторіи, не хуже чѣмъ въ Кью, однако всѣ эти обсерваторіи, вмѣстѣ взятыя, не провѣряютъ такого числа инструментовъ, особенно примѣняемыхъ въ практической жизни, какъ обсерваторія Кью. Устроенное ею болѣе 20 лѣтъ тому назадъ бюро для вывѣрки инструментовъ приняло теперь громадныя размѣры, такъ что число вывѣренныхъ приборовъ въ 1890 году достигло 20,000.

въ томъ числѣ 12,500 клиническихъ термометровъ. Доходы, получаемые этимъ путемъ, почти, если не совсѣмъ, покрываютъ расходы по обсерваторіи. Успѣхъ обсерваторіи Кью побудилъ и другія обсерваторіи послѣдовать ея примѣру въ этомъ, отчасти коммерческомъ, предпріятіи.

Дѣло предсказаній погоды и штормовыхъ предупрежденій ведется съ наибольшимъ совершенствомъ и быстротой въ Вашингтонскомъ центральномъ институтѣ Сѣверо-Американскаго Бюро Погоды; успѣху дѣла благоприятствовали слѣдующія об-



Фиг. 59.

стоятельства: предсказаніе погоды было главною задачею этого Бюро, и сравнительно съ нимъ все прочее считалось дѣломъ второстепенной важности. Наблюдатели, доставляющіе телеграфныя сообщенія о погодѣ, на которыхъ основываются предсказанія, постоянно находятся подъ контролем учрежденія; для уплаты за пересылку телеграммъ о погодѣ, за которыми признано право на передачу внѣ очереди, отпускается много денегъ. Большинство штормовъ, надвигающихся съ запада, не могутъ приблизиться къ центральнымъ и восточнымъ штатамъ такъ неожиданно, какъ приходящіе къ Европейскимъ берегамъ. Въ Европѣ наиболѣе полныя и успѣшныя предсказанія погоды и штормовыя предупрежденія производятся

въ англійскомъ метеорологическомъ бюро въ Лондонѣ и въ Германской морской обсерваторіи, въ Гамбургѣ.

Но еще большаго вниманія заслуживаютъ эти центральныя учрежденія, какъ метеорологическія обсерваторіи. Отъ нихъ слѣдуетъ ожидать образцовой организаціи наблюдений, какъ съ точки зрѣнія порядка веденія ихъ, такъ и въ отношеніи употребляемыхъ нормальныхъ приборовъ; въ нихъ долженъ осуществляться идеаль наблюдательной метеорологіи. Но въ настоящее время въ большинствѣ случаевъ метеорологи не могутъ дѣликомъ проводить въ жизнь своихъ идей, и вынуждены бываютъ пользоваться уже готовыми, ранѣе принятыми приборами, что объясняется недостаточностью средствъ, имѣющихся въ ихъ распоряженіи.

Павловская обсерваторія въ Россіи.

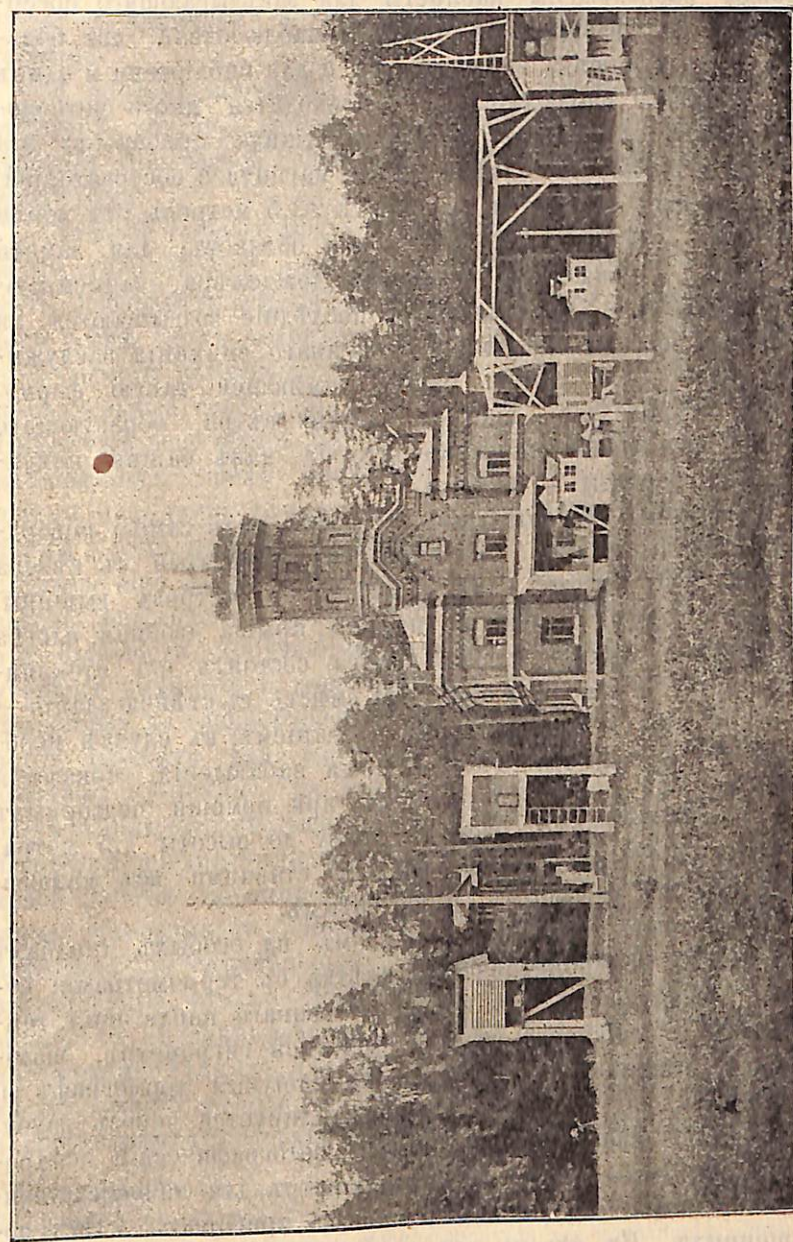
Съ цѣлью по возможности ясно показать весь ходъ работы, производимой въ этихъ обсерваторіяхъ, я избралъ, какъ частый случай, одну обсерваторію, представляющуюся мнѣ наиболѣе близкою къ совершенству.

Павловская обсерваторія возникла при очень благоприятныхъ условіяхъ. Директоръ ея, академикъ Г. И. Вильдъ, создавшій ее, приступилъ къ основанію ея послѣ множества трудовъ, потраченныхъ въ продолженіе 15 лѣтъ на изученіе и усовершенствованіе аппаратовъ. Работы его по установкѣ метеорологическихъ приборовъ при астрономической обсерваторіи въ Бернѣ (около 1865 года) составляютъ эпоху въ исторіи практической метеорологіи, а когда онъ, нѣсколько лѣтъ спустя, сдѣлался директоромъ главной физической обсерваторіи въ Петербургѣ и, слѣдовательно, главою русской метеорологической сѣти, онъ произвелъ рядъ важныхъ улучшеній въ способахъ метеорологическихъ наблюдений и въ конструкціи и примѣненіи самопишущихъ приборовъ. Однако мѣстныя условія не позволили ему осуществить свои идеи немедленно; только съ построеніемъ Павловской обсерваторіи въ 1876 году, онъ получилъ большой просторъ для своихъ начинаній. Расположенная въ углу парка, принадлежавшаго Великому Князю Константину Николаевичу, въ разстояніи

30 верстъ къ Ю.-В. отъ Петербурга и 2 верстъ отъ городка и дачнаго мѣстечка Павловска, обсерваторія помѣщается на полянѣ, расчищенной среди еловой рощи; окружающая ее мѣстность—возвышена или слегка поката, а самыя строенія такъ расположены, что представляютъ благопріятныя условія для установки различнаго рода приборовъ, за исключеніемъ, анемометра, который недостаточно возвышается надъ уровнемъ еловыхъ вершинъ и, защищенный такимъ образомъ отъ вліянія вѣтровъ, не показываетъ полной силы ихъ.

Для осушенія мѣстности воспользовались ея естественнымъ склономъ; рывина, куда спустили воду, образовала родъ пруда, который служитъ для измѣренія испаряемости воды въ большомъ резервуарѣ. Система разбросанныхъ построекъ, которой отдаютъ предпочтеніе астрономы, была принята и здѣсь. Участокъ расположенъ между двумя большими дорогами; близъ главнаго вѣзда находится нѣсколько хозяйственныхъ строеній, помѣщенія для служащихъ и т. п., а въ разстояніи 150 футовъ отъ дороги стоитъ главное зданіе обсерваторіи (на заднемъ планѣ, рис. 60); за обсерваторіею приютились различныя мелкія постройки для установки простыхъ приборовъ; еще дальше, близъ середины участка земли расположены магнитные павильоны: одинъ деревянный для абсолютныхъ магнитныхъ измѣреній, а другой подземный (или, лучше сказать, покрытый слоемъ земли), вмѣщающій самопишущіе магнитные приборы. Постройка и обстановка стоятъ около 150.000 р.

Главное зданіе, какъ это всегда бываетъ въ подобныхъ учрежденіяхъ, отведено для побочныхъ занятій; въ нижнемъ этажѣ, на небольшой высотѣ надъ землею находится квартира сторожа, механическая мастерская, физическая лабораторія съ компараторомъ для измѣренія длины шкалъ, и приспособленіями для намагничиванія стальныхъ магнитовъ и для изслѣдованія ихъ, а также химическая и фотографическая лабораторія съ темной камерой, помѣщеніе для батареи, и наконецъ въ срединѣ этажа помѣщается печь для центрального отопленія; во второмъ этажѣ надъ топками расположена небольшая сводчатая ротонда, гдѣ содержатся приборы, требующіе постоянной температуры, какъ-то: самопишущіе барометры, часы, хронометры и т. п.; вокругъ этой



Фиг. 60.

ротонды расположены кабинеты для завѣдывающаго обсерваторіею, для физика или старшаго наблюдателя, два большихъ — для младшихъ наблюдателей и для библіотеки и одинъ для дежурнаго наблюдателя, гдѣ находится много метеорологическихъ аппаратовъ и самопишущихъ приборовъ; эта комната соединяется телефономъ съ магнитной обсерваторіей. Крыша башни находится на высотѣ 23,5 метровъ отъ земли и служитъ мѣстомъ для наблюденія облаковъ, для записи инсоляціи, а также для установки дождемѣра, записывающаго флюгера и анемометровъ; послѣдніе возвышаются на 3,5 метра надъ платформой. Особеннаго вниманія заслуживаетъ устройство крыши башни, имѣющей такую форму, которая парализуетъ вредное вліяніе вѣтра, образующаго обыкновенно около такого препятствія, какъ башня, неправильныя рикошеты и вихрики.

У сѣверной стороны зданія устроены надъ самою поверхностью земли навѣсы для приборовъ, открытый съ сѣвера (см. рис. 60). Этотъ навѣсъ имѣетъ 5 метровъ вышины, 5,3 метра длины, столько же ширины; крыша двойная, слегка наклоненная; задняя стѣнка навѣса состоитъ изъ стеклянныхъ оконъ и дверей, и образуетъ вмѣстѣ съ стѣною зданія — родъ коридора между навѣсомъ и зданіемъ; въ случаѣ необходимости произвести очень точныя наблюденія, показанія приборовъ читаются черезъ окна при помощи подзорныхъ трубъ. Стѣнки навѣса открыты снизу до высоты 1,5 метра, все остальное пространство закрыто ставнями изъ жалюзи. Полъ сдѣланъ сквознымъ, рѣшетчатымъ.

Подъ этимъ большимъ навѣсомъ на особыхъ столбахъ установлена психометрическая клѣтка съ термометрами, сухимъ и смоченнымъ, для непосредственнаго наблюденія температуры и влажности воздуха, волосной гигрометръ, тахигигрографъ; внутренняя клѣтка вентилируется черезъ трубу, проведенную сквозь крышу навѣса. Фотографическій психрометръ Эди (Adie, Kew) и эвапорометръ для непосредственнаго наблюденія дополняютъ списокъ приборовъ, здѣсь помещенныхъ. Къ сѣверу отъ главнаго зданія, лежитъ большое расчищенное пространство (отчасти видное на переднемъ

планѣ, рис. 60), на которомъ помѣщаются различные навѣсы съ приборами и мелкія строенія, гдѣ также находятся приборы.

Я обязанъ директору Г. И. Вильду, завѣдывающему обсерваторіей доктору Лейсту нижеслѣдующими деталями организациі Павловской обсерваторіи, еще не бывшими опубликованными ¹⁾.

Личный составъ Павловской Обсерваторіи. Для того, чтобы вести дѣло вполне обставленной Обсерваторіи, т.-е. производить и обрабатывать наблюденія, необходима служба по меньшей мѣрѣ трехъ человѣкъ; если прибавить къ этому штату еще одного наблюдателя, то становится возможнымъ вести параллельныя наблюденія и надъ земнымъ магнетизмомъ. Въ Павловскѣ весь штатъ состоитъ изъ завѣдывающаго, старшаго наблюдателя, трехъ младшихъ наблюдателей, механика и одного или двухъ служителей. Завѣдывающій обсерваторіею, кромѣ своихъ прямыхъ обязанностей по общему завѣдыванію, слѣдитъ еще за работами по магнетизму, а старшій наблюдатель завѣдываетъ метеорологическими наблюденіями; оба эти должности поручаются людямъ извѣстнымъ по своимъ ученымъ знаніямъ и дарованіямъ и получившимъ серьезную подготовку въ главной физической обсерваторіи. Низшія должности служатъ для многихъ переходными ступенями къ высшимъ ступенямъ на научномъ поприщѣ. Служба младшихъ наблюдателей совершенно рутинная, состоитъ въ производствѣ предписанныхъ наблюденій и исполненіи кропотливой работы группировки матеріала подъ надзоромъ старшихъ чиновниковъ. Большое количество наблюдательнаго матеріала по опредѣленію постоянныхъ для приборовъ, по изслѣдованію новыхъ приборовъ и методовъ, поступаетъ для обработки къ завѣдывающему и старшему наблюдателю. Въ продолженіе лѣтнихъ мѣсяцевъ, когда директоръ проживаетъ въ Павловскѣ, выполняется большое количество такой работы, и составляются проекты будущихъ усовершенствованій.

¹⁾ Лѣтомъ 1895 г. появилось на нѣмецкомъ языкѣ, составленное акад. Вильдомъ, весьма полное описаніе Константиновской обсерваторіи, коимъ въ настоящее время мы можемъ воспользоваться для пополненія данныхъ, сообщаемыхъ г. авторомъ. Ред.

Метеорологическіе приборы Павловской Обсерваторіи.

I. Для измѣренія воздушнаго давленія.

Для непосредственныхъ наблюденій.

- 1) Нормальный барометръ, описанный въ статьѣ Г. И. Вильда „о нормальныхъ барометрахъ Главной Физической Обсерваторіи въ С.-Петербургѣ“ въ 1892 г., законченный же устройствомъ въ 1894 г.
- 2) Ртутный барометръ Фусса № 247, 1-го разряда для проверки наблюденій и барографа.
- 3) Контрольный барометръ 1-го разряда Вильда-Турреттини № II.
- 4) Ртутный барометръ Турреттини № 58, 2-го разряда для наблюденій, такой же, какъ на станціяхъ второразрядныхъ. Служить для постоянныхъ наблюденій.
- 5) Станціонный барометръ Вильда-Фусса.
- 6) Анероидъ Ноде.

Самозаписывающіе приборы.

- 7) Ртутный вѣсовой барографъ Вильдъ-Гаслера съ температурной компенсаціей и приспособленіемъ для устраненія прилипанія ртути къ стеклу. Отмѣтки дѣлаются чрезъ каждыя 10 минутъ электрическимъ приспособленіемъ и служатъ для вычисленія публикуемыхъ ежечасныхъ величинъ давленія.
- 8) Ртутный вѣсовой барографъ Шпрунгъ-Фусса съ подвижнымъ грузомъ, вмѣстѣ съ аппаратомъ для устраненія прилипанія ртути къ стеклу, безъ температурной компенсаціи. Непрерывная запись. Служить, какъ контрольный аппаратъ.
- 9) Анероидъ-барографъ братьевъ Ришаръ. Непрерывная регистрація. Служить для пополненія изрѣдка случающихся пропусковъ въ записи барографа Вильда-Гаслера. №№ 1 и 5 находятся въ физической лабораторіи, № 4 — въ кабинетѣ дежурнаго наблюдателя, прочіе установлены на одной высотѣ въ центральной круглой, сводчатой залѣ, гдѣ поддерживается почти постоянная температура.

II. Для измѣренія температуры воздуха.

Для непосредственнаго наблюденія.

Ртутные термометры отъ Фусса въ Берлинѣ или Мюллера въ С.-Петербургѣ, изъ іенскаго стекла, со сферическимъ шарикомъ и замкнутою шкалою, раздѣленною на $\frac{1}{5}^{\circ}$ С., свѣренные съ нормальнымъ термометромъ въ С.-Петербургѣ.

- 1) Въ клѣткѣ листового ципка, помѣщенной въ нормальной будкѣ (Вильдовская нормальная установка), типа станцій 2-го разряда. Вентиляція производится при помощи воздушной струи со скоростью 2.5 м.
- 2) Въ мѣдной клѣткѣ съ рѣшетчатымъ дномъ въ Вильдовой будкѣ. Вентилирующая струя обладаетъ скоростью 5 м. въ секунду. Для контроля и вывѣрки.
- 3) Въ клѣткѣ термографа В Вильдъ-Гаслера на лужайкѣ; наблюдается для контроля термографа.
- 4) Въ клѣткѣ термографа С Вильдъ-Гаслера вблизи главнаго зданія; для контроля этого термографа.
- 5) Въ клѣткѣ изъ листовой мѣди, близъ дома, съ вентиляціей 2 $\frac{1}{2}$ м. въ секунду; для сравненія съ установкою на стѣнѣ дома.

Самозаписывающіе приборы.

- 6) Термографъ В, Вильдъ-Гаслеровскаго типа съ биметаллической спиралью (платина-серебро), электрическія отмѣтки чрезъ каждыя десять минутъ; вентиляція естественная чрезъ стѣнки, состоящія изъ жалюзи и чрезъ вытяжную трубу, имѣющую 3 м. высоты и окрашенную въ черный цвѣтъ; помѣщается въ Вильдовой клѣткѣ на открытомъ лугу. Служить для вывода публикуемыхъ ежечасныхъ величинъ температуры.
- 7) Термографъ С (Вильдъ-Гаслера) такой же какъ предыдущій, но имѣющій мѣдно-стальную спираль и вентиляционную трубу покороче; помѣщается онъ въ термометрическомъ павильонѣ, открытомъ къ сѣверу и защищенномъ съ востока и запада стѣнками изъ жалюзи; павильонъ находится къ сѣверу отъ центрального зданія. Для контроля.

8) Термографъ братьевъ Рипаръ съ Бурдоновой трубкой, въ Вильдовой нормальной защитѣ, регистрирующий непрерывно въ теченіе 7 дней.

ТЕРМОМЕТРЫ ДЛЯ КРАЙНИХЪ ТЕМПЕРАТУРЪ.

9) Maximum: ртутный термометръ съ длиннымъ отрывающимся столбикомъ ртути
Minimum: спиртовой термометръ съ стекляннымъ индексомъ.

Оба находятся въ клѣткѣ съ термографомъ В, Вильдъ-Гаслера.

10) Maximum и minimum термометръ, такой же какъ 9-й въ клѣткѣ съ термографомъ С Вильдъ-Гаслера.

№№ 1, 2, 3, 6, 8 и 9 помѣщаются въ клѣткахъ, удаленныхъ на 40—50 метровъ отъ еловой рощи и построекъ; №№ 4, 5, 7 и 10 въ термометрическомъ павильонѣ.

III. Для измѣренія температуры почвы.

1) На чистой песчаной почвѣ, состоящей изъ мелкаго кварцоваго песка, очищенной отъ дерна и снѣга, находятся:

1 термометръ (простой) на поверхности земли.

4 термометра (обыкновенныхъ), опущенные въ вертикальныя стеклянныя трубки, съ мѣдными донышками; шарики термометровъ, защищенные мѣдными колпачками, удерживаются донышками на глубинѣ 0'05 м., 0'10 м., 0'20 м., 0'40 м., 0'80 м., 1'60 м., 3'20 м.

4 термометра въ глиняныхъ трубкахъ на глубинѣ 0'40 м., 0'80 м., 1'60 м., 3'20 м.

1 Maximum и 1 minimum термометръ (подобный № 9 въ отдѣл. II) на поверхности земли.

2) Подъ натуральнымъ покровомъ (лѣтомъ подъ дерномъ, зимой подъ снѣгомъ) на почвѣ, состоящей изъ мелкаго кварцоваго песка, находятся:

5 термометровъ въ трубкахъ изъ эбонита, выступающихъ на одинъ метръ надъ землей и окрашенныхъ бѣлой краской, на глубинахъ 0'00 м., 0'20 м., 0'40 м., 0'80 м., 1'60 м.

3) На естественномъ покровѣ (лѣтомъ на травѣ, а зимой на снѣгу) помѣщаются:

1 обыкновенный термометръ.

1 maximum и 1 minimum термометръ, подобные вышеописаннымъ (см. II, 9).

IV. Для опредѣленія радиации.

1 Радиационный термометръ Гика (черный шарикъ внутри баллона безъ воздуха).

V. Для измѣренія влажности.

Для непосредственнаго наблюденія.

1) Психрометръ } въ нормальной клѣткѣ Вильда (см. II, 1).
2) Волосной гигрометръ }
3) Психрометръ въ новой клѣткѣ Вильда (см. II, 2).
4) Психрометръ въ клѣткѣ изъ листовой мѣди вблизи зданія (см. II, 5).
5) Психрометръ } въ клѣткѣ съ термографомъ В (см. II, 6).
6) Волосной гигрометръ }
7) Психрометръ } въ клѣткѣ съ термографомъ С (см. II, 7).
8) Волосной гигрометръ }

Самозаписывающіе приборы.

9) Гигрографъ В, Вильдъ-Гаслера; одинъ волосъ; регистрація посредствомъ электрическихъ контактовъ чрезъ каждыя десять минутъ (см. II, 6); для ежечасныхъ отмѣтокъ абсолютной и относительной влажности.

10) Волосной гигрографъ С, Вильдъ-Гаслера (см. II, 7); для контроля.

11) Волосной гигрографъ братьевъ Рипаръ, въ Вильдовой нормальной клѣткѣ; непрерывная запись въ теченіе недѣли; употребляется для контроля.

12) Гигрографъ братьевъ Рипаръ съ роговою пластинкою, непрерывно регистрирующий въ теченіе 7 дней; употребляется для контроля.

VI. Для измѣренія количества осадковъ и испаренія.

Для непосредственнаго наблюденія.

- 1) Пара Вильдовыхъ дождемѣровъ для наблюденій, какія дѣлаются на станціяхъ 2-го разряда.
- 2) Пара Вильдовыхъ дождемѣровъ съ Ниферовою защитою, для специальныхъ наблюденій (публикуемыхъ въ Лѣтописяхъ) и для контроля.
- 3) Вильдовъ вѣсовой эвапориметръ, въ будкѣ изъ жалюзи, на открытомъ луку.

Самозаписывающіе приборы.

- 4) Омбро-и атмографъ Вильдъ-Гаслера съ особыми для зимняго и лѣтняго времени чашками; вѣсовой, подобно барографу Вильда; отмѣтки помощью электрическаго контакта чрезъ каждыя десять минутъ; помѣщенъ въ будкѣ на открытой лужайкѣ подъ навѣсомъ, чашка съ испаряющейся водой находится на крышѣ. Приборъ употребляется для ежечасной записи количества осадковъ и испаренія. Его провѣряютъ при помощи дождемѣра и вѣсового эвапориметра.
- Всѣ эти приборы помѣщаются вблизи другъ отъ друга, на лужайкѣ, поросшей травой.

VII. Для измѣренія силы и направленія вѣтра.

Для непосредственнаго наблюденія.

- Анемографъ Эттингена-Шульце. Направленіе опредѣляется по градусамъ флюгера, находящагося на башнѣ и кромѣ того отмѣчается 8 электрическими клапанами (16 направленій), въ особой табличкѣ въ кабинетѣ дежурнаго наблюдателя. Сила вѣтра указываемая аппаратомъ, находящимся на башнѣ, также отмѣчается помощью электрической передачи особымъ счетчикомъ въ наблюдательской комнатѣ внизу.
- Анемометръ Горлаха, очень малаго размѣра, соединенный со счетчикомъ въ дежурной комнатѣ.

Самозаписывающіе приборы.

- Анемографъ Мунро, записывающій непрерывно силу и направленіе вѣтра.

VIII. Для опредѣленія количества и движенія облаковъ.

Для непосредственнаго наблюденія употребляется проволочный конусъ съ угломъ 120° при вершинѣ; четыре поперечныя проволоки, идущія въ направленіи четырехъ странъ горизонта, раздѣляютъ поле зрѣнія на четыре равныя части. Для наблюденія цѣлаго небеснаго свода, какъ и на станціяхъ 2-го разряда, не имѣется особыхъ приборовъ.

Нефоскопъ Финемана—горизонтальное черное зеркало для опредѣленія угловой скорости и направленія облаковъ — и камера съ широкоугольнымъ объективомъ въ 90° для непосредственнаго наблюденія и фотографированія облаковъ (работы Гезекиля изъ Берлина) примѣняются, но не постоянно.

Фотограмметръ Иессе, состоящій изъ двухъ теодолитовъ съ фотографическими камерами.

Сѣтъ горизонтально натянутыхъ проволокъ на высотѣ 4 метровъ.

IX. Для опредѣленія инсоляціи.

- 1) Гелиографъ Кэмпбела записываетъ ходъ солнечнаго сіянія и служитъ для вывода публикуемыхъ ежечасныхъ величинъ его продолжительности.

- 2) Гелиографъ Иордана, фотографическій, для контроля.

- 3) Два гелиографа генерала Ф. К. Величко, одинъ подобный гелиографу Иордана, другой съ часовымъ механизмомъ.

Всѣ эти приборы установлены совершенно открыто на платформѣ башни.

- 4) Абсолютный пиргелиометръ и актинометръ Хвольсона

X. Для опредѣленія воздушнаго электричества.

Электрометръ Маскара-Карпантие; Вильдовъ водяной коллекторъ съ постояннымъ давленіемъ воды; Маскаровы изоляторы.

Вильдъ-Эдельмановское приспособленіе для непосредственныхъ отчетовъ и для фотографической регистраціи. Переносный электрометръ Экснера (Вѣна), не въ постоянномъ употребленіи.

XI. Толщина снѣжнаго покрова.

Шесть реекъ, раздѣленныхъ на сантиметры; одна въ рошѣ, другія пять установлены совершенно открыто.

Ежедневная служба наблюдателей въ Павловской Обсерватори
(май, 1891 г.).

На долю трехъ младшихъ наблюдателей выпадаетъ по очереди 24 часа дежурства, 24 часа подежурства и 24 часа — свободныхъ отъ службы. Подежурный наблюдатель занимается регулярно отъ 9 ч. утра до полудня и отъ 1 ч. до 4 ч. дня; дежурный наблюдатель, будучи разбуженъ въ 6-мъ часу утра ночнымъ сторожемъ, служитъ отъ 6 ч. 20 м. до 9 ч. утра. когда происходитъ смѣна дежурства; слѣдующій дежурный остается на своемъ посту до 2 ч. 10 м. пополудни, и затѣмъ послѣ обѣда служитъ отъ 4 ч. до 10 ч. 10 м. вечера; если ночью случится гроза, то сторожъ будитъ его; отъ 2 ч. 10 м. до 4 ч. попол. его мѣсто занимаетъ подежурный наблюдатель.

Дневной порядокъ веденія регулярныхъ наблюденій слѣдующій:

Полуденный терминъ.

- 0 ч. 24 м.—0 ч. 34 м. Осмотръ всѣхъ инструментовъ, смачиваніе влажныхъ психрометрическихъ термометровъ, очистка сухихъ термометровъ отъ росы или инея и пр. Проверка карманныхъ часовъ по хронометру П Гасслера, ведущему всѣ записи.
- 0 " 34 " Отсчетъ направленія вѣтра и первый отсчетъ по анемометру Горлахаера.
- 0 " 38 " Первый отсчетъ по анемометру Шульце на башнѣ.
- 0 " 39 " Отсчетъ положенія равновѣсія электрометра, разобщеніе отъ земли и открываніе водяного коллектора. Смѣна бумаги на анемометръ Мунро.
- 0 " 42 " —0 ч. 44 м. Опредѣленіе формы, количества и движенія облаковъ съ площади башни. Осмотръ гелиографа Кемпбеля и анемометровъ (движеніе должно происходить безъ шума, а на чашкахъ не должно быть снѣга или инея).
- 0 " 44 " Отсчетъ направленія вѣтра по анемометрамъ Шульце и Мунро въ башенной комнатѣ, того и другого — въ градусахъ.
- 0 " 44 " —0 ч. 47 м. Осмотръ инструментовъ въ башенной комнатѣ.

- 0 ч. 47 м. Второй отсчетъ по электрометру.
- 0 " 48 " Выключеніе анемометра Горлахаера и немедленно второй отсчетъ по счетчику при вѣтровой табличкѣ анемометра Эттингенъ-Шульце.
- 0 " 50 " Отсчетъ по волосному гигрометру въ барометрическомъ шкапѣ; отсчетъ по барометрамъ Фуса № 247 и Туреттини № 58 и по термометрамъ attachés при нихъ.
- 0 " 54 " —0 ч. 55 м. Второе опредѣленіе направленія вѣтра по аппарату съ клапанами, второй отсчетъ по счетчику при анемометрѣ Горлахаера.
- 0 " 56 " —0 ч. 58 м. Опредѣленіе формы и количества облаковъ съ земли и движенія облаковъ при помощи сѣтки.
- 0 " 58 " Отсчетъ по maximum—и minimum—термометрамъ, затѣмъ вентилированіе кѣлки въ теченіе 2 минутъ.
- 0 " 59 " —1 ч. 0 м. Отсчетъ по термографу Фуса и по термометру attaché. Постановка марокъ на гигрографѣ Рипара и на термографахъ Фуса и Рипара; отсчетъ по термометру attaché при послѣднемъ.
- 1 " 0 " Отсчеты въ нормальной будкѣ по прекращеніи вентиляціи: сухого термометра, затѣмъ смоченнаго, потомъ волоснаго гигрометра, максимумъ и минимумъ—термометровъ.
- 1 " 2 " Отсчетъ по радіаціонному термометру на холмѣ; постановка марокъ на записи почвенныхъ термографовъ.
- 1 " 3 " —1 ч. 5 м. Отсчетъ по горизонтальному термометру на пескѣ, почвенныхъ термометровъ въ стеклянныхъ и эбонитовыхъ трубахъ, наконецъ уровня почвенной воды.
- 1 " 5 " —1 ч. 7 м. Отсчеты по всѣмъ термометрамъ подъ естественною поверхностью земли, горизонтальнаго термометра на ней и радіаціоннаго термометра тамъ же.
- 1 " 9 " Отсчитываніе температуры воздуха и воды у новаго омбрографа.

- 1 ч. 10 м.—1 ч. 12 м. Отсчитывание психрометра и волос-
наго гигрометра при термографѣ В.
1 „ 12 „—1 ч. 13 м. Отсчитывание температуры воздуха и
воды при старомъ омбро-атмографѣ (лѣтомъ) и
температуры воды въ новомъ вѣсовомъ эвапоро-
метрѣ (только лѣтомъ).
1 „ 13 „—1 ч. 16 м. Измѣреніе испаренія по новому вѣ-
совому эвапорометру.
1 „ 16 „ Опоражнивание большого дождемѣра.
1 „ 16 „—1 ч. 20 м. Перемѣна барабана съ бумагою при
новомъ омбрографѣ.
1 „ 20 „ Измѣреніе осадковъ, собранныхъ въ большомъ дож-
демѣрѣ.
1 „ 30 „ Постановка марокъ на записи барографа Гаслера
за предшествующіе часы.
1 „ 30 „—1 ч. 50 м. Исправленіе отсчетовъ соотвѣтствующи-
ми поправками и внесеніе ихъ въ таблицы.
Затѣмъ наблюденія по магнитнымъ инструментамъ
и по термометрамъ при нихъ.

Вечерній терминъ.

- 8 „ 24 „—8 ч. 39 м. Наблюденія подобныя полуденнымъ,
но безъ смѣны бумаги на анемографѣ Мунро.
8 „ 40 „—8 ч. 42 м. Смѣна бумаги на гелиографахъ Кемп-
беля и Величко (въ самые длинные дни года
смѣна дѣлается позже).
8 „ 42 „—8 ч. 55 м. Какъ въ полдень.
8 „ 56 „—8 ч. 58 м. Начало промывки ферроціановой бу-
маги, экспонированной въ гелиографѣ Величко.
8 „ 58 „ Отсчеты по максимум—и минимум—термометрамъ
въ нормальной будкѣ и вентиляція ея.
8 „ 59 „—9 ч. 0 м. Какъ въ полдень.
9 „ 0 „ Отсчитывание послѣ вентиляціи термометровъ въ
нормальной будкѣ; затѣмъ установка индексовъ на
максимум—и минимум—термометрахъ.
9 „ 2 „ Какъ въ полдень.
9 „ 3 „—9 ч. 5 м. Отсчеты по 3-мъ горизонтальнымъ тер-
мометрамъ на песчаномъ холмѣ и термометровъ

въ стеклянныхъ и эбонитовыхъ трубахъ до глу-
бины 0.8 м. вкл.; затѣмъ установка почвенныхъ
максимум—и минимум—термометровъ.

- 9 ч. 5 м.—9 ч. 8 м. Отсчетъ по термометрамъ подъ есте-
ственной поверхностью земли до глубины 0.8 м.
вкл., и горизонтальнаго и радіаціоннаго термоме-
метровъ тутъ же. Затѣмъ установка максимум—и
минимум—термометровъ на естественной поверх-
ности земли.
9 „ 9 „ Отсчитывание температуры воздуха и воды при
новомъ омбрографѣ.
9 „ 10 „ Размѣчание контактовъ записи стараго омбро-
графа.
9 „ 12 „—9 ч. 16 м. Какъ въ полдень.
9 „ 20 „ Вынимание изъ воды и просушивание бумажки ге-
лиографа Величко.
9 „ 30 „ Размѣчание контактовъ записи барографа и за-
водъ часового механизма при немъ.
9 „ 30 „—9 ч. 50 м. Исправленіе и занесеніе въ таблицы
сдѣланныхъ записей.
Затѣмъ магнитныя наблюденія.

Утренній терминъ.

- 6 „ 24 „—7 ч. 2 м. Какъ въ полдень. При утреннемъ
обходѣ служитель въ присутствіи наблюдателя за-
крываетъ въ лабораторіи крышками два пустыхъ
дождемѣра, выноситъ ихъ и ставитъ вблизи вы-
ставленныхъ дождемѣровъ въ ожиданіи перемѣны.
7 „ 3 „—7 ч. 5 м. Отсчитывание почвенныхъ термоме-
тровъ на песчаномъ холмѣ до глубины 0.8 м.
7 „ 5 „—7 ч. 7 м. Отсчитывание почвенныхъ термоме-
тровъ подъ естественною поверхностью до глубины
0.8 м., также горизонтальнаго, минимальнаго и
радіаціонныхъ термометровъ.
7 „ 9 „ Отсчитывание температуры воздуха и воды при
новомъ омбрографѣ.
7 „ 10 „ Размѣчание контактовъ на записи стараго омбро-
графа.

7 ч. 11 м. Смѣна дождемѣровъ.

7 „ 12 „ — 7 ч. 15 м. Измѣреніе испаренія.

Затѣмъ — какъ въ полдень.

Зимою, какъ только свѣтъ позволитъ, дѣлается отсчетъ по смѣномѣрнымъ рейкамъ. По окончаніи и исправленіи наблюденій составляется метеорологическая телеграмма, отсылаемая въ С.-Петербургъ.

О томъ, какое тщательное отношеніе къ дѣлу существуетъ въ Павловской обсерваторіи, можно судить по тому факту, что главный хронометръ обсерваторіи провѣряется при посредствѣ астрономическихъ наблюденій, которыя ведутся нарочно въ Павловскѣ, хотя большая Пулковская обсерваторія находится всего въ нѣсколькихъ миляхъ оттуда. Для нѣкоторыхъ наблюденій точное время указывается соотвѣтствующимъ звонкомъ, приводимымъ въ дѣйствіе электрическими сигнальными часами.

Въ нѣкоторые дни недѣли и мѣсяца существуютъ еще особыя занятія, которымъ наблюдатели должны посвящать свое время. Каждый понедѣльникъ въ 11 ч. утра заводятся четыре самозаписывающіе прибора Рихара, и въ эти же дни въ химической лабораторіи дистиллируется вода. Въ первый день каждого мѣсяца перемѣняется бумага на приборахъ Вильда-Гаслера. Въ послѣдній же день каждого мѣсяца приготовляются книжки и ленты для метеорологическихъ и магнитныхъ записей на слѣдующій мѣсяць. Поддежурный наблюдатель посвящаетъ въ опредѣленные 16 дней по 2 или 3 часа наблюденіямъ варіаціонныхъ магнитныхъ приборовъ. Остальное время его занято обработкой наблюденій и записей самопишущихъ приборовъ.

Въ обсерваторіи ведется множество экспериментальныхъ изслѣдованій, что требуетъ добавочнаго труда отъ всѣхъ наблюдателей.

Каждый день регулярно наблюдается 58 термометровъ для метеорологическихъ и магнитныхъ цѣлей. Обработка метеорологическихъ наблюденій производится двумя или тремя младшими наблюдателями подъ надзоромъ старшаго наблюдателя. До конца мѣсяца данныя, полученныя за предъидущій мѣсяць, должны быть окончательно обработаны. При печатаніи

наблюденій первую корректуру держитъ тотъ наблюдатель, которымъ сдѣлана обработка, вторую тотъ, кто провѣрялъ ее. Постоянныя приборы, таблицы поправокъ, редуціонныя шкалы и т. п. вычисляются младшими наблюдателями и контролируются старшимъ наблюдателемъ или завѣдывающимъ. Тѣ же младшіе наблюдатели подъ руководствомъ завѣдывающаго дѣлаютъ наблюденія надъ магнитными явленіями и обрабатываютъ записи самопишущихъ магнитометровъ.

§ 7. Горныя Обсерваторіи.

Исторія возникновенія горной метеорологіи.

Уже давно было признано, что для полученія вѣрнаго объясненія многихъ атмосферныхъ явленій, необходимо знать условія, существующія въ нѣкоторомъ разстояніи отъ земной поверхности. Паскаль имѣлъ это въ виду, когда предложилъ перенести барометръ Торричелли на извѣстную высоту надъ поверхностью земли для того, чтобы наблюдать измѣненіе атмосфернаго давленія.

Основателями теперешней метеорологіи высокихъ слоевъ атмосферы были Соссюръ, Гей-Люссакъ и Гумбольдтъ. Каждый изъ нихъ развивалъ вопросъ съ самостоятельной точки зрѣнія. Замѣчательное описаніе альпійскихъ странъ, данное Соссюромъ въ его „Voyages dans les Alpes“ (Невшатель 1787—1796), показало, какіе богатые результаты могутъ принести изслѣдованія въ указанномъ направленіи, и дало опору для дальнѣйшихъ работъ. Гей-Люссакъ около того же времени и затѣмъ нѣсколько позднѣе совершилъ свои удивительные полеты на воздушномъ шарѣ, которые по важности своихъ послѣдствій и по смѣлости не имѣли себѣ равныхъ, кромѣ, быть можетъ, совершенныхъ Глешеромъ. Гей-Люссакъ своими наблюденіями доставилъ данныя, необходимыя для распространенія атмосферныхъ теорій на такія области, до которыхъ ранѣе не поднимался ни одинъ человѣкъ. Гумбольдтъ сдѣлалъ множество наблюденій на высотахъ во время своего путешествія по Новому Свѣту, и они были ведены имъ съ такою тщательностью, что даже теперь сохранили болѣе чѣмъ историческій интересъ.

Конечно нельзя было удовлетвориться свѣдѣніями, собираемыми при случайныхъ экскурсіяхъ на большія высоты, необходимо имѣть постоянныя наблюденія, а это стало возможно только тогда, когда были устроены цѣлыя обсерваторіи на горахъ.

Первой изъ горныхъ обсерваторій можетъ считаться, вѣроятно, обсерваторія на Schnee-Korpe въ Германіи ($50^{\circ}44'$ сѣверной широты и $15^{\circ}44'$ вост. долготы), основанная въ 1784 г.; но записи, которыя велись тамъ первоначально, имѣли отрывочный характеръ и не привлекли большого вниманія. Большинство горныхъ обсерваторій устроено въ послѣдніе годы.

Пользованіе наблюденіями, получаемыми изъ горныхъ обсерваторій.

Необходимо выяснитъ цѣль, которой назначены служить горныя обсерваторіи. Хотя и раньше много высказывалось по вопросу объ устройствѣ горныхъ обсерваторій, однако на вѣнскомъ метеорологическомъ конгрессѣ въ 1873 г. было признано необходимымъ, съ цѣлью всемірнаго введенія такого рода учрежденій, разсмотрѣть еще разъ подробно данный вопросъ, и это было поручено д-ру Ханну, который и представилъ свой докладъ на метеорологическій конгрессъ въ 1879 г. въ Римѣ. Въ кругъ наблюденій горныхъ обсерваторій должны были входить опредѣленія суточного, сезоннаго и годового хода метеорологическихъ явленій на высотахъ; пониженіе температуры, уменьшеніе измѣненій давленія, возрастаніе скорости вѣтра, уменьшеніе количества паровъ, измѣненіе количества осадковъ и тому подобныя измѣненія атмосферныхъ условій на разныхъ высотахъ надъ уровнемъ моря, замѣчаемые при прохожденіи барометрическихъ минимумовъ и максимумовъ; безъ знанія послѣднихъ не возможно строить систему механики атмосферы.

Нѣкоторые изъ указанныхъ вопросовъ могутъ быть рѣшаемы на станціяхъ, расположенныхъ на высокихъ плоскогоріяхъ, но тамъ атмосферныя условія слишкомъ далеки отъ условій свободнаго воздуха, и вліяніе высоты не можетъ быть

констатировано за неимѣніемъ близкихъ станцій внизу; а потому для рѣшенія всѣхъ поставленныхъ вопросовъ необходимо помѣстить обсерваторію на горной вершинѣ, стоящей выше окружающихъ горъ, при томъ внизу должна находиться вторая обсерваторія, возможно ниже первой (если возможно близъ уровня моря), но такъ, чтобы горизонтальное разстояніе между обѣими было какъ можно менѣе; для цѣлей изученія вертикальнаго строенія циклоновъ и антициклоновъ необходимо выбирать для обсерваторіи мѣстность, лежащую въ полосѣ ими наиболѣе посѣщаемой.

Перечень горныхъ обсерваторій.

Громадныя издержки по устройству и содержанію такихъ обсерваторій являются причиной ограниченнаго числа ихъ; онѣ сосредоточиваются преимущественно въ центральной Европѣ, гдѣ великая цѣпь Альповъ съ ея далеко раскинувшимися отрогами представляетъ весьма благопріятныя условія для устройства ихъ. Затѣмъ находимъ одну горную обсерваторію въ Шотландіи, три въ Соедин. Штатахъ и нѣсколько въ Индіи. Надо упомянуть также о случайныхъ временныхъ станціяхъ, которыя устраиваются во время экспедицій, особенно въ сѣверной и южной Америкѣ.

Въ слѣдующей таблицѣ находится перечень главныхъ горныхъ обсерваторій, но станціи на плоскогоріяхъ сюда не входятъ.

НАЗВАНІЯ.	Разрядъ по степени вооруженія инструментами.	Высота надъ уровнемъ моря.
Германія.		
Вендельштейнъ (Wendelstein)	II	1,723 метровъ.
Шнеекоппе (Schneekoppe)	II	1,603 "
Шнеebergъ (Schneeberg)	II	1,215 "
Брокенъ (Brocken)	II	1,141 "
Высокій Пейссенбергъ (Hohe Peissenberg).	II	994 "
Инзельсбергъ (Inselsberg).	II	915 "
Австрія.		
Зонбликъ (Sonnblick)	I	3,103 "
Высокій Обиръ (Hoch Obir).	I	2,043 "

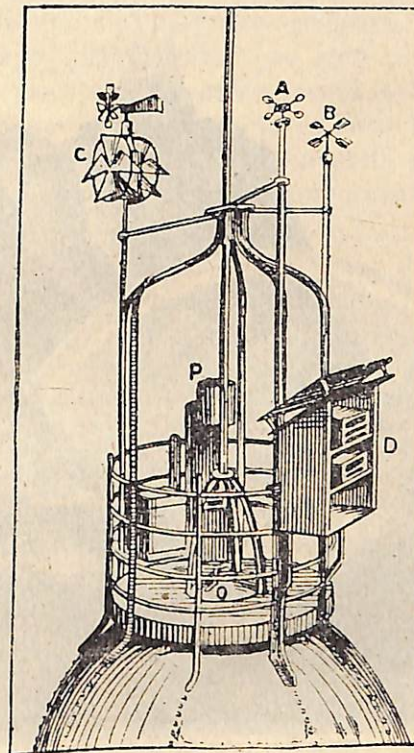
НАЗВАНІЯ.	Разрядъ по степени воо- руженія инструмен- тами.	Высота надъ уровнемъ моря.
Лмттевгёре (Schmittenhöhe)	II	1,935 метровъ.
Шафбергъ (Schafberg)	II	1,776 "
Гайсбергъ (Gaisberg)	II	1,286 "
Швейцарія.		
Сентисъ (Säntis)	I	2,464 "
Риги-Кульмъ (Rigi-Kulm)	II	1,800 "
Габрисъ (Gabris)	II	1,250 "
Шомонъ (Chaumont)	II	1,152 "
Италія.		
Этна (Etna)	I (?)	2,990 "
Гора Чимоне (Monte Cimone)	I (?)	2,168 "
Гора Каво (Monte Cavo)	II	966 "
Франція.		
Монбланъ, обсерваторія Валло.	—	4,380 "
Пикъ дю Миди (Pic du Midi)	I	2,877 "
Гора Ванту (Mont Ventoux)	I (?)	1,912 "
Гора Эгуаль (Mount Aigoual)	I (?)	1,567 "
Пюи де Домъ (Puy de Dôme)	I	1,463 "
Эйфелева башня (Парижъ)	I	300 "
Португалія.		
Сиерра да Естрелла (Sierra da Estrella)	II	1,441 "
Великобританія.		
Бенъ-Невисъ (Ben Nevis)	I	1,343 "
Соединенные Штаты.		
Пайксъ Пикъ (Pike's Peak)	II	4,308 "
Гора Вашингтонъ (Mount Washington)	II	1,914 "
Гора Гамильтонъ (Mount Hamilton Cal.)	II?	

Станція, находящаяся на возвышенности Чинхона (Cinchona) на Ямайкѣ, на высотѣ 4,850 ф., а также нѣкоторыя станціи въ Индіи повидимому могли бы быть также вклю-
чены въ этотъ списокъ.

На рис. 61-мъ представлена верхняя часть обсерваторіи, устроенной на верху Эйфелевой башни; а рис. 62-ой даетъ понятіе объ обсерваторіи на Pic du Midi и о ея окрест-
ностяхъ.

Трудности, сопровождающія устройство горныхъ обсер- ваторій.

Каждая обсерваторія въ горахъ имѣетъ свои характер-
ныя особенности, зависящія не только отъ разнообразія мѣст-
ности, но и отъ неравномѣрности богатства въ аппаратахъ и
рабочихъ силахъ. Нѣко-
торыя изъ нихъ будутъ
здѣсь описаны, но для
подробнаго знакомства съ
ихъ устройствомъ можно
рекомендовать обратиться
къ изданіямъ, содержа-
щимъ ихъ детальныя опи-
санія. Сочиненіе Ротша
(Rotch) о горныхъ обсер-
ваторіяхъ Европы, помѣ-
щенное въ American Me-
teorological Journal, пред-
ставляетъ лучшую моно-
графію по этому вопросу,
такъ какъ авторъ его
посѣтилъ и изучилъ почти
всѣ обсерваторіи такого
рода. Много средствъ при
сооруженіи горныхъ об-
серваторій тратится на
борьбу съ естественными
препятствіями. Въ нѣко-
торыхъ случаяхъ прихо-
дится прокладывать дорогу
для того, чтобы возможно
было переносить необходимый строительный матеріалъ, топ-
ливо и провизію на самую вершину горы, и если принять во
вниманіе большія разстоянія и крутизну склоновъ, то легко
понять, что одна только доставка всего необходимаго должна
стоять чрезвычайно дорого; въ большинствѣ случаевъ можетъ
быть примѣнена только человѣческая сила и, слѣдова-



Фиг. 61.

тельно, заразъ можно доставлять лишь незначительные грузы.

При устройствѣ горныхъ обсерваторій долженъ быть выполненъ рядъ задачъ совершенно отличныхъ отъ задачъ кон-струкціи обсерваторій низкаго уровня.



Фиг. 62.

Прежде всего должны быть разрѣшены вопросы экономического характера. Надо устроить удобное жилище для наблюдателей, которые будутъ изолированы отъ общества себѣ подобныхъ человѣческихъ существъ цѣлые мѣсяцы и обречены на жизнь въ климатѣ, гдѣ большую часть года невозможно выйти изъ дому, вслѣдствіе продолжительныхъ суровыхъ холодовъ и сильныхъ вѣтровъ. Жилье ихъ должно соединяться непосредственно съ обсерваторіей, т. е. иногда для наблюдателя бываетъ не-возможнымъ перейти изъ одного зданія въ другое. Кладовыя должны быть наполнены запасами провизіи и топлива, которыхъ бы хватило на всю зиму, а также должно быть установлено телеграфное сообщеніе между обсерваторіей и ближайшей населенной мѣстностью, чтобы можно было найти помощь въ случаѣ несчастія.

При устройствѣ самой обсерваторіи необходимо имѣть въ

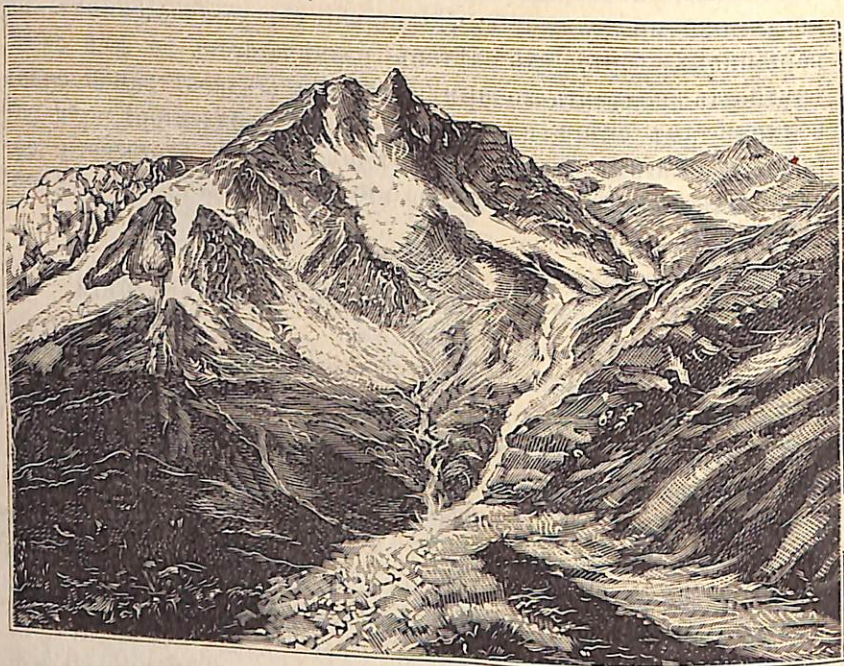
виду тѣ особаго рода трудности, съ которыми придется бороться при установкѣ различныхъ приборовъ, чего не бываетъ въ ниже расположенныхъ станціяхъ, и что возрастаетъ по мѣрѣ подъема вверхъ. Эти трудности не одинаковы для всѣхъ станцій. Напримѣръ, на станціяхъ, находящихся въ мѣстности, гдѣ воздухъ очень влаженъ, обмерзаніе чашекъ Робинсонова анемометра образуется такъ быстро и часто, что показанія его становятся непригодными за все то время, когда оно продолжается. На станціяхъ, установленныхъ на вершинахъ горъ, гдѣ вѣтеръ свирѣпствуетъ во всей силѣ, трудность получить точныя измѣренія осадковъ зимой очень велика: тамъ снѣгъ или выдувается изъ коллектора, или заносится снѣгомъ самый снѣгомѣръ, иногда же отверстіе сосуда такъ обмерзаетъ, что туда не могутъ попасть всѣ осадки.

Описанія нѣкоторыхъ горныхъ обсерваторій.

Высочайшею метеорологическою обсерваторіею въ Европѣ до послѣднихъ лѣтъ была обсерваторія на Зонбликѣ въ Австріи. Общій видъ ея окрестностей изображенъ на рис. 63-мъ, гдѣ обсерваторія представлена на самомъ верху горы; видъ же построекъ и ихъ расположеніе находимъ на рис. 64-мъ. Она стоитъ на высотѣ 3,103 м. надъ уровнемъ моря; на половинѣ этой высоты находятся доступныя, по необитаемымъ долины. Въ связи съ этой обсерваторіей состоятъ станціи, расположенныя по склону горы: одна находится въ Линцѣ (2,400 м.), другая — въ Целлѣ надъ озеромъ (2,340 м.), 3-я — въ Кольмъ-Зайгурнѣ (1,480 м.), 4-ая — на Шмиттенъ-Гёге (1,150 м.) и 5-ая — на Обирѣ (1,050 м.). Числа, поставленныя въ скобкахъ, обозначаютъ вертикальное разстояніе станцій внизъ отъ вершины Зонблика. Положеніе станцій на вершинѣ Зонблика и въ Кольмъ-Зайгурнѣ наиболее благоприятно для изслѣдованія послѣдовательныхъ измѣненій температуры по мѣрѣ поднятія вверхъ, т. е. вертикальное разстояніе между обѣими равняется — 1,480 м., а горизонтальное всего только 2,500 м. и нижняя станція такъ прекрасно расположена, что исключается возможность застоя воздуха,

что часто служитъ причиной ошибокъ при опредѣленіи температуры. Ханнъ утверждаетъ, что болѣе благоприятныхъ условий для установки обсерваторіи нельзя найти ни въ Альпахъ, ни даже во всемъ свѣтѣ.

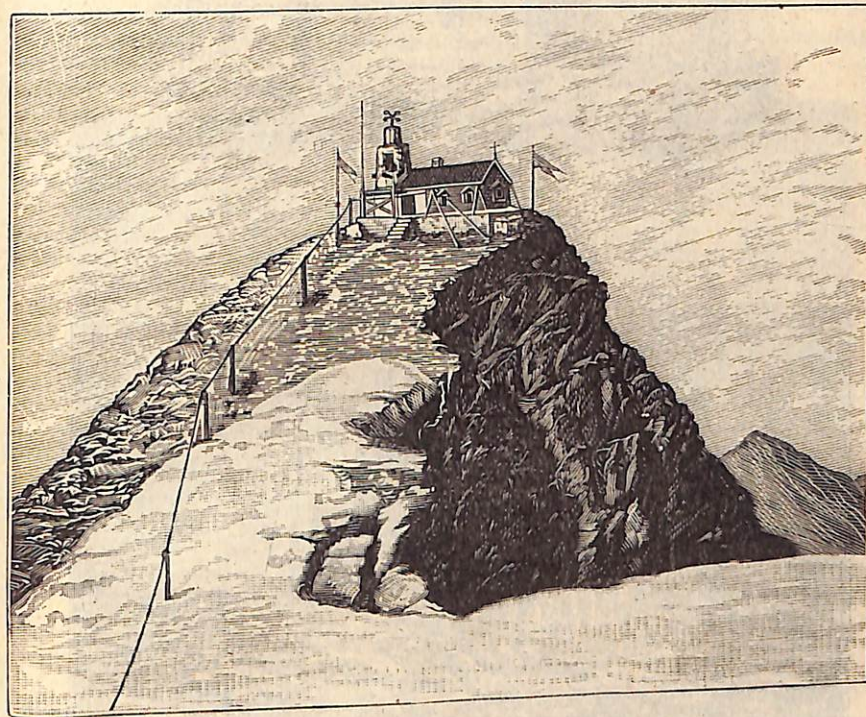
Обсерваторія на Зонбликѣ и высочайшая въ свѣтѣ обсерваторія на Пайксъ-Пикѣ въ Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатахъ въ Колорадо (рис. 65) наилучше расположены



Фиг. 63.

сравнительно со всѣми существующими горными обсерваторіями и имѣютъ чисто континентальное положеніе, но ни одна изъ нихъ не лежитъ въ полосѣ циклоновъ и антициклоновъ. Существуютъ двѣ обсерваторіи, которыя могли бы дать возможность изучать явленіе циклоновъ и вообще дѣлать сравненіе между атмосферными явленіями, происходящими на уровнѣ моря и на умѣренной высотѣ въ 1 милю, это обсерваторія на горѣ Вашингтонъ въ Нью-Гемпширѣ (New-Hampshire) и на Бенъ-Невисѣ въ Шотландіи. Но пер-

вая изъ нихъ, такъ же какъ и обсерваторія на вершинѣ Пайксъ-Пикъ, будучи станціей 2-го разряда, едва ли имѣетъ даже одинъ самопишущій приборъ и не имѣетъ вблизи вспомогательной станціи, и такимъ образомъ приноситъ незначительную пользу, благодаря несовершенству своей организаціи.



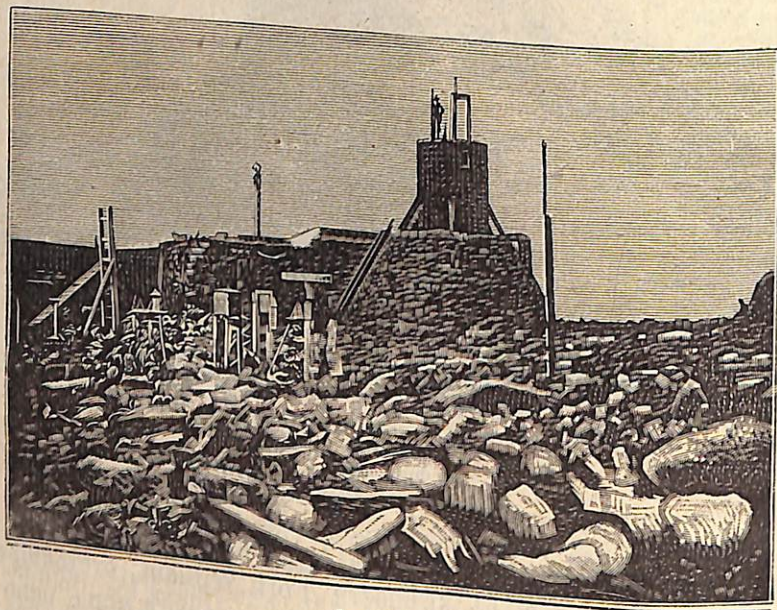
Фиг. 64.

Обсерваторія на Бенъ-Невисѣ (рис. 66), со своей вспомогательной станціей въ крѣпости Fort William, отстоящей отъ нея на 4 мили и расположенной на уровнѣ моря, основана въ самое недавнее время и представляетъ обширное поле для полезныхъ изслѣдованій, такъ какъ благодаря своему океаническому положенію, она встрѣчаетъ всѣ идущія съ моря циклоническія возмущенія, которыя, по причинѣ близости ея

отъ берега, достигаютъ до нея въ полной силѣ. Лишь то обстоятельство, что Бенъ-Невисъ нельзя окружить со всѣхъ



Фиг. 65.

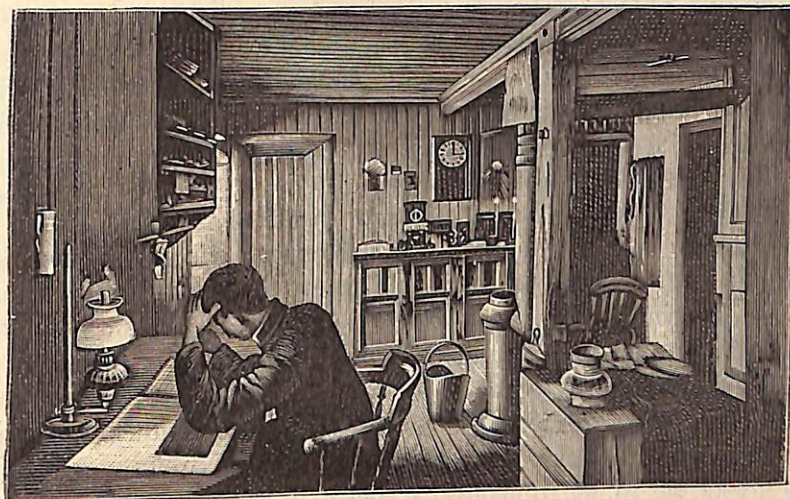


Фиг. 66.

сторонъ низкими станціями, представляетъ большой недостатокъ сравнительно съ настоящими континентальными станціями.

Внутренний строй горныхъ обсерваторій.

Наблюдатели, состоящіе на службѣ въ этихъ горныхъ обсерваторіяхъ, заслуживаютъ глубочайшей благодарности со стороны всѣхъ, кому дороги интересы метеорологіи. Изолированные отъ общества людей въ теченіе большей половины года, вынужденные сидѣть въ четырехъ стѣнахъ большую часть времени вслѣдствіе необыкновенно суровой погоды, они находятся въ условіяхъ жизни, сравнимыхъ только съ жизнью



Фиг. 67.

сторожей на маякахъ въ суровомъ климатѣ; если за немѣніемъ желающихъ, наблюдателю приходится заниматься въ теченіе всей зимы на обсерваторіи въ одиночествѣ, то требуется большой запасъ мужества съ его стороны, чтобы рѣшиться на такой подвигъ. На рис. 67-мъ представленъ внутренний видъ, обсерваторіи на Бенъ-Невисѣ, изъ котораго очевидно, что при устройствѣ ея думалось главнымъ образомъ о пользѣ, а не о комфортѣ.

Вотъ нѣкоторыя подробности, касающіяся состава нѣсколькихъ обсерваторій. На Брокенѣ зимой наблюденія ведутся кельнеромъ изъ гостинницы, а лѣтомъ — почталіономъ;

на Вендельштейнѣ сторожъ является главнымъ наблюдателемъ, на Высокомъ-Обирѣ имѣется постоянный наблюдатель-метеорологъ, который получаетъ тридцать флориновъ жалованья въ мѣсяцъ, а зимою бываетъ помощникъ, получающій жалованіе въ 20 флориновъ въ мѣсяцъ (такъ что все содержаніе станціи обходится въ 900 флориновъ въ годъ); на Сентисѣ есть одинъ наблюдатель, получающій двѣ тысячи франковъ въ лѣто, зимою же при немъ состоитъ ассистентъ; на Пюи-де-Домъ живетъ одинъ наблюдатель съ семьею, получающій три тысячи франковъ въ годъ. На Бенъ-Невисѣ состоятъ три наблюдателя, и потому дѣло можетъ здѣсь идти успѣшнѣе и въ болѣе широкихъ размѣрахъ; при такомъ штатѣ могутъ производиться ежечасныя наблюденія, а результаты ихъ могутъ быть сгруппированы въ таблицы и обработаны тѣми же, кто ихъ составлялъ.

Для тѣхъ, кто незнакомъ на опытѣ съ горной погодой, невозможно составить себѣ понятія о тѣхъ тяготахъ, которыми полна жизнь горныхъ метеорологовъ. На большинствѣ станцій инструменты и всѣ вещи часто сплошь покрываются инеемъ, образующимъ огромныя наслоенія на подвѣтренной сторонѣ во время тумановъ при температурѣ ниже 0°; наблюдателю стоитъ страшнаго труда удалять этотъ ледъ съ приборовъ, такъ какъ онъ иногда нарастаетъ непрестанно въ толщину по дюйму въ часъ. На Вендельштейнѣ явленіе это рѣже, за то на Брокенѣ и Бенъ-Невисѣ оно очень часто. На рис. 68-мъ показана обмерзшая обсерваторія на Бенъ-Невисѣ.

Установка приборовъ на горныхъ обсерваторіяхъ.

Остается еще упомянуть о тѣхъ трудностяхъ, которыми сопровождается установка приборовъ и о способахъ борьбы съ ними.

На Брокенѣ Ассманъ съ успѣхомъ употреблялъ подвижной дождемѣръ, который онъ ставилъ на завѣтренной сторонѣ обсерваторіи. Подъ резервуаромъ помѣщается лампа, заключенная въ двойную клѣтку, постоянно горящая и нагревающая смѣгомѣръ, вслѣдствіе чего смѣгъ быстро таетъ

и течетъ въ холодный коллекторъ, куда тепло лампы не проникаетъ и гдѣ слѣд. не вызываетъ испаренія. Если выставленный смѣгомѣръ такимъ образомъ постоянно нагревать, то онъ не будетъ обмерзать. Предложено было также устроить анеометръ съ двойными чашками и провести къ нему струю нагрѣтаго воздуха, которая, проходя между внѣшней и внутренней металлическими поверхностями чашекъ, держала бы ихъ въ теплѣ и заставляла бы ледъ таять, предупреждая обмерзаніе. Но было бы, кажется, проще употреблять аспираціонный анеометръ, который можно бы легко поддерживать все время теплымъ¹⁾.

Термометрическія будки и другія помѣщенія для приборовъ должны быть охраняемы отъ снѣжныхъ за-
посовъ и обмерзанія самими наблюдателями, потому что для этой цѣли не найдено никакихъ вспомогательныхъ средствъ. Барометры должно укрѣплять на солидномъ каменномъ столбѣ, не соединенномъ со стѣнами, иначе отъ сильныхъ порывовъ вѣтра онъ колеблется, и точныя показанія становятся невозможными;



Фиг. 68.

¹⁾ Къ сожалѣнію опытъ международныхъ полярныхъ станцій 1882—1883 гг. не оправдалъ надеждъ, возлагавшихся на анеометръ Гагемана. *Ред.*

надо оберегать ихъ также отъ динамическаго вліянія сильныхъ вѣтровъ.

Принявъ во вниманіе эти и другія трудности, съ которыми приходится бороться, надо признаться, что горная метеорологія пока еще очень неточная отрасль науки.

ГЛАВА III.

Термодинамика атмосферы.

§ 1. Введение.

Температура воздуха, находящагося близъ поверхности земли, легко измѣряется термометромъ и потому довольно хорошо изслѣдована на большей части земной поверхности; ея изученіе позволило найти законы распространенія теплоты, исходящей отъ солнца, т.-е. законы излученія, теплопроводности и конвекціи. Долго метеорологи должны были ограничиваться этими, такъ сказать, примитивными познаніями о температурѣ атмосферы, пока не было сдѣлано наблюденій во время полетовъ на воздушныхъ шарахъ и при подъемахъ на горныя вершины, доказавшихъ, что еще остается открыть многіе неизвѣстные законы, чтобы, присовокупивъ ихъ къ прежнимъ даннымъ, собраннымъ въ нижнемъ слоѣ воздуха, составить себѣ понятіе о тепловыхъ условіяхъ всего воздушнаго океана. Необходимость изслѣдованія этихъ невѣдомыхъ законовъ стала особенно настоятельной съ тѣхъ поръ, какъ механика атмосферы была поставлена на математическую почву. Къ счастью, изслѣдованія, произведенныя надъ газами рядомъ знаменитыхъ физиковъ, передали метеорологамъ строго научныя точки опоры въ ихъ трудахъ.

Въ началѣ изучали воздухъ въ состояніи равновѣсія, потому что это не представляло особыхъ трудностей, и нѣкоторыя задачи были удовлетворительно рѣшены, изученіе же

атмосферныхъ движеній, происходящихъ съ крайнимъ разнообразіемъ по всѣмъ направленіямъ изъ одной широты и долготы въ другую и съ одной высоты на другую, сопряжено съ большими затрудненіями, вслѣдствіе сложности вопроса. Законы термодинамики, установленные Клаузіусомъ и др., касаются измѣненій физическихъ условій перемѣщающихся воздушныхъ массъ, и я намѣренъ посвятить настоящую главу вопросу о примѣненіи законовъ термодинамики къ явленіямъ, происходящимъ въ атмосферѣ.

Хотя было бы удобнѣе, чтобы мой читатель былъ уже знакомъ съ законами измѣненій газовъ при измѣненіи давленія, объема и температуры, изложенными въ элементарныхъ руководствахъ по физикѣ, однако здѣсь будетъ удѣлено нѣсколько мѣста для объясненія важнѣйшихъ понятій, которыя встрѣчаются на страницахъ этой книги. Лучшимъ элементарнымъ, легко читающимся руководствомъ по этому предмету можно считать маленькую книжку о „теплотѣ“ Максвелли (Maxwell) ¹⁾.

Испареніе.

Изслѣдуя физическія условія атмосферы, мы должны имѣть въ виду не одинъ сухой воздухъ, но также смѣсь сухого воздуха съ водяными парами. Эти пары поступаютъ въ воздухъ путемъ испаренія и распредѣляются посредствомъ диффузіи и конвективныхъ воздушныхъ теченій. Въ ограниченномъ пространствѣ испареніе продолжается до тѣхъ поръ, пока паръ не достигнетъ извѣстной плотности, которая зависитъ отъ температуры. Количество пара, необходимое для того, чтобы, при извѣстной температурѣ, насытить собой пустое пространство такое же самое, какъ и въ томъ случаѣ, когда пространство это уже наполнено сухимъ воздухомъ, но только въ послѣднемъ случаѣ время, необходимое для того, чтобы паръ могъ занять все пространство, больше, чѣмъ въ случаѣ пустоты, потому что онъ долженъ диффендировать, или такъ сказать процѣживаться черезъ воздухъ, на что требуется нѣкоторое время. Плотность, давленіе и температура связаны

¹⁾ Имѣющуюся въ переводѣ на русскомъ языкѣ.

между собою математическою формулою, позволяющею вычислить каждую из этих величинъ, если двѣ другія извѣстны, но при каждой опредѣленной температурѣ существуетъ максимумъ давления и плотности, за предѣлами котораго формула не имѣетъ мѣста, такъ какъ паръ сгущается и обращается въ воду. Если паръ доходитъ до этого максимум'а, то говорятъ, что онъ достигаетъ состоянія насыщенія; при нѣскольکو меньшей степени давления и плотности пару усвоено названіе „перегрѣтаго пара“.

Если сухой воздухъ наполняетъ замкнутое пространство, то онъ оказываетъ извѣстное давление, когда же туда введенъ паръ, то давление возрастаетъ, и увеличеніе давления равняется тому давленію, какое паръ обнаружилъ бы, одинъ наполняя то же пространство; въ смѣси газовъ каждый газъ производитъ свое давленіе такъ, какъ еслибы пространство, занятое другимъ газомъ, было совершенно пусто. Эти важныя законы были открыты Дальтономъ.

Должно еще помнить, что, согласно Ге-Люссаку, объемъ газа, при постоянномъ давленіи, съ возвышеніемъ температуры возрастаетъ въ опредѣленномъ отношеніи; такъ при переходѣ температуры отъ 0°C . до 100°C . воздухъ измѣняетъ свой объемъ съ 1.000 на 1.3665, если только давленіе остается постояннымъ. Такимъ образомъ, если газы, воздухъ и водяной паръ даны въ равныхъ объемахъ при какой-нибудь данной температурѣ и давленіи, то при измѣненіи ихъ общей температуры и давленія объемы ихъ будутъ всегда равны.

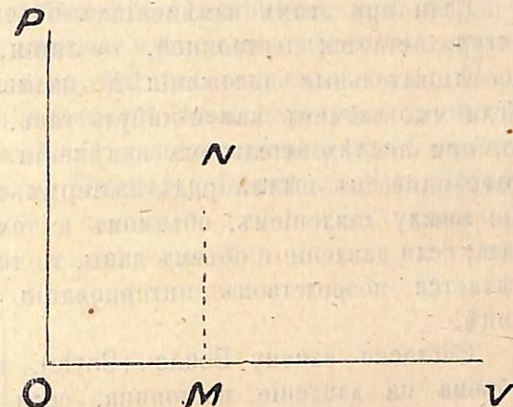
Характеристическія кривыя.

Такъ какъ атмосфера есть жидкость или, лучше сказать, смѣсь двухъ жидкостей, независимыхъ другъ отъ друга, газовъ, — воздуха и водяного пара въ различныхъ объемахъ, — то изученіе измѣненій ея такъ сложно, что аналитическій методъ недостаточенъ для объясненій этихъ измѣненій. Методъ изученія такихъ измѣненій для пара, на основаніи изслѣдованія паровой машины, былъ указанъ Джемсомъ Уаттомъ и развитъ другими учеными; Клапейрону принадлежитъ примѣненіе принципа такъ называемыхъ индикаторныхъ диа-

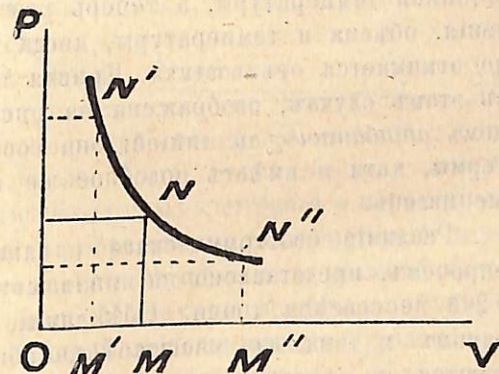
грамъ къ изученію жидкостей вообще, а позже Ренкинъ (Rankine) прибѣгъ къ тому же методу при изученіи паровой машины.

Мы должны попытаться составить себѣ понятіе объ основаніяхъ этого метода, въ виду его недавняго введенія въ метеорологію, предложеннаго фонъ-Бецольдомъ въ Берлигѣ; мы не будемъ заниматься перечисленіемъ старыхъ путей, по которымъ шло изученіе термодинамическихъ измѣненій атмосферы, для того, чтобы далѣе остановиться на новѣйшемъ методѣ, который получилъ одобреніе такихъ великихъ физиковъ, какъ Максвеллъ, Ренкинъ и др.

Прилагаемый чертежъ (фиг. 69) представляетъ двѣ координатныя оси OP и OV , пересекающіяся подъ прямымъ угломъ; объемъ разсматриваемой массы газовъ представленъ разстояніемъ отъ O по линіи OV , а давленіе разстояніемъ отъ O по линіи OP , такъ что координаты точки N представляютъ эти величины: OM — объемъ, а MN — температуру данной массы газа. Если температура остается постоянной, а давленіе возрастаетъ, то точка N , изображающая состояніе газа.



Фиг. 69.



Фиг. 70.

принимаетъ положеніе N' , что показываетъ послѣдовательное уменьшеніе объема, какъ видно на рис. 70-мъ. Если давленіе уменьшается, то точка N переходитъ въ положеніе N'' , которое показываетъ увеличеніе объема.

Если при этихъ измѣненіяхъ объема и давленія температура остается постоянной, то линія, проведенная черезъ послѣдовательныя положенія N , называется *изотермической*. Если мы возьмемъ какой-нибудь газъ, на примѣръ, воздухъ, то, при послѣдовательномъ измѣненіи температуры, можетъ быть нанесенъ цѣлый рядъ изотермъ, выражающихъ отношеніе между давленіемъ, объемомъ и температурой для этого газа; если давленіе и объемъ даны, то температура легко опредѣляется посредствомъ интерполяціи по графической таблицѣ.

Согласно закону Бойля (Boyle), величина произведенія объема на давленіе постоянна, если температура остается постоянной; отсюда слѣдуетъ, что изотерма, проведенная черезъ точку N есть такъ называемая гипербола; вѣтви ея сливаются при продолженіи въ бесконечность съ линіями OP и OV , которыми поэтому можно усвоить названіе асимптотъ.

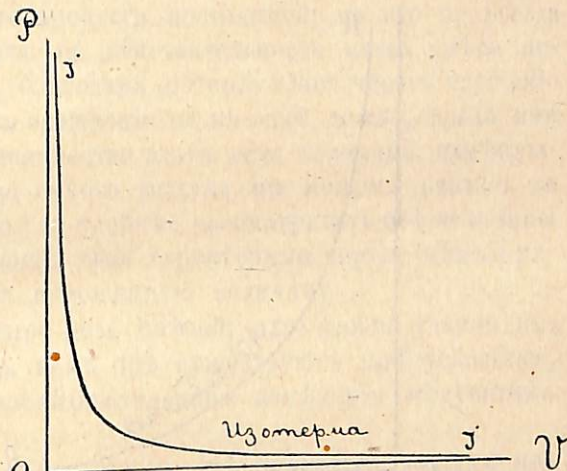
Мы разсматривали отношенія давленія и объема при постоянной температурѣ, а теперь разсмотримъ отношенія давленія, объема и температуры, когда теплота не сообщается и не отнимается отъ воздуха. Кривая линія, которая получится въ этомъ случаѣ, изображена на рисункѣ и названа Ренки-термой, хотя и имѣетъ подобное же направленіе и подобный же изгибъ.

Различіе изотермическаго и адиабатическаго измѣненій, впрочемъ, представлено на приложенныхъ диаграммахъ 71-й и 72-й не совсѣмъ точно. Обѣ линіи, будучи изображены въ одномъ и томъ же масштабѣ на общей диаграммѣ, пересѣкаются въ нѣкоторой точкѣ, потому что увеличеніе давленія вызываетъ уменьшеніе объема, сравнительно меньшее при адиабатическомъ измѣненіи, чѣмъ при изотермическомъ; слѣдовательно, наклонъ адиабаты къ горизонтальной оси (абсциссы) или къ линіи объемовъ всегда больше, чѣмъ наклонъ изотермы.

Вертикальная циркуляція.

Обыкновенно въ приложеніи механической теоріи тепла къ теоріи движеній и измѣненій состоянія атмосферы имѣлись въ виду только адиабатическія измѣненія, т. е. тѣ, при которыхъ во время расширенія или сжатія массы воздуха не происходитъ ни прихода, ни расхода теплоты.

Экспериментальныя изысканія Эспи (Espy) въ первой половинѣ настоящаго столѣтія и позже теоретическіе выводы лорда Кельвина (С. Вил. Томсона), Песлина, Рея (Reye), Ханна, Ферреля и др. показали ме- P теорологамъ важ- ность динамическаго нагрѣванія и охлажденія вертикально движущихся воздушныхъ массъ, являющихся слѣдствиемъ сокращенія и расширенія воздуха. Въ важныхъ мемуарахъ Гюльберга и Мона O (Mohn), авторовъ ихъ утверждаютъ, что

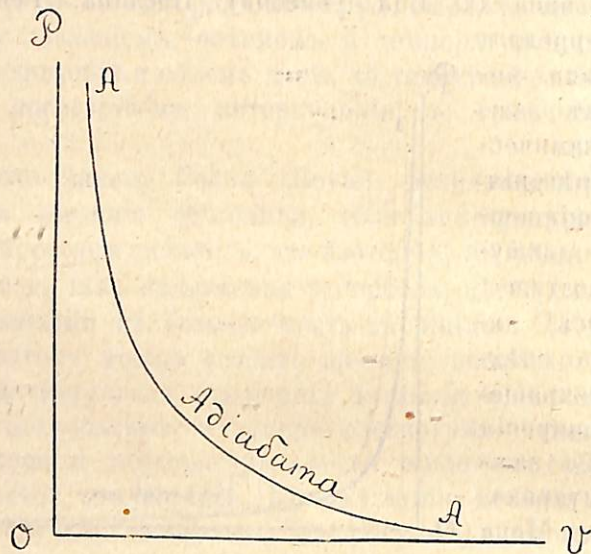


Фиг. 71.

тепло теряется при подъемѣ воздушныхъ потоковъ и переходитъ въ энергію, необходимую для образованія и поддержанія вертикальных теченій. Это явленіе въ цѣломъ не можетъ быть понято безъ выясненія главной причины вертикальной циркуляціи, существованіе которой обусловливается разностью удѣльнаго вѣса воздуха въ различныхъ мѣстахъ, вслѣдствіе чего тамъ, гдѣ воздухъ плотнѣе, происходитъ движеніе по направленію внизъ, а гдѣ легче, тамъ онъ поднимается вверхъ. Такимъ образомъ энергія, необходимая на то, чтобы поднять воздухъ въ первомъ случаѣ, пріобрѣтается на счетъ опусканія его въ другомъ случаѣ, и это движеніе, однажды

начавшись, могло бы продолжаться до бесконечности, если бы не существовало трения. Эти взаимно уравнивающиеся течения, как их можно назвать, приравниваются Шпрунгомъ, фонъ-Бецольдомъ и др. къ течению воды въ круговой системѣ трубокъ, а Феррель объясняетъ его на примѣрѣ открытаго канала, въ которомъ два противоположныхъ течения раздѣлены нейтральной плоскостью.

При нагреваніи воды въ сосудѣ мы наблюдаемъ восходящій токъ, однако не наблюдаемъ, чтобы теплота воды трати-



Фиг. 72.

лась на ея поднятіе, такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ охлажденіе было бы результатомъ работы. Также точно перемены температуры воздуха при подъемѣ или опусканіи воздушныхъ слоевъ не зависятъ отъ работы, необходимой для того, чтобы произвести это движеніе; но всецѣло являются слѣдствіемъ расширенія и сжиманія воздуха. Такія же измѣненія температуры имѣли бы мѣсто при одинаковыхъ измѣненіяхъ объема и давленія и въ горизонтальномъ, и въ вертикальномъ цилиндрѣ. Нельзя утверждать съ увѣренностью ни того, что охлажденіе восходящаго потока получается вслѣдствіе потери тепла на работу поднятія воздуха, ни того,

что нагреваніе нисходящаго течения зависитъ отъ приращенія кинетической энергіи при паденіи. Но работа расширенія и сжатія все же не должна быть упускаема изъ виду, какъ то дѣлаютъ нѣкоторые изслѣдователи.

Такъ какъ атмосфера не состоитъ изъ одного сухого воздуха, а представляетъ собой смѣсь изъ воздуха и изъ водяныхъ паровъ, то теоретическая метеорологія должна опредѣлить ходъ измѣненія состоянія этой смѣси, а не довольствоваться легче разрѣшаемымъ случаемъ одного сухого воздуха.

Въ изслѣдованіяхъ Герца и большинства другихъ разсматривается единица массы смѣси, которая и считается въ продолженіе всего процесса постоянной; но это не всегда правильно, такъ какъ въ дѣйствительности масса смѣси нерѣдко уменьшается, благодаря потерѣ влаги черезъ сгущеніе и слѣдующее за нимъ осажденіе ея въ видѣ дождя, града или снѣга. Такъ какъ количество влаги мы можемъ считать за величину постоянную, то удобнѣе разсматривать обѣ величины отдѣльно, какъ имѣющія свои характерныя черты, чѣмъ принимать всю смѣсь за переменную величину.

Различаются четыре рода смѣсей; ихъ весьма удачно называли *стадіями*, такъ какъ онѣ существуютъ при условіяхъ, замѣчаемыхъ при послѣдовательномъ измѣненіи воздушныхъ слоевъ.

Первая стадія—*сухая* стадія, гдѣ находится воздухъ ненасыщенный влагой и гдѣ, слѣдовательно, нѣтъ мѣста явленію сгущенія и осажденія паровъ. Количество ненасыщенного или перегрѣтаго пара въ этой стадіи свободного воздуха можетъ вообще приниматься, какъ постоянное; такъ какъ осадковъ нѣтъ, и накопленіе значительнаго количества водяныхъ паровъ случается только на земной поверхности.

Дождевая стадія наступаетъ тогда, когда воздухъ изъ сухой стадіи охлаждается или подвергается адиабатическому расширенію. Въ этомъ случаѣ масса смѣси сравнительно меньше, чѣмъ въ сухой стадіи, за исключеніемъ предѣльнаго случая, когда онѣ равны. Количество наличной жидкой воды невелико, если не дѣйствуетъ сильный восходящій потокъ, который поддерживаетъ дождевыя капли или увлекаетъ ихъ

вверхъ вмѣстѣ съ воздухомъ. Такія восходящія теченія существуютъ внутри вихрей, согласно взглядамъ Ферреля. Водяной паръ въ смѣси находится въ состояніи насыщенія.

Въ *градовой* стадіи масса смѣси меньше, чѣмъ въ дождевой стадіи, но величины ихъ равны въ предѣльномъ случаѣ. Смѣсь состоитъ изъ единицы массы сухого воздуха, насыщеннаго пара, водяныхъ капель и твердыхъ частицъ льда или града. Это послѣднее можетъ быть только тогда, если имѣющіяся водяныя капли превращаются въ ледъ, т. е. если температура падаетъ ниже 0° С. и допускаетъ такое превращеніе.

Снѣжная стадія обыкновенно достигается при постепенномъ охлажденіи восходящаго потока воздуха, который предварительно проходитъ чрезъ дождевую и градовую стадію, но при этомъ не выделяетъ сколько-нибудь значительныхъ дождевыхъ и градовыхъ осадковъ. Въ снѣжной стадіи заключается сухой воздухъ, насыщенный паръ и снѣжные хлопья. Масса смѣси въ этомъ случаѣ еще меньше, чѣмъ въ градовой стадіи.

Фонъ-Бецольдъ указываетъ на возможность приложенія механической теоріи тепла къ случаю превращенія части сгущенной воды или капель опять въ парообразное состояніе путемъ нагрѣванія или адиабатическаго сжатія; если это продолжится до извѣстной степени, то смѣсь опять перейдетъ въ сухую стадію, но количество пара не будетъ тоже самое, какое было въ началѣ.

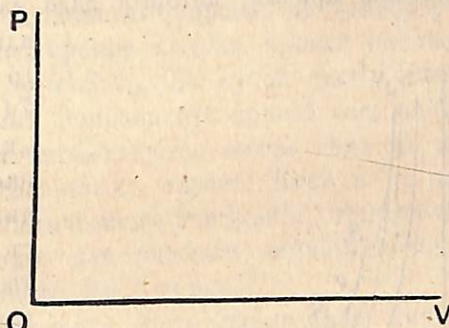
§ 2. Графическій анализъ фонъ-Бецольда.

Анализъ этихъ измѣненій, сдѣланный фонъ-Бецольдомъ, не можетъ быть здѣсь изложенъ въ виду тѣхъ математическихъ формулъ, которыя необходимы въ немъ, но важность его заставляетъ насъ заняться хоть тою его частью, которая можетъ быть легко передана въ элементарномъ видѣ. Число переменныхъ величинъ, входящихъ въ разсмотрѣніе, настолько велико, что обуславливаетъ большую сложность уравненій состоянія и такимъ образомъ графическое схематическое изображеніе, которое можетъ быть легко понято, — все, что здѣсь можно дать.

Объемъ— v , давленіе— p , температура— t , количество водяныхъ паровъ— x , вотъ величины, съ которыми мы будемъ главнымъ образомъ имѣть дѣло. Осадки, въ видѣ ли дождя, или града и снѣга, такъ незначительны, что ихъ вліяніе на давленіе и объемъ можетъ быть опущено.

Пусть на діаграмѣ 73-й ордината OP представляетъ p — давленіе, а абсцисса OV изображаетъ v — объемъ. Третья координата OX , воображаемая идущей отъ O по направленію къ читателю, т. е. перпендикулярно къ плоскости OPV , и эта ордината, или одна изъ параллельныхъ ей, представляетъ x — количество водяныхъ паровъ.

При такомъ выборѣ координатъ, точки, изображающія всѣ состоянія, для нѣкотораго заданнаго значенія x , будутъ содержаться въ одной плоскости, отстоящей недалеко отъ плоскости OPV . Если мы



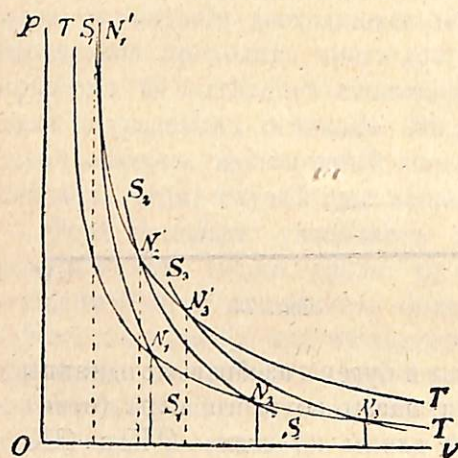
Фиг. 73.

возьмемъ за единицу давленія — давленіе одной атмосферы и будемъ изображать единицы объема (одинъ кубич. метръ) и массы водяного пара (одинъ килограммъ) отрѣзками равной длины по осямъ OV и OX ; если мы вообразимъ послѣдовательныя (прозрачныя) плоскости, представляющія послѣдовательныя состоянія шагъ за шагомъ, положимъ, въ тысячныхъ доляхъ избранной единицы, соотвѣственно измѣненію количества пара (граммъ за граммомъ), слѣдующія другъ за другомъ подобно листамъ книги, то мы сможемъ опредѣлить измѣненія этихъ состояній при помощи кривой на плоскости OPV , которая является проекціей на эту плоскость дѣйствительной кривой, соединяющей точки въ послѣдовательныхъ плоскостяхъ. Это упрощеніе дѣлаетъ возможнымъ схематическое построеніе задачи, которая бы иначе осталась непонятной для читателя, незнакомаго съ основами математики.

Сухая стадія.

Математически доказано, что изотерма для ненасыщенного воздуха, а также для сухого воздуха есть равносторонняя гиперболоа или часть оной.

Главное условие для существования сухой стадии заключается в томъ, чтобы имѣющееся давление было меньше, чѣмъ давление, необходимое для сгущения пара при той же температурѣ; это давление зависитъ отъ температуры и возрастаетъ вмѣстѣ съ послѣдней, но болѣе быстро. Характеристическія кривыя, которыя надо изслѣдовать—это изотермы,



Фиг. 74.

адиабаты и кривыя постояннаго равнаго насыщения. Нарис. 74 кривая $s_1 s_1$ представляетъ „кривую росы“ или „кривую насыщения“; она ограничиваетъ область сухой стадии съ постояннымъ количествомъ паровъ. Слѣдовательно, если кривая состоянія, проходя сухую стадию, пересѣкаетъ кривую насыщения, то сухая стадія прекращается и наступаетъ стадія сгущения, дождевая или снѣговая стадія. Такъ что для сухой стадии изотермы (для какого-нибудь постояннаго количества паровъ)

должны кончаться на „кривой насыщения“. Ходъ этой послѣдней кривой опредѣлится гиперболическими изотермами и ихъ начальными абсциссами.

Пусть на диаграммѣ 74-й N_1 будетъ точкой пересѣченія „кривой насыщения“ съ изотермой T для опредѣленной температуры T и опредѣленнаго количества пара x . „Кривая насыщения“ $S_1 S_1$ соотвѣтствуетъ этому количеству пара x , и для другихъ количествъ пара x_2, x_3 мы будемъ имѣть соотвѣтствующія „кривыя насыщения“ $S_2 S_2$ и $S_3 S_3$. Абсциссы начальныхъ точекъ изотермъ, соотвѣтствующихъ той же самой

температурѣ, но разнымъ количествамъ пара, пропорціональны этимъ количествамъ пара. Кривыя росы $S_2 S_2, S_3 S_3$ представляютъ собою кривыя для количествъ пара соотвѣтственно въ два, въ три раза большихъ, чѣмъ количество пара у кривой s_1 .

Изотермы, соотвѣтствующія различнымъ количествамъ пара, такъ тѣсно сходятся вмѣстѣ, что могутъ быть изображены на диаграммѣ просто въ видѣ одной линіи T , надо только помнить, что у каждой имѣется своя начальная точка на общей гиперболической кривой, и положеніе этой начальной точки зависитъ отъ количества паровъ въ атмосферѣ. При послѣдовательномъ расширеніи воздуха кривая насыщения $S_1 S_1$ переходитъ въ $S_2 S_2$ и $S_3 S_3$. Въ сухой стадіи, которая расположена на рисункѣ направо отъ кривой насыщения, характеристическія кривыя опредѣляются почти тѣмъ же закономъ, какъ и для совершенныхъ газовъ. Какъ и въ послѣднемъ случаѣ, при адиабатическомъ измѣненіи, чѣмъ болѣе объемъ, тѣмъ менѣе давление, для каждаго даннаго количества водяныхъ паровъ. Точнѣе $p v^{1.41} = p_1 v_1^{1.41}$.

Фонъ-Бецольдъ воспользовался такъ называемой линіей постоянной энтропіи, какъ тождественной съ адиабатической кривой, и такимъ образомъ смогъ доказать, что вслѣдствіе уменьшенія энтропіи черезъ изотермическое расширеніе отъ одного объема къ другому (см. диаграмму) мы, продолживъ изотермы, которыя пересѣкаютъ адиабату s_1 (линію постоянной энтропіи), сможемъ построить вторую адиабату s_2 ; отношенія расширенія остаются при этомъ постоянными.

Какъ скоро мы знаемъ ходъ одной адиабаты, можно легко процессомъ, подобнымъ тому, какой примѣнимъ для кривыхъ росы, построить рядъ новыхъ адиабатъ, изъ которыхъ каждая будетъ имѣть постоянную разницу въ энтропіи съ другой, рядомъ лежащей.

Дождевая стадія.

Въ дождевой стадіи измѣненія очень рѣдко являются обратимыми, т.-е. представляющими возможность возвращенія смѣси въ первоначальное состояніе,—вслѣдствіе уменьшенія

количества воды, благодаря выпаденію дождя. Линія, которая указываетъ измѣненія состоянія, рѣдко соприкасается съ выпуклой стороной кривой росъ и находится надъ кривой насыщенія; смѣсь можно возвратить въ первоначальное состояніе только при существованіи условія пересыщенія. Это болѣе подробно объяснено ниже.

Въ дождевой стадіи изотерма представляетъ собой равно-стороннюю гиперболу, какъ и въ сухой стадіи, такъ какъ давленіе пара остается постоянной величиной, одна асимптома ея совпадаетъ съ осью P (давленія), какъ въ сухой стадіи, тогда какъ другая слегка наклонена къ оси V и по направленію къ P . Разница между изотермами одной и той же температуры въ сухой и дождевой стадіяхъ очень мала; одна непрерывно соединяется съ другой и только при переходѣ изъ одной стадіи въ другую замѣчается легкой изгибъ кривой, зигзагъ этотъ идетъ вверхъ и выгнуть вправо. Это явленіе въ кривыхъ достойно замѣчанія, такъ какъ показываетъ измѣненіе состоянія воздуха въ воздушныхъ вертикальныхъ теченіяхъ, объясняемыхъ позже, и доказываетъ тотъ фактъ, что изотерма до дождевой стадіи содержитъ въ себѣ начальныя точки всѣхъ изотермъ, лежащихъ въ сухой стадіи и соотвѣствующихъ количествамъ влаги меньшимъ, впрочемъ, чѣмъ первоначальное количество влаги, съ которымъ мы отправлялись изъ сухой стадіи.

Чтобы изслѣдовать адиабатическую кривую, мы должны знать количество тепла, которое въ продолженіе процесса находится въ сухомъ воздухѣ и въ водѣ, съ которой воздухъ смѣшанъ. Первое легко вычислить, но послѣднее—величина переменная, зависящая отъ количества воды, которая присутствуетъ въ видѣ паровъ, а также количества воды, теряющейся въ видѣ дождя; за отсутствіемъ точныхъ знаній объ относительномъ или абсолютномъ количествѣ удерживающейся или теряющейся воды остается разсмотрѣть два предѣльныхъ случая. Именно, всѣ водяныя капли могутъ или выпасть въ видѣ дождя, или слѣдовать за движеніемъ воздуха, который такимъ образомъ сохраняетъ запасъ воды. Хотя въ природѣ вѣроятно эти предѣльные случаи никогда не наступаютъ, или по крайней мѣрѣ крайне рѣдки, однако мы

должны разсмотрѣть такіа предѣльные состоянія, потому что они возможны. При графическомъ представленіи, мы получаемъ для одного случая, что точка, изображающая состояніе, находится въ той же самой плоскости, какъ и въ сухой стадіи (случай постоянного количества воды), и для другого случая, что точка эта движется по кривой росъ, причемъ вся вода немедленно выпадаетъ, а состояніе насыщенія поддерживается. Фонъ-Бецольдъ полагаетъ, что именно послѣднее состояніе близко къ тому, которое встрѣчается въ природѣ, хотя обыкновенно первое принимается за основаніе при изслѣдованіи. Однако въ случаѣ вихревого движенія, когда является сильный восходящій токъ воздуха, это условіе становится, вѣроятно, возможнымъ на дѣлѣ. Два предѣльныхъ состоянія фонъ-Бецольдъ различаетъ, какъ представляющіе въ одномъ случаѣ maximum пересыщенія (Uebersättigung), а въ другомъ—нормальное насыщеніе. Очевидно, что количество притекашаго тепла (выраженное алгебраически) должно равняться нулю, чтобы возможенъ былъ адиабатическій ходъ измѣненій, а это только въ случаѣ максимальнаго пересыщенія, если терминъ „адиабатическій“ принимать во всей его строгости.

Если предположить, что адиабатическое измѣненіе обусловлено только отсутствіемъ потери или приобрѣтенія тепла, то оба приведенные случая будутъ адиабатическими. Между тѣмъ оба приведенные случая будутъ адиабатическими, какъ такое, если мы опредѣлимъ адиабатическое состояніе, какъ такое, при которомъ не только вся внѣшняя работа совершается на счетъ энергіи, но вся потеря энергіи уходитъ на произведеніе этой работы, то такое опредѣленіе нельзя приложить ко второму вышеуказанному предѣльному случаю. Если дождевыя капли выпадаютъ, то получается уменьшеніе энергіи на количество ея необходимое для совершенія внѣшней работы и на количество, унесенное выпавшей водой и соотвѣствующее опредѣленной температурѣ этой воды.

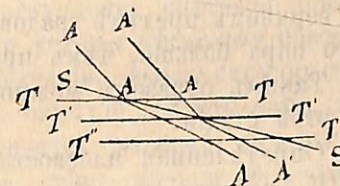
Фонъ-Бецольдъ тщательно обособляетъ случай, когда вода выпадаетъ вся, называя его псевдо-адиабатнымъ (pseudo-adiabate), между тѣмъ какъ вообще измѣненія, при которыхъ вода выпадаетъ совсѣмъ или отчасти, онъ называетъ псевдо-адиабатическими (pseudo-adiabatische).

Аналитическій разбор условий существованія адиабатических кривыхъ, т.-е. уравненій кривыхъ, не можетъ быть изложенъ здѣсь; при помощи его доказывається, что псевдо-адиабатная кривая опускается быстрѣе, чѣмъ адиабатическая или, другими, словами температура падаетъ быстрѣе, если вся сгущенная вода выпадаетъ сразу, чѣмъ если часть водяныхъ капель задерживается и увлекается воздухомъ. Изъ сравненія этихъ двухъ кривыхъ съ кривой росы или съ кривой насыщения найдено, что онѣ опускаются быстрѣе, чѣмъ эта послѣдняя, о чемъ свидѣлствуетъ тотъ фактъ, что должно быть сообщено тепло для того, чтобы сдѣлать возможнымъ расширение вдоль кривой росы; при графическомъ изображеніи, принятомъ здѣсь, кривыя, показывающія измѣненіе состоянія, когда притекаетъ тепло, склоняются менѣе круто по направленію къ оси абсциссы, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда измѣненіе состоянія адиабатическое. При расширеніи адиабаты отходятъ отъ кривой росы къ оси абсциссы, и количество влаги уменьшается.

Ходъ адиабатической кривой не можетъ быть однако съ точностью опредѣленъ простымъ заданіемъ отношенія между объемомъ и температурой или температурой и давленіемъ или между давленіемъ и объемомъ, а долженъ быть примѣненъ косвенный методъ для вывода хода адиабаты, причемъ принимается во вниманіе уменьшеніе энтропіи при переходѣ изъ первоначальнаго состоянія въ конечное. Возможно вычислить количества энтропіи для извѣстнаго числа соотвѣтственныхъ попарно избранныхъ величинъ объема и давленія независимо отъ постоянныхъ, относящихся къ цѣлой системѣ и посредствомъ интерполяціи энтропіи для значительнаго числа промежуточныхъ величинъ объема и давленія можетъ быть опредѣлено построеніе линій равной энтропіи, которыя и будутъ адиабатами.

Фонъ-Бецольдъ нашелъ возможнымъ и удобнымъ выбрать для вычисленія такія точки, которыя лежатъ подъ рядъ на изотермахъ такъ, чтобы при переходѣ отъ одной точки къ другой по одной и той же изотермѣ разность энтропій была постоянная. Вычисленія показываютъ, что изэнтропическія (равной энтропіи) кривыя пересѣкаютъ изотермы подъ угломъ

болѣе острымъ въ дождевой стадіи, чѣмъ въ сухой стадіи, и какая-нибудь опредѣленная переменная энтропіи является результатомъ большаго измѣненія объема въ томъ случаѣ, когда имѣется условіе сухой стадіи, чѣмъ условія дождевой стадіи. Если мы ограничимъ наше изслѣдованіе небольшою частью координатной плоскости, то изотермы представятся въ видѣ параллельныхъ прямыхъ линій, тянущихся почти по одному направленію въ обѣихъ стадіяхъ, сухой и дождевой, и чтобы представить какую-нибудь одну и ту же переменную энтропіи необходимо пройти вдоль изотермъ болѣе длинный отрѣзокъ въ сухой стадіи, чѣмъ въ дождевой. Кривая росы спускается болѣе къ положительной сторонѣ оси абсциссы, чѣмъ изотермы, а адиабаты дѣлаютъ изгибъ на кривой росы, какъ показано на рис. 75, гдѣ SS представляетъ часть кривой росы; TT , S_1S_1 —изотермы и AA , $A'A'$ —адиабаты.



Фиг. 75.

Псевдо-адиабатную кривую еще труднѣе изслѣдовать, и еще менѣе точные, только приблизительные выводы могутъ быть получены,

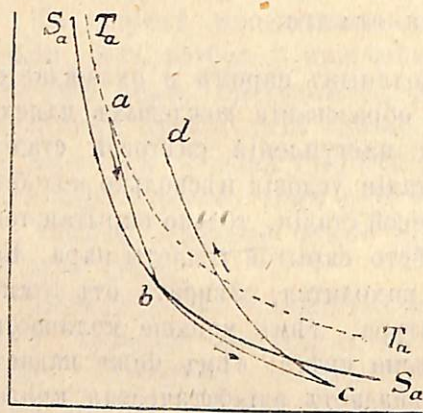
даже въ предѣлахъ дѣйствительныхъ явленій, которые, къ счастью, болѣе разработаны, чѣмъ общее рѣшеніе. Но даже объясненіе происхожденія частныхъ случаевъ слишкомъ сложно, чтобы его излагать здѣсь. Надо знать однако, что путемъ уравненій доказывається, что псевдо-адиабата опускается быстрѣе, чѣмъ адиабата, т.-е. послѣдовательные объемы при соотвѣтствующихъ температурахъ меньше во время псевдо-адиабатическихъ измѣненій, чѣмъ при адиабатическихъ.

Градовая стадія.

Если температура падаетъ ниже 273° С. по абсолютной шкалѣ или ниже точки замерзанія, то описанныя условія дождевой стадіи должны измѣниться. Если температура стоитъ какъ разъ на точкѣ замерзанія и рядомъ существуетъ вода и градъ, то измѣненіе состоянія можетъ быть только въ видѣ изотермическаго расширенія, что и будетъ продолжаться, пока

одной изъ воображаемыхъ плоскостей, параллельныхъ плоскости OPV , на разстояніи X .

Изотерма для соотвѣтствующей первоначальной температуры представлена линіей T_a , и мы видимъ, что при переходѣ отъ a къ b температура быстро падаетъ. Коль скоро b достигнуто, точка изображающая состояние воздуха скользятъ внизъ по поверхности росъ и съ адиабаты сухой стадіи переходитъ на адиабату дождевой стадіи bc , образующую съ кривой насыщенія острый уголъ. Теперь температура падаетъ при равно-



Фиг. 76.

мѣрно продолжающемся расширеніи, гораздо медленнѣе, чѣмъ прежде, какъ показываетъ кривая, и вода сгущается по мѣрѣ того, какъ линія bc пересекаетъ линіи росъ, соотвѣтствующія меньшимъ количествамъ пара. Сгущенная вода выпадаетъ въ видѣ дождя, и позднѣе, если процессъ еще продолжается, въ видѣ снѣга, такъ что линія bc становится дѣйствительно псевдоадиабатной, или, лучше сказать,

она будетъ проекціей псевдоадиабаты. Градовая стадіи совсѣмъ минуетъ или въ крайнихъ случаяхъ бываетъ едва замѣтной. Предположимъ, что расширеніе прекращается въ c и что начинается сжатіе вслѣдствіе нисхожденія воздуха. Этотъ обратный процессъ, если бы вода не ушла въ видѣ осадковъ, шелъ бы тѣмъ же путемъ, который мы только что изслѣдовали, т.-е. отъ c къ b и затѣмъ отъ b къ a , и чѣмъ большее количество воды удержано, тѣмъ болѣе будетъ совпадать этотъ путь съ первоначальнымъ. Но когда часть воды потеряна въ видѣ осадковъ, то при сжиманіи ходъ процесса будетъ таковъ, какъ изображаетъ линія cd . Въ этомъ случаѣ, какъ показано на діаграмѣ, пересѣченіемъ cd съ линіей T_a , первоначальная

температура воздуха получается при давленіи меньшемъ, чѣмъ первоначальное давленіе, а при дальнѣйшемъ опусканіи, которое должно совершиться прежде, чѣмъ воздухъ достигнетъ первоначальнаго давленія, температура повысится противъ первоначальной температуры. Въ результатѣ количество пара меньше, и температура выше, чѣмъ въ первоначальномъ состояніи. Итакъ мы имѣемъ слѣдующіе характерные признаки фѣна: влажный холодный воздухъ по одну сторону горной цѣпи и сухой теплый по другую сторону ея. Какъ видно изъ разсмотрѣнія діаграммы, эти особенности тѣмъ рѣзче, чѣмъ ближе къ кривой насыщенія находится точка отправления, и чѣмъ длиннѣе отрѣзокъ пути bc въ дождевой стадіи.

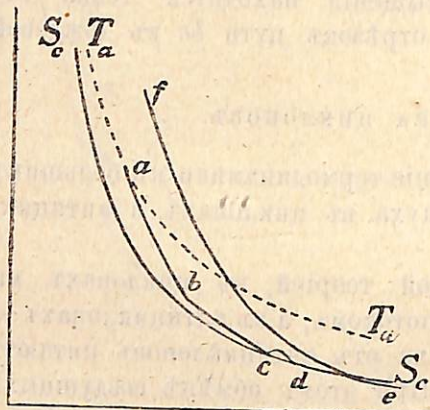
Термодинамика циклоновъ.

Еще болѣе важно приложеніе термодинамики къ большимъ вертикальнымъ теченіямъ воздуха въ циклонахъ и антициклонахъ.

Согласно съ общепринятой теоріей, въ циклонахъ мы имѣемъ дѣло съ восходящимъ потокомъ, а въ антициклонахъ — съ нисходящимъ; токи воздуха отъ антициклоновъ питаютъ собой циклоны и наоборотъ. При этомъ обмѣнѣ воздушныхъ массъ воздухъ подвергается многимъ такимъ же измѣненіямъ, какія онъ испытываетъ при подъемѣ по одну сторону горнаго хребта и паденіе по другую его сторону во время фѣновъ. Но въ циклоническихъ системахъ разстоянія и промежутки времени такъ велики, что адиабатическія измѣненія (т.-е. безъ потери и полученія тепла) не могутъ имѣть мѣста; такъ какъ восходящее теченіе циклона отстоитъ на сотни миль отъ нисходящаго потока антициклона, то надо имѣть въ виду тѣ измѣненія количества тепла, которыя происходятъ въ зависимости отъ условій мѣста и времени. Лѣтомъ преобладаетъ прибавка тепла, а зимой убываніе его. День и ночь находятся въ такомъ же отношеніи между собой.

Ходъ лѣтней обмѣнной циркуляціи между циклонами и антициклонами изображенъ на діаграммѣ (рис. 77). Восходящій въ циклонѣ воздухъ выходитъ изъ состоянія a и, расширяясь и въ то же время получая тепло, идетъ по линіи

ab , которая лежит под некоторым углом к адиабатѣ, такъ какъ уменьшеніе температуры ослаблено въ виду притока тепла. Когда въ мѣстѣ сгущенія облаковъ достигается дождевая стадія, то путь bc примыкаетъ къ кривой насыщенія, но на большихъ высотахъ, гдѣ мы находимъ болѣе сильный притокъ тепла, благодаря инсоляціи въ верхнихъ слояхъ, усилившейся вслѣдствіе уменьшенія плотности облаковъ, путь будетъ идти по cd , какъ показано, и измѣненіе будетъ протекать опять въ сухой стадіи, приблизительно адиабатически, потому что вода преобразовалась въ паръ, благодаря испаренію, которое должно произойти, и, слѣдовательно, лишилась большей части своей поглощательной способности. Въ точкѣ d смѣсь входитъ во вторую стадію сгущенія, — въ стадію перистыхъ облаковъ. И въ этой стадіи кривая въ большинствѣ случаевъ истинно адиабатическая, такъ какъ микроскопическіе кристаллы льда не выпадаютъ въ видѣ осадковъ, а остаются висющими въ воздухѣ. Кривая подъема de должна очень



Фиг. 77.

близко подходить къ кривой опусканія; но при дальнѣйшемъ опусканіи эта послѣдняя, ef , отклоняется отъ первой все сильнѣе, какъ это изображено на діаграммѣ.

Кривая нисхожденія представлена здѣсь, по Бецольду, адиабатой, хотя это не совсѣмъ правильно, особенно для нижнихъ слоевъ атмосферы, вслѣдствіе нагрѣванія этихъ слоевъ отъ близости къ нагрѣтой поверхности земли, но это уклоненіе отъ адиабаты, какъ указываетъ Бецольдъ, предполагало бы существованіе условія устойчиваго равновѣсія.

Въ нисходящемъ теченіи антициклона происходятъ измѣненія вдоль ef , и окончательное давленіе воздушныхъ массъ при достиженіи почвы больше, чѣмъ давленіе, дѣйствующее сначала у основанія циклона и, слѣдовательно, f лежитъ выше

надъ осью абсциссы, чѣмъ a . Мы видимъ, что f находится не только выше, но и правѣе отъ a , такъ что объемъ въ f , больше объема въ a , и, слѣдовательно, воздухъ въ антициклонѣ легче, чѣмъ въ циклонѣ, несмотря на относительно большее давленіе въ первомъ. Это возможно вслѣдствіе уравновѣшивающаго вліянія разницы въ температурѣ.

Мы видимъ ясно, что при переходѣ воздуха изъ циклона въ антициклонъ не можетъ быть вопроса объ удѣльномъ вѣсѣ воздушныхъ массъ, а напротивъ, динамическія отношенія играютъ рѣшающую роль, какъ на томъ настаиваетъ Ганнъ въ своемъ обзорѣ наблюдений, произведенныхъ въ альпійской обсерваторіи, на Зоннбликѣ. Фонъ-Бецольдъ полагаетъ, что районъ, лежащій надъ дождевыми тучами и особенно ихъ верхній предѣлъ, долженъ быть подвергнутъ тщательному изслѣдованію наблюдателей, потому что условія, существующія тамъ, не были собственно приняты въ расчетъ.

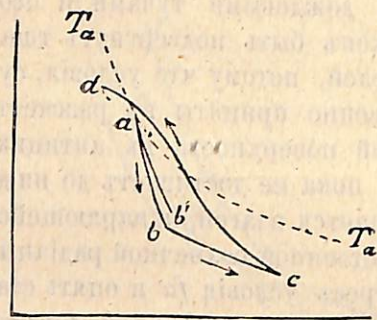
Воздухъ нисходящій къ земной поверхности въ антициклонѣ остается теплымъ и сухимъ, пока не достигнетъ до нижняго слоя, гдѣ онъ быстро насыщается влагой, испаряющейся съ земли, подверженной безпрепятственной солнечной радіаціи.

Теперь воздухъ проходитъ черезъ условія fa и опять становится питающимъ потокомъ для новой атмосферной депрессіи (циклона) при наличности тѣхъ же условій, что и для перваго циклона, получая въ нижнемъ теченіи (fa) прибавку къ своему запасу влаги.

Зимой (и по аналогіи въ ночное время) измѣненія состоянія отличаются отъ вышеописанныхъ: температура не такъ высока, какъ лѣтомъ, и потому изотермы, лежащія на значительномъ разстояніи отъ оси, не будутъ достигнуты, по крайней мѣрѣ начальныя и конечныя измѣненія происходятъ ближе къ координатнымъ осямъ (см. р. 78); въ точкѣ отправления a въ циклонѣ меньшее давленіе и высшая температура, тогда какъ въ конечномъ состояніи въ точкѣ d въ антициклонѣ давленіе выше, а температура ниже, такъ что на діаграммѣ d должно находиться выше и лѣвѣе a ; такъ какъ мы предполагаемъ, что разстояніе точки, изображающей состояніе, отъ оси плоскости проекціи, какъ показано на діаграммѣ, зависитъ отъ абсолютнаго количества влаги, а

количество влаги меньше зимой, чѣмъ лѣтомъ, то кривыя, представляющія измѣненія состоянія, не отклоняются такъ сильно отъ оси, какъ лѣтомъ.

Въ началѣ подъема въ циклонѣ измѣненіе почти адиабатическое, т. е. b почти совпадаетъ съ b' (гдѣ ab' — адиабата) на пути къ верхнему предѣлу облачныхъ слоевъ, такъ какъ подъ ними солнечное нагрѣваніе и также потеря тепла чрезъ лучеиспусканіе крайне слабы; но если здѣсь замѣчается уклоненіе отъ адиабаты, то оно должно имѣть противоположное съ лѣтнимъ направленіе, и линіи должны спускаться круче, чѣмъ лѣтомъ. На прилагаемой діаграммѣ (р. 78) отклоненіе это изо-



Фиг. 78.

бражено, и предполагается, что переходъ происходитъ непосредственно изъ сухой стадіи въ сыѣжную. Отъ этого мѣста перехода впередъ кривая опускается постепенно, но съ постояннымъ возрастаніемъ наклона въ виду большаго охлажденія въ большихъ высотахъ вплоть до точки поворота c , гдѣ распріеніе прекращается и начинается сжатіе. Возвратный путь обозначенъ линіей cd . Насколько мы можемъ судить, нисходящая кривая на большихъ высотахъ будетъ адиабатической, и тамъ мы будемъ имѣть дѣло съ адиабатическимъ сжатіемъ сухой стадіи; но въ нижнихъ слояхъ атмосферы, гдѣ внѣшняя радіація сильна, послѣдующее охлажденіе является причиной отклоненія отъ адиабаты по направленію къ оси ординатъ, какъ это и представлено въ нижней части кривой cd . Такимъ образомъ мы имѣемъ въ схемѣ графическое изображеніе перемѣны температуры, которая случается въ антициклонахъ, особенно въ ясные зимніе дни. Въ послѣдней половинѣ опусканія кривая cd приближается къ кривой росы и даже пересѣкаетъ ее возлѣ d ; въ послѣднемъ случаѣ сгущеніе принимаетъ форму тумана. Съ началомъ образованія тумана радіація возрастаетъ, и пониженіе температуры становится

значительнѣе по мѣрѣ приближенія нисходящаго воздушнаго потока къ землѣ. Хотя кривую cd и можно предположить на всемъ протяженіи адиабатической, но это требуетъ еще дальнѣйшаго изслѣдованія. Если это такъ, то на нѣкоторой высотѣ въ антициклонѣ должно существовать то же давленіе и температура, какъ и въ циклонѣ на меньшей высотѣ, поэтому въ этомъ случаѣ проекція кривой измѣненія состоянія, т. е. кривая, изображенная на плоскости діаграммы, должна пересѣчь самое себя.

§ 4. Графическое рѣшеніе адиабатическаго процесса, данное Герцемъ.

Хотя масса смѣси воздуха и пара уменьшается постоянно по мѣрѣ перехода изъ одной стадіи въ слѣдующую, какъ было доказано фонъ Бецольдомъ, и хотя Герцъ не принялъ во вниманіе псевдоадиабатическихъ измѣненій, однако графическая таблица этого послѣдняго писателя можетъ помочь найти приблизительное рѣшеніе для столь многихъ случаевъ и съ такой легкостью, что ее можно смѣло предложить здѣсь на пользу тѣмъ, кто захотѣлъ бы примѣнить ее къ дѣлу, но не имѣетъ возможности достать оригиналъ. Даже при разсмотрѣніи неадиабатическихъ измѣненій на практикѣ можно пользоваться ею для рѣшенія вспомогательныхъ адиабатическихъ процессовъ. Оригинальное сочиненіе Герца носитъ названіе „Graphische Methode zur Bestimmung der adiabatischen Zustandsänderungen feuchter Luft“ и было напечатано въ Meteorologische Zeitschrift, Nov.-Dec. 1884 г. Различные метеорологи дѣлаютъ ссылки на этотъ трудъ, а между тѣмъ до сихъ поръ очень важная діаграмма, приложенная къ этому сочиненію, не была нигдѣ воспроизведена.

Сѣтка только что упомянутой діаграммы такъ нанесена, что горизонтальныя линіи (абсциссы) представляютъ рядъ атмосферныхъ давленій (въ миллиметрахъ), которымъ подвергается воздушная смѣсь, а вертикальныя линіи или ординаты представляютъ температуры отъ -20° С. и до $+20^{\circ}$ С. Но отношенія эти не такъ просты, какъ кажется, оттого что сѣтка такъ устроена, что координаты на ней возрастаютъ пропорціонально логарифмамъ давленія или абсолютной тем-

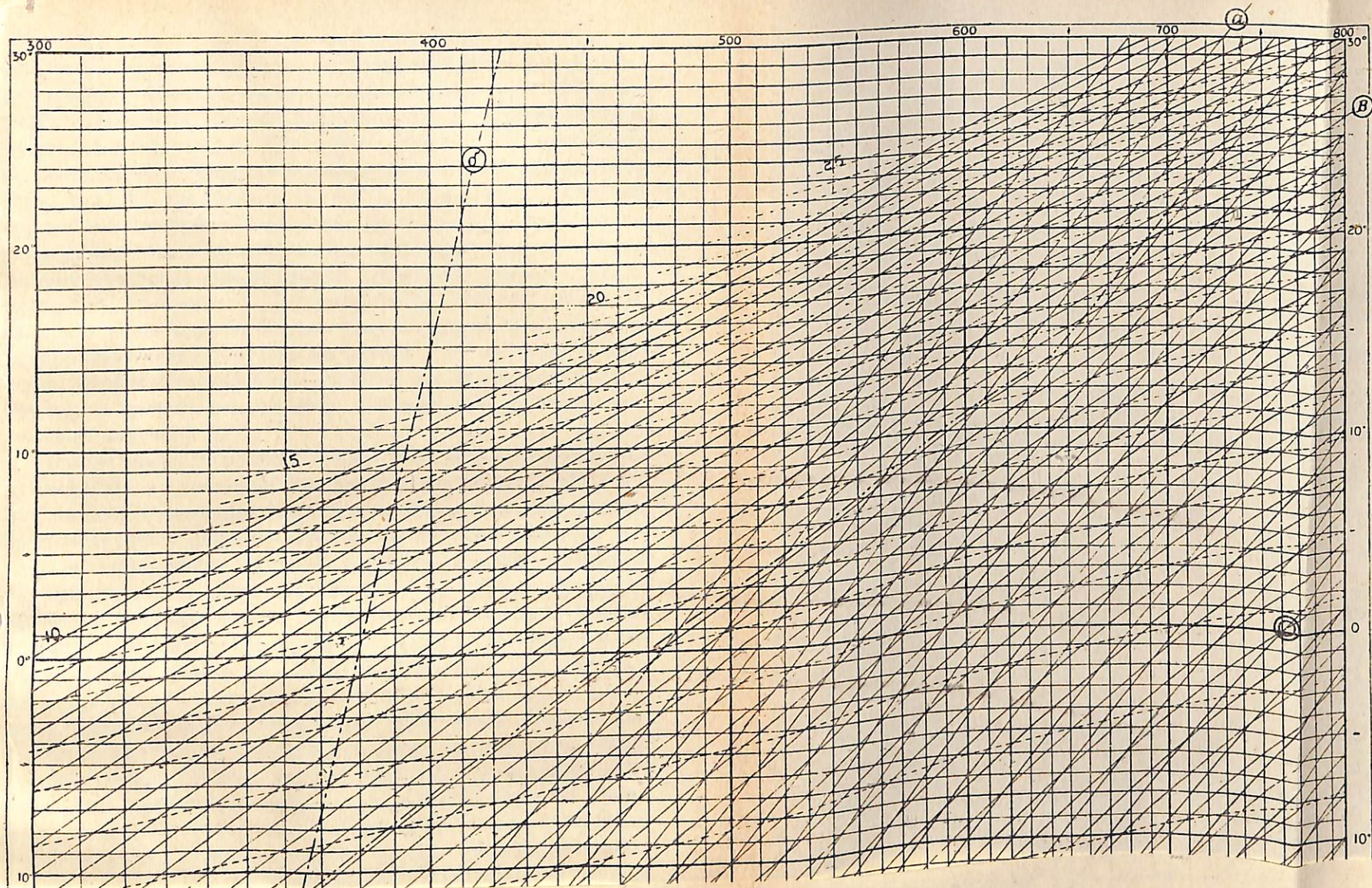
пературы, а не самимъ величинамъ давленія и температуры, потому что въ послѣднемъ случаѣ пришлось бы имѣть дѣло съ кривыми линіями, а не съ прямыми или приблизительно прямыми, что неудобно для графическаго изображенія. Пунктирныя линіи, проходящія отъ праваго верхняго угла налѣво внизъ, указываютъ количество граммовъ воды, находящейся въ одномъ килограммѣ воздуха при разныхъ условіяхъ, каждая пятая линія пѣсколько продолжена и отмѣчена слѣва соответствующимъ ей числомъ: 5, 10, 15, 20, 25 (граммовъ).

Ходъ адиабатъ въ сухой стадіи представленъ съ помощью линіи, отмѣченной α (смотри. вверху направо), и линіями параллельными ей; направленіе адиабатъ въ дождевой стадіи изображается линіей β (направо, вблизи верхней части діаграммы) и линіями параллельными ей; но надо замѣтить, что онѣ останавливаются на линіи 0° С. температуры, т. е. на точкѣ замерзанія; въ градовой стадіи ходъ адиабатъ соответствуетъ изотермѣ 0° ; направленіе въ снѣговой стадіи представлено черезъ γ (налѣво у основанія) и линіями параллельными ей; очевидно, что онѣ почти, но не совсѣмъ совпадаютъ съ линіями β дождевой стадіи, но останавливаются на линіи 0° С., такъ какъ при высшей температурѣ, снѣгъ обратился бы въ дождь.

Способъ употребленія графической таблицы лучше всего выясняется на примѣрѣ; для этой цѣли Герцемъ данъ слѣдующій примѣръ: на уровнѣ моря воздушная масса испытываетъ барометрическое давленіе въ 750 мм., при температурѣ въ 27° С. и относительной влажности въ 50%; эта воздушная масса переносится вверхъ при адиабатическихъ условіяхъ (т. е. безъ притока и потери тепла); требуется узнать какія измѣненія испытываетъ воздухъ и гдѣ онъ вступаетъ въ послѣдовательныя разсмотрѣнныя нами стадіи.

Начальное или исходное состояніе воздушной массы представлено на графической таблицѣ вблизи верхняго праваго угла въ точкѣ, гдѣ вертикальная изобара въ 750 мм. пересекаетъ горизонтальную изотерму 27° С. Эта точка находится почти какъ разъ на пунктирной линіи (показывающей въ граммахъ содержаніе воды при насыщеніи) 22, какъ читаемъ въ графѣ, находящейся по лѣвую руку на таблицѣ,

Давленіє воздуха.



Температура.

такъ что еслибы масса воздуха была *вполнѣ* насыщена и, слѣдовательно, имѣла бы относительную влажность въ 100% въ точкѣ отправленія, то она содержала бы 22 грамма воды на килограммъ воздуха; но она имѣетъ только 50% насыщения и, слѣдовательно, содержитъ только половину 22-хъ граммовъ воды, т.-е. 11 граммовъ воды на 1 килограммъ. Если мы прослѣдимъ изобару 750 внизъ до основанія таблицы, то найдемъ, что она (изобара) лежитъ приблизительно на 100-мъ дѣленіи отъ нуля шкалы высотъ, данной въ метрахъ; этотъ нуль, т.-е. уровень моря предполагаетъ 760 мм. давленія, такъ что наше первоначальное давленіе равно тому, которое, по принятой шкалѣ, будетъ на высотѣ 100 метровъ, и *это число метровъ должно быть вычтено изъ всѣхъ высотъ, полученныхъ путемъ употребленія таблицы при рѣшеніи настоящей задачи.*

Пусть теперь воздушная масса постепенно поднимается, и измѣненіе ея состоянія изобразится на діаграмѣ пунктирной линіей, проведенной параллельно линіямъ α изъ точки, соотвѣтствующей давленію 750 мм. и 27° С.—Если мы теперь захотимъ найти состояніе воздушныхъ массъ на высотѣ въ 700 м. выше точки отправленія, то линія высоты у основанія діаграммы будетъ линіей соотвѣтствующей $700 + 100 = 800$ мет. и направляется вверхъ до пересѣченія съ пунктирной линіей въ точкѣ, находящейся при 687 мм. барометрическаго давленія и 19,3° С. Эта пунктирная линія нанесена здѣсь только для того чтобы рѣшить настоящую задачу, въ другихъ случаяхъ вмѣсто того, чтобы рисовать линію, просто кладутъ линейку съ прямымъ краемъ. Пока пунктирная линія не достигнетъ линіи 11 граммовъ содержанія воды, сгущеніе не происходитъ, а въ этой точкѣ встрѣчи, происходящей на 640 мм. барометрическаго давленія и 13,3° С. температуры наступаетъ стадія сгущенія; теперь направленіе пунктирной линіи измѣняется, и она идетъ параллельно линіямъ β , которыя относятся къ стадіи сгущенія, но прежде, чѣмъ изслѣдовать ее, надо замѣтить, что если линія 750 мм. давленія идетъ внизъ до пересѣченія съ линіей 11-ти граммовъ содержанія влаги, то температура, соотвѣтствующая этой точкѣ, будетъ 15,8° С., и это

будет начальная температура росы; она несколько выше, чем действительная температура росы, которая равняется $13,3^{\circ}$ С. Эта разница является результатом того, что при подъеме воздух возрос в объеме одновременно с тем, как уменьшилась температура. Давление 640 мм. находится на высоте 1270 м., что можно определить при помощи соответствующей шкалы высот, находящейся внизу таблицы; на этой высоте, следовательно, начинается образование облаков. Изследуя пунктирную линию отмечающую изменения состояния вдоль линий β в стадии сгущения, надо заметить, что ее наклон к оси абсцисс меньше крут, чем в предыдущей стадии, и, следовательно, температура изменяется более медленно по мере поднятия вследствие освобождения скрытой теплоты водяных паров и при поднятии на 1000 метров в стадии сгущения температура доходит еще до $8,2^{\circ}$ С., так что уменьшается только на $0,51^{\circ}$ С. на каждые сто метров подъема. На этой высоте линия содержания воды $8,9$ граммов, так что 21 грам. воды должны выпасть из каждого килограмма воздуха, если вода эта не поддерживается восходящим вертикальным воздушным потоком воздуха. Если проследим пунктирную линию до пересечения с линией 0° С. или линией замерзания, то увидим, что эта точка лежит на высоте 3750 м., которая соответствует давлению в 472 мм. (для сухого воздуха эта температура была бы достигнута только на высоте 2,600 метр., как видно по продолжении пунктирной линии обозначающей ход изменения состояния в сухой стадии до линии 0° С.). На линии же 0° С. видно, что около 4,9 граммов влаги должны сгуститься; на линии 0° С. вода начинает замерзать, и температура более не падает, пока вся сгущенная вода не замерзнет, так что теперь путь изменения проходит несколько пространство вдоль изотермы 0° С. Это пространство определяется при помощи небольшой вспомогательной таблицы, помещенной внизу диаграммы. Мы проследим изобару 472 мм. вниз до пунктирной линии, нарисованной на вспомогательной таблице; через пересечение ее с этой линией идет пунктирная линия, параллельная направлению адиабат в стадии сгущения; по этой последней проходим до точки,

лежащей на уровне точки, показывающей 11 граммов содержания воды (по обе стороны страницы), и здесь находим давление, равное 463 мм. Это последнее найденное число указывает давление (вдоль линии 0° С. на главной таблице), при котором процесс замерзания воды оканчивается; в данном случае он охватывает слой толщиной в 150 метров. Теперь вода замерзает, так как она сгущена и так как количество пара становится меньше, то с поднятием температура падает более быстро.

Направление пунктирной линии теперь параллельно линиям γ , и посредством ее мы получаем для любой высоты условия, в которых находится воздух. Например на высоте 7,000 метр. при барометрическом давлении 305 мм. температура должна быть -20° С., а количество влаги 2 грамма водяного пара на один килограмм воздуха, остальные 9 граммов сгустились. Отношение плотности в какой нибудь точке к плотности в точке отправления может быть определено проведением через обе точки линий, параллельных к δ и отметкой точек пересечения с изотермой 0° С. В настоящем случае эти точки пересечения дадут нам: давление 330 мм. и 680 мм., так что плотности относятся между собою, как 33:68. Приведем числа к нормальному давлению в 760 мм. и 0° С. получим отношения плотностей 33:76 и 68:76.

Герц сдѣлалъ предположеніе, что въ градусной стадіи вся сгущенная вода остается въ воздухѣ, но вообще въ действительности это не совсѣмъ такъ. Если только можно через разсужденіе или болѣе точнымъ образомъ опредѣлить количество влаги, сгущающейся и выпадающей, то графическая таблица Герца можетъ быть употреблена и для действительныхъ, и для идеальныхъ случаевъ. Предположимъ, напримеръ, извѣстнымъ, что половина сгущенной воды выпала, то дошедши до изотермы 0° С. воздухъ сохранилъ только 8,5 граммовъ воды на 1 килограммъ, такъ что линия 8,5 гр. должна быть взята вмѣсто 11-тиграммной линіи, а это дастъ конечное давленіе въ 466 мм. Измѣняя первоначальныя условія, напримеръ, предположивъ, какъ въ случаѣ, приведенномъ для объясненія Герцовской таблицы, что относительная влажность 10% , можно

будетъ изслѣдовать много интересныхъ явленій, происходящихъ въ природѣ. Если въ данномъ случаѣ относительная влажность только 10% при 750 мм. давленія и 27°C. температуры, то абсолютное количество воды должно быть 2,2 грам. на одинъ килогр. воздуха и такъ называемое сгущеніе наступаетъ при давленіи 455 мм. и температурѣ — 13°6. С., когда ни дождь, ни градъ не могутъ образоваться, но происходитъ родъ перехода водяныхъ частицъ непосредственно изъ парообразнаго въ твердое состояніе. Этотъ очень интересный вопросъ не можетъ быть изслѣдованъ обстоятельнѣе въ настоящемъ трудѣ, но и сказаннаго довольно для выясненія полезности и весьма вѣроятной въ будущемъ необходимости Герцовскаго метода.

Потенціальная температура.

Въ своихъ недавно вышедшихъ очень важныхъ мемуарахъ ¹⁾ Гельмгольцъ ввелъ въ употребленіе новый терминъ „Wärmegehalt“, который мы можемъ передать словами „содержаніе тепла“, и величина котораго опредѣляется абсолютной температурой массы воздуха, приведенной къ нормальному давленію путемъ адиабатическаго процесса. Такъ какъ этимъ терминомъ обозначается температура, а не извѣстное количество, то фонъ Бецольдъ предложилъ замѣнить названіе „Wärmegehalt“ — терминомъ „Potentielle Temperatur“, или „потенціальная температура“. Бецольдъ приложилъ этотъ терминъ къ объясненію нѣкоторыхъ метеорологическихъ явленій и въ особенности такъ называемыхъ имъ псевдо-адиабатныхъ измѣненій. Этотъ методъ оказался очень важнымъ во всѣхъ вопросахъ, касающихся приложенія принциповъ термодинамики къ атмосфернымъ измѣненіямъ, неимѣющимъ исключительно адиабатическаго характера.

Какъ раньше доказано, въ восходящемъ воздушномъ потокѣ въ случаѣ наступившаго сгущенія адиабатическій процессъ можетъ имѣть мѣсто только тогда, когда дождь не выпадаетъ, а увлекается вмѣстѣ съ воздушнымъ потокомъ, пока

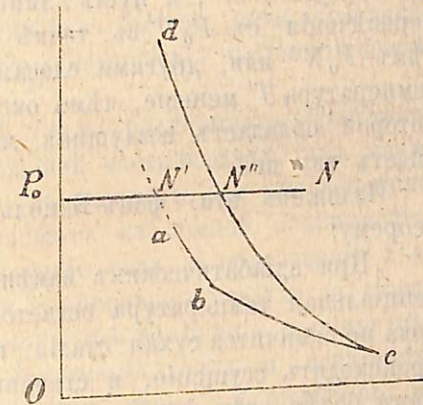
¹⁾ „Ueber Atmosphärische Bewegungen“, Sitz. ber. der. Berl. Akad., 1888

измѣненія въ давленіи снова не вызовутъ испаренія, и влага не перейдетъ обратно въ паръ. Въ томъ случаѣ, когда дождевыя капли, падая, оставляютъ воздушную массу, какъ обыкновенно и случается въ природѣ, процессъ измѣненія состоянія воздуха, если слѣдовать названію фонъ-Бецольда, псевдо-адиабатическій.

Фонъ-Бецольдъ объясняетъ понятіе потенциальной температуры графическимъ способомъ. При постоянномъ давленіи абсолютная температура пропорціональна объему или, по Бецольдовской діаграммѣ пропорціональна абсциссѣ OV .

Фонъ - Бецольдъ даетъ слѣдующее правило:

„Для какого нибудь даннаго состоянія, которое представлено точкой a на діаграммѣ (рис. 80) можно найти соответствующую потенциальную температуру, проведя адиабату черезъ a и найдя точку ея пересѣченія N' съ линіей P_0N , проведенной параллельно оси абсцисс на разстояніи P_0 отъ нея. Разстояніе этой точки пересѣченія отъ оси ординатъ, т.-е. абсцисса точки пересѣченія и дастъ величину потенциальной температуры“.



Фиг. 80.

Въ сухой стадіи потенциальная температура, соответствующая какой-нибудь опредѣленной точкѣ отправленія, имѣетъ постоянную величину, но въ стадіяхъ осадковъ потенциальная температура возрастаетъ сообразно съ количествомъ осадковъ, оставляющимъ воздушную массу.

Пусть на той же самой діаграммѣ (рис. 80) адиабата сухой стадіи, которая проходитъ черезъ a , пересѣкаетъ кривую росъ (не нарисована) въ b , и пусть продолжается дальнѣйшее расширение воздуха; тогда кривая состоянія bc будетъ лежать выше адиабаты (или псевдоадиабаты) дождевой или снѣговой

стади. Если теперь задача состоитъ въ томъ, чтобы найти потенциальную температуру для точки c (которой для простоты диаграммы на рисункѣ кончается кривая), то она найдется приведеніемъ къ нормальному давленію посредствомъ адиабатическаго процесса; затѣмъ путь этой адиабаты cd не пойдетъ обратно по линіи abc въ виду того, что вода выпала и такимъ образомъ для этой массы воздуха потеряна; нормальное давленіе будетъ достигаться идя по новой адиабатѣ cd сухой стадіи, соотвѣтствующей меньшему количеству пара, чѣмъ прежде.

Пусть точка, въ которой cd достигаетъ нормальнаго давленія, будетъ N'' , и пусть линія ab продолжена назадъ до пересѣченія съ P_0N въ точкѣ N' ; очевидно P_0N' меньше, чѣмъ P_0N или, другими словами, начальная потенциальная температура T' меньше, чѣмъ окончательная температура T'' , которой обладаетъ воздушная масса послѣ того, какъ вода уйдетъ изъ нея.

Изложивъ это, фонъ-Бецольдъ предлагаетъ слѣдующую теорему:

„При адиабатическихъ измѣненіяхъ влажнаго воздуха потенциальная температура остается неизмѣнной до тѣхъ поръ, пока не окончится сухая стадія; она возрастаетъ тогда, когда происходитъ сгущеніе, и степень возрастанія тѣмъ больше, чѣмъ болѣе воды теряетъ воздухъ“.

Короче, но болѣе обще выраженная эта теорема гласитъ.

„Адиабатическія измѣненія въ свободной атмосферѣ, исключая случай испаренія, оставляютъ потенциальную температуру безъ измѣненія или увеличиваютъ ее“.

Авторъ этой важной теоремы приводитъ въ параллель ей нѣсколько подобную, но неоднородную теорему Клаузиуса, касающуюся возрастанія энтропіи. Сравненіе это будетъ понятно, если обратимся къ 163 ст. сочиненія Клэрка Максвелла „Theory of Heat“ (6-ое изданіе 1880), гдѣ послѣ объясненія значенія термина энтропія, Максвеллъ приводитъ теорему Клаузиуса, гласящую, что энтропія системы всегда стемится къ максимуму.

§ 6. Вертикальный температурный градіентъ.

Тогда какъ горизонтальныя воздушныя теченія всегда подвергаются только въ малой степени термодинамическимъ измѣненіямъ, напротивъ вертикальные потоки испытываютъ огромныя измѣненія вслѣдствіе очень быстрого расширенія воздуха въ восходящихъ теченіяхъ и быстрого сжиманія въ нисходящихъ. Правда, что наклоненіе къ горизонтальной плоскости у обыкновенныхъ вѣтровъ очень незначительно для свободно текущаго воздушнаго потока, при чемъ измѣненіе въ высотѣ происходитъ постепенно, но существуетъ множество причинъ, обусловливающихъ почти вертикальныя теченія, при которыхъ подъемъ такъ быстръ, даже внезапно, такъ что весьма большія термодинамическія измѣненія совершаются почти сразу.

Измѣненія въ количествѣ тепла, полученнаго или отданнаго путемъ радіаціи, для большей части воздуха такъ малы, что могутъ не приниматься въ расчетъ, за исключеніемъ тѣхъ раіоновъ, которые прилежатъ къ земной поверхности, гдѣ перегрѣваніе почвы, испареніе росъ и образованіе льда сильно вліяютъ на измѣненія температуры воздуха, а также въ области тумана или облаковъ, гдѣ измѣненія происходятъ вслѣдствіе поглощенія или испусканія тепла и испаренія, которое непременно является при этомъ, и особенно въ верхнихъ частяхъ облаковъ. Обыкновенно измѣненія воздуха, движущагося въ вертикальномъ направленіи, рассматриваются, какъ адиабатическія, за исключеніемъ тѣхъ случаевъ, которые только что отмѣчены. Впрочемъ, даже въ этихъ раіонахъ, какъ указываетъ фонъ Бецольдъ, адиабатическое состояніе представляетъ родъ средняго между тѣми крайними состояніями, когда преобладаетъ поглощеніе или испусканіе тепла. Еще отмѣтимъ, что тѣ случаи, когда имѣется перевѣсъ испусканія тепла, должны рассматриваться отдѣльно отъ тѣхъ, когда замѣчается излишекъ въ количествѣ поглощаемаго тепла. Первые, какъ показано на рис. 78, случаются зимой или въ ночное время или въ холодномъ поясѣ, а послѣдніе происходятъ лѣтомъ, днемъ или въ тепломъ поясѣ.

Среднее или нормальное состояніе для восходящаго и

нисходящего воздушных потоков представлено на рис. 80. Здесь, как раньше установлено, *ac* представляет изменение состояния в продолжение всего подъема, часть *ab* относится к сухой стадии, *bc* находится в стадии сгущения, *cd* представляет состояние во время процесса опускания. Как видно, этот чертеж, чего и следовало ожидать, представляет близкое сходство с тем, где изображено явление фёнов, т. е. с чертежом 76-м. Однако существует и некоторая разница. Ветвь кривой *cd* на нормальном чертеже (рис. 80) длиннее, чем на диаграмме фёна, потому что при обмене, совершающемся между циклоном и антициклоном, конечная точка *d* у основания антициклона имеет большее абсолютное давление, чем в месте отправления в циклон, чего не бывает у фёнов. Так что процесс, совершающийся в последнем случае, представляет только часть процесса, который происходит в первом случае.

Обращаясь опять к нормальному чертежу (рис. 80) и пользуясь понятием о потенциальной температуре, Фонт-Бецольд напел:

1) „В восходящей ветви (*ac*) потенциальная температура возрастает непрерывно от начала сгущения, а в нисходящей ветви (*cd*) она остается постоянной, сохраняя максимальную величину, достигнутую в продолжение всего процесса. Maximum соответствует самой высшей точке, до которой достигает воздух при своем подъеме“.

2) „Потенциальная температура в высших слоях атмосферы вообще больше, чем в низших“.

Последняя теорема основывается на том, что в непрерывном обмене между циклонами и антициклонами потенциальная температура в нижних слоях представляет некоторую среднюю величину, стоящую между максимальной величиной T'' и наименьшей температурой T' в *a* у основания циклона, и эта средняя величина меньше, чем величина T'' в высшей точке *C*. Отсюда видно, что вертикальный температурный градиент, или понижение температуры с поднятием (например, на 100 метр.), в среднем меньше, чем 0.993°C . на 100 метров, как получено теоретическим путем для сухой стадии.

Мы обозначили через T потенциальную температуру и пусть теперь действительная температура представлена через t , пусть ta будет температура в *a*, у основания циклона, а td в точке *d* у основания антициклона. В сухой стадии температура ta не будет очень отличаться от Ta , ни td от Td , однако и здесь проявится небольшая разница на определенном протяжении. У основания циклона атмосферное давление pa меньше, чем нормальное давление, к которому относим потенциальную температуру, а у основания антициклона давление pd выше, чем нормальное давление. Следовательно, соответствующая ta меньше T' и td больше T'' , так как по приведении к нормальному давлению ta должно увеличиться, а td уменьшиться. Это рассуждение приложимо к хорошо развитым циклонам и антициклонам, когда нормальное давление находится между давлением обоих. Так как T'' больше чем T' , по причине большего давления в антициклоне, то td должно быть больше ta .

Если температура в *c* (или tc) получена из температуры в *a* (или ta), а температура в *c* (или tc) взята такая, как в *d* (или td), то мы получим полное падение температуры с движением для поднимающихся и опускающихся течений. Эта разность температур должна быть меньше для восходящего потока, так как мы только что доказали, что ta меньше td , по крайней мере в чисто адиабатическом процессе. Вертикальный градиент в стадии сгущения меньше, чем в сухой стадии. — Фонт-Бецольд устанавливает следующую теорему:

„Для чисто адиабатического подъема и опускания при начале стадии сгущения средний вертикальный температурный градиент в восходящей ветви всегда меньше, чем в нисходящей“.

Если восходящий и нисходящий потоки имеют место в одном и том же районе (т. е. очень близко один от другого), то температурный градиент воздуха будет содержаться между почти постоянным градиентом в нисходящей и изменяющимся градиентом в восходящей ветви течения. Надо помнить, что температура нисходящей ветви почти так же, как полученная теоретическим путем, между тем

какъ температура въ восходящей вѣтви измѣняется, въ зависимости отъ первоначальной температуры и количества воды, находящейся въ воздухѣ. Отсюда выводится слѣдующая теорема:

„Средній вертикальный температурный градіентъ при адиабатическомъ измѣненіи меньше для влажнаго воздуха, который достигаетъ точки насыщенія, чѣмъ для сухого“.

Это даетъ объясненіе дѣйствительныхъ отклоненій вычисленнаго для сухого воздуха градіента, которые, какъ показали наблюденія, существуютъ въ природѣ и при чисто адиабатическомъ измѣненіи. При разсматриваніи этихъ разнообразныхъ уклоненій отъ идеальнаго хода измѣненія состоянія, примѣненіе понятія „потенціальная температура“ приноситъ несомнѣнную пользу. Если принять терминъ „потенціальная температура“, то только что изложенныя положенія должны быть выражены такъ:

„Если потенциальная температура постоянна во всѣхъ разсматриваемыхъ слояхъ, то вертикальный температурный градіентъ будетъ равняться теоретическому“.

„Если потенциальная температура въ верхнихъ слояхъ воздуха выше, чѣмъ въ нижнихъ, какъ обыкновенно случается, то температурный градіентъ меньше, и меньше настолько, насколько разница въ потенциальной температурѣ больше для данной разницы высотъ“.

Теперь, если нижніе слои становятся замѣтно холоднѣе, „потенціальная температура“ уменьшается и, слѣдовательно, соотвѣствующій температурный градіентъ уменьшается и можетъ даже сдѣлаться, до нѣкоторой высоты отрицательнымъ; тогда нижніе слои становятся холоднѣе, чѣмъ верхніе, и мы получаемъ случай обращенія температуры, которое дѣйствительно наблюдается въ природѣ, являясь предметомъ многихъ несогласій относительно правильнаго объясненія.

Такое значительное охлажденіе низшихъ слоевъ воздуха происходитъ во время наибольшей потери тепла, которая замѣчается въ безоблачномъ раіонѣ антициклона, а также въ зимнюю или ночную пору, когда вообще вертикальный температурный градіентъ меньше, чѣмъ лѣтомъ или днемъ. — Это уменьшеніе или даже обращеніе температурнаго гра-

діента легко обнаруживается въ горныхъ областяхъ путемъ сравненія наблюденій, сдѣланныхъ на горныхъ вершинахъ и на сосѣднихъ станціяхъ у основанія горъ, для равнинъ же могутъ быть выведены изъ наблюденій, на воздушныхъ шарахъ. Вѣроятно, что большая доля истины заключается въ предположеніи проф. Воейкова ¹⁾, касательно существованія этого обращенія температурнаго градіента въ большихъ зимнихъ антициклонахъ Восточной Сибири; но онъ заходитъ, по моему мнѣнію, слишкомъ далеко, настаивая на принятіи его гипотезы за основаніе при употребленіи термометрическихъ данныхъ для построенія изотермъ этого раіона.

Дѣйствительное вліяніе лучеиспусканія тепла на уменьшеніе или обращеніе температурнаго градіента требуетъ болѣе тщательнаго изслѣдованія; особенно важно разсмотрѣніе вертикальныхъ разницъ температуры въ ясную и облачную погоду.

Зюрингъ сдѣлалъ интересное сообщеніе ²⁾ по данному вопросу, гдѣ онъ изслѣдуетъ наблюдаемый температурный градіентъ въ ясную и облачную погоду на германской горной станціи въ Шнеекоппе, и на французской въ Пюи-де-Домъ, а также на вспомогательныхъ станціяхъ у основанія этихъ горъ. Онъ нашелъ, что вообще во время дневныхъ измѣненій разность между температурными градіентами въ ясную и облачную погоду очень велика раннимъ утромъ (въ 6 или 7 ч. до полудня) и мала въ полдень. Въ ясную погоду раннимъ утромъ замѣчается малое пониженіе температуры на умѣренной высотѣ; весною и лѣтомъ его почти нѣтъ, а осенью и зимой замѣчается даже стремленіе къ обратному. Только въ теплое время года и въ полдень замѣчается болѣйшій градіентъ въ ясную, чѣмъ въ облачную погоду. Градіентъ очень рѣдко превышаетъ 1°С. на 100 мет. и то лишь случается въ грозовые дни.

Слѣдующая маленькая таблица, составленная для германскихъ обсерваторій Шнеекоппе и Эйхбергъ (Schneekoppe —

¹⁾ Met. Zeitschrift, Band. 1. p. 443.

²⁾ R. J. Süring: Die verticale Temperaturabnahme in Gebirgsgegenden in ihrer Abhängigkeit von Bewölkung. Inauguraldissertation der Universität Berlin. Leipzig, 1890.

Eichberg = 1,252 м.) даетъ суточный ходъ градіента въ среднемъ за годъ:

	Ясно.	Облачно.
7 ч. по пол. . .	0·24°C.	0·58°C.
2 ч. по пол. . .	0·73.	0·70.
9 ч. по пол. . .	0·26.	0·58.
Среднее	0·36°C.	0·61°C.

Амплитуды колебаній были для Германіи: въ ясные дни 0·49°C., въ облачные дни 0·12°C. — для дневныхъ измѣненій, и въ ясные дни—0·53°C., въ облачные дни 0·13°C. — для годовыхъ измѣненій. Мы замѣчаемъ сходство между дневнымъ и годовымъ измѣненіями, какъ вывелъ и фонъ-Бецольдъ въ своемъ теоретическомъ разсужденіи.

Фонъ-Бецольдъ полагаетъ, что на океанѣ также температурные градіенты уменьшаются или обращаются даже во время сильнѣйшаго лучепоглощенія вслѣдствіе быстрого испаренія въ связи съ движеніемъ воды; въ этомъ онъ усматривалъ причину постоянного Атлантическаго циклона лѣтомъ.

Такъ какъ притокъ тепла идетъ слишкомъ быстро и градіентъ превосходитъ свою теоретически вычисленную величину, то на короткое время наступаетъ состояніе, которое Рейе (Reye) и другіе приписывали вихрямъ и штормамъ.

Вопросъ о постоянномъ сохраненіи градіента меньшаго, чѣмъ найденный теоріей, въ районѣ восходящихъ теченій подлежитъ особому анализу.

Обыкновенно теоріи циркуляціи воздуха основываются на той гипотезѣ, что восходящій воздухъ претерпѣваетъ только адиабатическія измѣненія, что онъ не представляетъ смѣси изъ воздуха различной температуры или содержанія влаги, и что вся его масса принимаетъ участіе въ обмѣнѣ между циклономъ и антициклономъ на протяженіи всего кругооборота, начиная отъ почвы до предѣла атмосферы. Въ природѣ между тѣмъ только незначительная часть воздуха, принимающаго участіе въ циркуляціи, дѣйствительно достигаетъ почвы или поднимается къ самому верху системы воздушныхъ те-

ченій. Въ дѣйствительности воздухъ увлекается восходящимъ вихремъ изъ смежныхъ районовъ во все продолженіе подъема, а этотъ воздухъ находится въ тѣхъ условіяхъ, которыя опредѣляются его положеніемъ, и можетъ не подвергаться возмущающимъ вліяніямъ радіаціи тепла и притока влаги съ земной поверхности. Этотъ воздухъ, если онъ выходитъ изъ верхней части антициклона, обладаетъ высшей потенціальной температурой и высшей абсолютной температурой, чѣмъ восходящій воздухъ, съ которымъ онъ смѣшивается въ циклонѣ; въ такомъ случаѣ охлажденіе этого послѣдняго воздуха замедляется, и начало сгущенія запаздываетъ вслѣдствіе того, что воздухъ, притекающій изъ антициклона, содержитъ меньше воды.

Мы видимъ, что ниже облачнаго слоя, въ районѣ восходящихъ воздушныхъ массъ циклона, температурный градіентъ не превышаетъ тотъ, который получается на основаніи закона адиабатическаго измѣненія сухой стадіи для случая отсутствія смѣшенія съ прибавочными воздушными массами. Въ нисходящемъ потокѣ антициклона то же положеніе оказывается истиннымъ, но не въ такой степени, потому что большая часть воздуха, которая въ верхней его половинѣ притекаетъ въ него сверху изъ циклона, не достигаетъ высшихъ слоевъ, относящихся къ циклону и, слѣдовательно, не подчиняется максимуму вліяній сгущенія и не достигаетъ maximum'a „потенціальной температуры“. Такъ что въ дѣйствительности условія подъема и спуска уклоняются нѣсколько отъ схематическаго изображенія, сейчасъ даннаго, и болѣе приближаются къ среднему условію, составленному на основаніи разсмотрѣнія восходящихъ и нисходящихъ теченій, какъ составныхъ частей одной и той же системы. Какъ примѣръ этого приводится фонъ Бецольдомъ тотъ фактъ, что для не очень большихъ высотъ наблюденный даже въ пасмурную погоду температурный градіентъ часто бываетъ ниже градіента, вычисленнаго для сухой стадіи.

Во время циркуляціи первоначальное тепло, съ которымъ воздухъ въ циклонѣ начинаетъ свое теченіе вверхъ, увеличивается на счетъ того тепла, которое освобождается во время имѣющаго тамъ мѣсто процесса сгущенія; послѣднее принимаетъ

участіе въ работѣ расширенія, и это является причиной уменьшенія дѣйствительнаго охлажденія. Если у основанія антициклона воздухъ холоднѣе, чѣмъ слѣдовало бы при адиабатическомъ измѣненіи, и даже въ случаѣ обращенія температурнаго градіента все-таки температура въ этой конечной точкѣ выше, чѣмъ была бы, еслибы воздухъ прямо скользилъ вдоль горизонтали отъ основанія циклона до этой точки, не подвергаясь измѣненіямъ, происходящимъ отъ измѣненія высоты. Тѣ мѣста, въ которыхъ нисходящее теченіе достигаетъ земной поверхности, получаютъ, слѣдовательно, все тепло сгущенія, т.-е. освободившуюся скрытую теплоту. Этотъ принципъ строго выведенъ фонъ-Бецольдомъ, который приравниваетъ весь процессъ къ тому, который происходитъ въ аппаратѣ пароваго отопленія. Влажный воздухъ въ циклонѣ восходитъ и охлаждается до тѣхъ поръ, пока не вступитъ въ стадію сгущенія; въ ней охлажденіе замедляется, вслѣдствіе того что освободившееся тепло испаренія прилагается въ помощь на производство работы расширенія, такимъ образомъ сбереженное тепло не теряется и при спускѣ въ антициклонѣ даетъ себя чувствовать повышеніемъ температуры у основанія этого послѣдняго.

Фонъ-Бецольдъ предлагаетъ назвать „сложной конвекціей“ эту циркуляцію, т. е. такую циркуляцію, въ которой во время перемѣщенія нагрѣваемыхъ или охлаждающихся массъ, происходитъ дѣйствительное измѣненіе агрегатнаго состоянія, такую, при которой пары образуются въ одномъ мѣстѣ и осаждаются въ другомъ выпадаютъ въ видѣ снѣга и града. Пользуясь этимъ опредѣленіемъ, фонъ-Бецольдъ составилъ слѣдующую теорему:

„Слѣдствіемъ „сложной конвекціи“ является то обстоятельство, что температура въ антициклоническомъ районѣ всегда выше, чѣмъ была бы въ случаѣ простого переноса тепла“.

Примѣняя этотъ выводъ къ условіямъ, имѣющимся въ тепломъ поясѣ (слово взято въ широкомъ смыслѣ), надо замѣтить, что анализъ общей циркуляціи и распредѣленія давленія показалъ, что какъ разъ за тропиками лежатъ кольца высокаго давленія, а между ними находится полоса затишья. Согласно условіямъ, господствующимъ въ этихъ кольцахъ,

какъ доказываетъ вышеизложенная теорема, температура тамъ должна быть гораздо выше вслѣдствіе „сложной конвекціи“, чѣмъ было бы, еслибы только сухой воздухъ входилъ въ циркуляцію или еслибы не существовало вертикальных теченій.

Этому обстоятельству обязанъ теплый поясъ своими значительными размѣрами и уменьшеніемъ разностей въ температурѣ отдѣльныхъ своихъ частей. Въ полосѣ затишья расходъ тепла на испареніе, облачный покровъ, защищающій отъ солнечной радіаціи и выпаденіе воды изъ болѣе холодныхъ районѣвъ—вотъ комбинаціи, которыя мѣшаютъ температурѣ достигать чрезмѣрныхъ предѣловъ, такъ какъ тепло, идущее на испареніе воды съ земной поверхности, является опять въ районѣ облаковъ, въ видѣ освобождающагося во время сгущенія тепла, и уменьшаетъ охлажденіе восходящихъ потоковъ и снова проявляется въ двухъ окружающихъ поясахъ нисходящихъ потоковъ.

Практическое приложеніе идей, такъ искусно развитыхъ фонъ-Бецольдомъ, вѣроятно, повлечетъ за собой значительныя измѣненія въ принятомъ объясненіи атмосферныхъ измѣненій, зависящихъ отъ термо-динамическихъ причинъ. Мы узнали теперь, что нисходящій пассатъ, охлаждаясь, отлагаетъ въ болѣе высокихъ широтахъ пары, которые взяты изъ полосы затишья; если же бы вода, поднимавшаяся вверхъ въ полосѣ затишья, была бы должна выпасть здѣсь въ видѣ тропическихъ дождей, то воздухъ пассата, ставши суше, долженъ былъ бы нагрѣться при нисхожденіи сравнительно съ начальною температурою.

§ 7. Смѣсь воздуха.

Со времени появленія знаменитой теоріи дождя Гуттона ¹⁾ (Hutton) до очень недавняго времени механическое смѣшеніе воздушныхъ массъ разной температуры и влажности была разсматриваема, какъ причина, обуславливающая многія явленія, которыя теперь объясняются на основаніи чисто ди-

¹⁾ Edinburgh Transactions, e.c. 1778.

намических причин. Критика Эспи (Espy), обнародованная в средине столетия, не обратила на себя внимания, которая заслуживала, и мы должны были ждать еще четверть века, пока было признано действительное значение динамических изменений. В сочинении Ветштейна (Wettstein)¹⁾ мы находим противоположный крайний взгляд, что механическое смешение масс воздуха никогда не может быть причиной сгущения пара и образования дождей, и что все явления объясняются целиком, как результат динамических изменений; это также неверно, но все же не так далеко от истины, как Гуттонова теория. Ганн²⁾, кажется, был первый из метеорологов, который сопоставил эти две теории и сделал оценку их относительной важности; он полагает, что хотя механическое смешение может способствовать образованию осадков, но влияние его недостаточно сильно, чтобы принимать его за причину всего количества осадков, действительно наблюдаемых, и которые динамическая теория не может объяснить. Он был готов принять соединенное действие обоих процессов, при чем последний должен превосходить первый по своей важности. Недавний математический разбор вопроса о смешении воздуха и пара, предложенный Пернтером (Pernter)³⁾ пролил много света на эти процессы, а затѣм один из мемуаров фонъ-Бецольда по термодинамике представил полную теорию их. Сейчас мы рассмотрим некоторые вопросы, затрагиваемые в этих мемуарах.

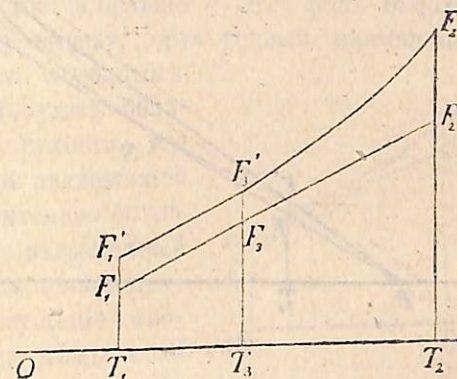
Исследование смешения масс воздуха фонъ Бецольда.

Результатом движений масс воздуха, одних в вертикальном, других в горизонтальном направлении, является постоянное перемешивание воздушных масс, обладающих очень разной температурой и различной степенью влажности. Барометрическое давление в действительности одина-

¹⁾ Vierteljahrsschrift der Naturforsch. Gesellschaft. Zürich. 1869.
²⁾ Oesterreichische Zeitschrift für Meteorologie, 1874.
³⁾ Oesterreichische Zeitschrift für Meteorologie, 1882.

ково для всех масс воздуха, если они находятся на одной высоте, и это равенство очень упрощает дело изучения процесса и результатов смешения воздушных масс.

Отношения сложных воздушных масс и получение окончательной смеси хорошо представлено фонъ Бецольдом с помощью диаграммы. На рис. 81-м температуры откладываются по горизонтальным линиям — абсциссам, а количество паров — по вертикальным линиям — ординатам. Начало координат O , находится на левой стороне чертежа. OT_1 есть температура, TF_1 — количество пара в одной из смешивающихся воздушных масс; OT_2 — температура, а T_2F_2 — количество пара в другой составляющей. Тогда количество пара и температура воздушной смеси изобразится координатами точки F_3 , лежащей на прямой F_1F_2 . Пусть T_1F_1' , T_2F_2' , T_3F_3' соответственные количества паров, необходимые для того, чтобы вполне насытить обе составляющие массы в отдельности и смесь. Линия $F_1'F_2'F_3'$ — кривая линия, потому что количество пара, необходимое для насыщения, возрастает быстрее чем температура, и эта линия называется кривой насыщения при одинаковом давлении воздушных масс.

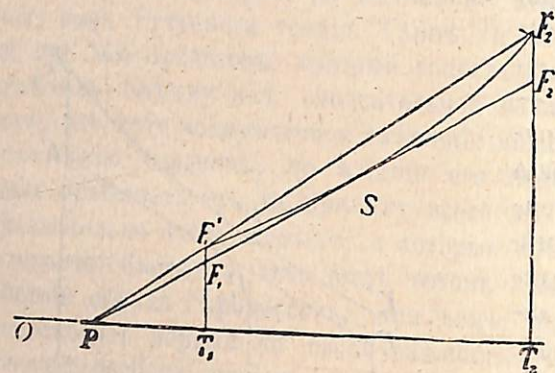


Фиг. 81.

Ясно видно, что прямая линия $F_1F_2F_3$, будучи достаточно продолжена в обе стороны, в начале приближается, а затѣм удаляется от кривой $F_1'F_2'F_3'$, в зависимости от температуры и влажности обеих составляющих воздушных масс. Очевидно также, что линия F_1F_2 не коснется и не пересечет кривой $F_1'F_2'$ до тех пор, пока действительное количество имеющейся влаги не сделается равным количеству необходимому для насыщения; когда же он пе-

ресѣются, то наступаютъ разнообразныя явленія сгущенія и осажденія, зависящія отъ длины отрѣзка дуги.

Естественно рождается вопросъ, какое количество влаги необходимо должно заключаться въ одной или обѣихъ составныхъ частяхъ воздушной смѣси при данныхъ температурахъ для того, чтобы получилось насыщеніе? Фонъ-Бецольдъ напелъ вспомогательное средство для рѣшенія этого вопроса, опредѣливъ minimum пропорціи смѣси, необходимой для сгущенія, если обѣ составныя части обладаютъ одной и той же



Фиг. 82.

относительной влажностью. Въ этомъ случаѣ, какъ показано на рис. 82-мъ, линія F_2F_1 , продолженная до пересѣченія съ осью температуръ, встрѣчается съ продолженіемъ линіи $F_2'F_1'$ въ P . Если при одинаковой влажности составныхъ частей получится смѣсь, въ которой происходитъ насыщеніе, то прямая линія PF_1F_2 должна прикоснуться къ кривой насыщенія $F_1'F_2'$ въ нѣкоторой точкѣ S ; и точка касанія S показываетъ прямо температуру смѣси, при которой происходитъ насыщеніе. Изъ діаграммы можно видѣть, что относительная влажность смѣси должна превышать относительную влажность по крайней мѣрѣ одной изъ смѣшиваемыхъ воздушныхъ массъ, еслибы и не получилось сгущеніе.

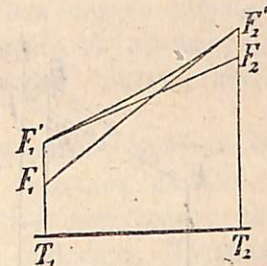
Теперь можетъ возникнуть вопросъ о предѣльной величинѣ относительной влажности въ одной изъ смѣшивающихся воздушныхъ массъ, если величина влажности другой дана, для того, чтобы получить сгущеніе въ смѣси.

Предположимъ, что относительная влажность болѣе холодной составной части массы — 100, т.-е. насыщеніе полное; затѣмъ, если на рис. 83-мъ $F_1'F_2'$ проведена касательная

къ кривой насыщенія $F_1'F_2'$, то точка F_2 даетъ искомый minimum влажности, необходимой для болѣе теплой составной части, чтобы получилась насыщенная смѣсь, а сгущеніе произойдетъ въ количествѣ пропорціональномъ высотѣ точки F_2'' дающей дѣйствительную влажность въ болѣе теплой части, надъ точкой пересѣченія F_2 .

Если была насыщена болѣе теплая часть, то, проведя линію $F_2'F_1$ касательно въ F_2' къ кривой насыщенія, найдемъ, что точка F_1 покажетъ minimum количества влажности, нужной для болѣе холодной составной части, чтобы получилась насыщенная смѣсь.

Замѣчая, что F_1F_1' всегда больше F_2F_2' , фонъ-Бецольдъ пришелъ къ слѣдующему выводу: если теплый насыщенный воздухъ смѣшивается съ холоднымъ, то если даже послѣдній будетъ обладать высокой степенью сухости, все же сгущеніе настѣпнть при надлежащей пропорціи смѣси. Дѣйствительно опытъ показываетъ, что если насыщенный теплый воздухъ смѣшать съ ненасыщеннымъ холоднымъ, то сгущеніе происходитъ гораздо легче, чѣмъ если насыщенный холодный воздухъ смѣшанъ съ ненасыщеннымъ теплымъ.

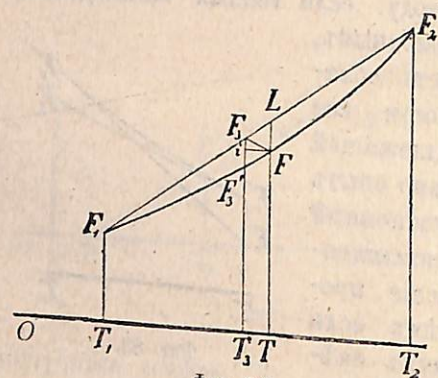


Фиг. 83.

Струя насыщеннаго теплаго воздуха проникая въ массу холоднаго воздуха, сопровождается болѣе сильнымъ сгущеніемъ, чѣмъ если струя насыщеннаго холоднаго воздуха входитъ въ массу теплаго воздуха. Это положеніе хорошо иллюстрируется примѣромъ раскрытыхъ дверей въ прачешную въ холодный день и въ ледникъ въ теплый день. Въ первомъ случаѣ туманъ образуется тотчасъ же, а въ послѣднемъ его нѣтъ.

Если точка F_3 (см. фиг. 81) находится надъ линіей насыщенія, то нѣкоторое количество воды сгущается въ дождь и обыкновенно выпадаетъ. Прежде предполагали, что вся вода, представленная отрѣзкомъ F_3F_3' , выпадаетъ въ видѣ дождя, но сравнительно недавнія изслѣдованія, особенно Ветштейна и Ханна, измѣнили это мнѣніе и показали, что дѣйствительное

количество дождевых осадков бывает меньше этого количества. Причина этого та, что сейчас вслѣдъ за смѣшиваніемъ вода можетъ прійти въ состояніе пересыщенного пара и что, когда дѣйствительное сгущеніе начинается, то освободившееся тепло повышаетъ температуру и вслѣдствіе этого способность воздуха поглощать влагу нѣсколько увеличивается. Графическое изображеніе этого случая дано на рис. 84-мъ, гдѣ предъидущее буквенное обозначеніе сохраняетъ тотъ же смыслъ. Здѣсь T — повысившаяся температура смѣси, а F соответствующая точка на кривой насыщенія. Такимъ образомъ F_3 есть количество дѣйствительной потери воды ¹⁾. Особенно



Фиг. 84.

интересно знать условія, при которыхъ двѣ воздушныя массы извѣстной температуры и влажности должны быть смѣшаны, чтобы дать максимумъ осадковъ. Это произойдетъ тогда, когда линія $F_3 F$ достигнетъ максимальной величины, т. е. слѣдовательно тогда, когда касательная къ кривой въ F параллельна линіи $F_1 F_2$. Когда найдено это F для максимумъ а осадковъ, то проводится линія черезъ него параллельно линіи FF_3 , какъ показано на диаграммѣ, и пересѣченіе съ линіей FF_2 въ точкѣ F_3 показываетъ максимумъ осадковъ и найдя это F_3 , сразу получимъ T_3 , а, слѣдовательно, $T_1 T_3$ и $T_3 T_2$ (см. предъидущую выноску при опредѣленіи направленія FF_3).

¹⁾ Линія $F_3 F$ проведена такъ черезъ F_3 , что образуетъ съ OF_3 уголъ $\arctg \frac{1000c}{r}$ гдѣ c теплоемкость влажнаго воздуха, а r тепло испаренія. Котангесъ этого дѣла или $\frac{r}{1000c}$ можетъ быть замѣненъ черезъ 2.5 для температуръ выше точки замерзанія или 0°C ., для температуръ ниже 0°C величина его доходитъ до 2.9.

Фонъ-Бецольдъ составилъ маленькую табличку (приложена къ его сочиненіямъ), показывающую измѣненія, являющіяся результатомъ нѣкоторыхъ избранныхъ видовъ воздушныхъ смѣсей. Оказалось, что существуетъ много случаевъ, когда при сухости холодной воздушной части массы сгущеніе не происходитъ, и вполне доказано на основаніи выводовъ Ханна и Пернтера насколько незначительно количество осадковъ, дѣйствительно являющихся слѣдствіемъ единственно процесса механической смѣси воздуха.

Процессъ образованія осадковъ.

Причины, обусловливающія сгущеніе водянаго пара въ атмосферѣ, слѣдующія: непосредственное охлажденіе черезъ соприкосновеніе съ холодными тѣлами или черезъ излученіе; адиабатическое расширеніе или расширеніе съ малымъ притокомъ тепла и смѣшеніе влажныхъ массъ воздуха, имѣющихъ разную температуру.

По степени своего вліянія на образованіе дѣйствительныхъ осадковъ эти различные процессы слѣдуютъ въ томъ же порядкѣ, въ какомъ они здѣсь даны. Это показываетъ слѣдующій приведенный фонъ-Бецольдомъ примѣръ. Предположимъ, что при барометрическомъ давленіи въ 700 мм. смѣшиваются двѣ массы насыщеннаго воздуха, причемъ одна масса съ температурой 0°C ., а другая съ температурой 20°C . Наибольшее количество дождя, возможнаго изъ этой смѣси 0.75 грам. на килограммъ воздушной смѣси съ паромъ; при его выдѣленіи теплый воздухъ охлаждается до 11°C . Чтобы получить это самое количество дождя изъ теплаго воздуха единственно путемъ адиабатическаго охлажденія было бы необходимо понизить температуру съ 20°C . до 18.4°C , что можно выполнить заставивъ воздухъ течь вверхъ на высоту 410 метр. Если теплый воздухъ въ 20°C . охладится до температуры 19°C черезъ прикосновеніе къ холодному тѣлу или вслѣдствіе потери тепла путемъ радіаціи, то получится тоже самое количество дождя.

Въ дѣйствительности или всѣ эти процессы или любые два могутъ случиться разомъ, но очевидно, что процессъ смѣ-

шенія оказываетъ очень малое вліяніе при образованіи дождя, и то лишь при большой разности температуръ и при высокой относительной влажности.

Съ другой стороны непосредственное охлажденіе воздуха черезъ прикосновеніе съ холодными тѣлами или черезъ радіацію весьма важно, и очень слабого охлажденія происходитъ этимъ путемъ достаточно, чтобы произвести дождь. Нерѣдко однако обнаруживается состояніе пересыщенія, ранѣе чѣмъ начинается переходъ паровъ въ настоящій дождь. Это предположеніе Ханна было подтверждено изысканіями Айткена, Кулье, Маскара, Кислинга и Роберта Гельмгольца по вопросу о влажности воздуха.

Лабораторными опытами найдено, что если воздухъ совершенно свободенъ отъ частицъ пыли, то онъ можетъ пересытиться влагой, но если ввести туда мелкія пылинки, то внезапно произойдетъ осажденіе влаги; повидимому электрическіе разряды производятъ тоже самое дѣйствіе. Еще не мало труда выпадетъ на долю экспериментаторовъ, прежде чѣмъ изучены будутъ вполне эти интересныя явленія.

То предположеніе, что внезапные дожди, при которыхъ въ короткое время выпадаетъ значительное количество воды, являются результатомъ пересыщенія, — весьма вѣроятно; но невозможно допустить, чтобы большія массы воды, низвергающіяся при ливняхъ, обуславливались единственно имъ. Для подержанія ихъ на высотѣ должна существовать сила, получаемая отъ восходящихъ воздушныхъ потоковъ. Помимо дѣйствительнаго количества осадковъ, происходящихъ отъ только что упомянутой причины, вліяніе ея на образованіе облаковъ и тумана должно быть тщательно изслѣдовано. Образованіе облаковъ предшествуетъ появленію осадковъ и является результатомъ тѣхъ же условій, а разсѣяніе тумана или облака происходитъ при обратныхъ условіяхъ: при непосредственномъ нагрѣваніи черезъ соприкосновеніе съ теплыми тѣлами или черезъ радіацію, при адиабатическомъ сжатіи безъ убыли тепла и при смѣшеніи съ другими воздушными массами обладающими иною температурой и малою влажностью.

Непосредственное охлажденіе и нагрѣваніе вызываютъ образованіе и разсѣяніе тумана, начиная отъ земной поверх-

ности вверхъ. Почва охлаждается вслѣдствіе излученія тепла, и воздухъ, прикасающійся къ ней, становится холоднымъ, тогда начинается сгущеніе; затѣмъ охлаждаются ближайшіе воздушные слои, и такимъ образомъ сгущеніе распространяется дальше. Процессъ образованія тумана идетъ отъ земли вверхъ, а разсѣяніе его происходитъ въ обратномъ направленіи. Причина того, что не бываетъ значительныхъ осадковъ въ результатѣ этого охлажденія, заключается въ томъ, что дальнѣйшее образованіе въ высшихъ слояхъ тумана не допускаетъ дальнѣйшаго излишняго охлажденія нижнихъ слоевъ путемъ задержки лучеиспусканія. Сгущеніе, какъ слѣдствіе прямой радіаціи, можетъ случиться въ верхнихъ слояхъ атмосферы только тогда, когда тамъ есть уже облака, явившіяся результатомъ одного изъ другихъ процессовъ, или благодаря присутствію въ воздухѣ дыма или какой нибудь пыли.

Фонъ-Бецольдъ представляетъ образованіе и разсѣяніе облаковъ въ ихъ верхнихъ предѣлахъ, особенно слоистыхъ облаковъ, подобными только что описаннымъ процессамъ образованія и разсѣянія тумана вблизи земной поверхности. Потеря тепла черезъ излученіе способствуетъ образованію, а пріобрѣтеніе тепла отъ солнечныхъ лучей дѣйствуетъ разсѣивающимъ образомъ.

Въ лѣтнее время появленіе кучевыхъ облаковъ съ горизонтальнымъ основаніемъ, грозовыхъ тучъ и дождевыхъ облаковъ является результатомъ адиабатическаго расширенія, происходящаго въ восходящемъ воздушномъ потокѣ, а ихъ разсѣяніе слѣдуетъ за сжатіемъ, которое происходитъ въ нисходящемъ воздушномъ потокѣ.

Очевидно, что въ случаѣ, когда охлажденіе или нагрѣваніе совершаются непосредственно, образованіе и разсѣяніе облаковъ являются сравнительно простымъ постепеннымъ процессомъ, но если они происходятъ, какъ слѣдствіе смѣшиванія, то процессъ становится болѣе сложнымъ. Сгущенія не будетъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ достигнута послѣдняя степень охлажденія путемъ процесса смѣшенія; подобнымъ же образомъ замедляется разсѣяніе.

При дыханіи на холодномъ воздухѣ выдыхаемый воздухъ бываетъ насыщенъ, при выходѣ изъ рта и носа, по сгущенію

въ туманъ совершается только въ томъ случаѣ, если окружающая среда достаточно холодна, а затѣмъ при дальнѣйшемъ смѣшеніи съ сухимъ (хотя холоднымъ) воздухомъ, туманъ разсѣвается. По тщательномъ разборѣ условій смѣшенія воздушныхъ массъ, фонъ-Бецольдъ показалъ, что если насыщенный холодный воздухъ смѣшать съ большими массами насыщеннаго теплаго воздуха, то нагрѣваніе смѣси сначала будетъ совершаться быстро, а затѣмъ медленнѣе; наоборотъ, если холодный воздухъ въ избыткѣ, то смѣсь будетъ охлаждаться болѣе быстро въ концѣ процесса. Подобное же измѣненіе господствуетъ тогда, когда количество сгущенной влаги значительно, а максимумъ получается тогда, когда имѣется избытокъ холодной массы въ воздухѣ.

„Сгущеніе наступаетъ быстрѣе, если струя холоднаго влажнаго воздуха вводится въ массу теплаго воздуха, чѣмъ если струя теплаго влажнаго воздуха входитъ въ большую массу холоднаго воздуха“.

Вотъ виды тумана и облаковъ, разсматриваемые фонъ-Бецольдомъ, какъ результатъ смѣси воздушныхъ массъ, имѣющихъ разную температуру и влажность:

1) Туманъ, образующійся вслѣдствіе присутствія холоднаго воздуха надъ теплою влажною поверхностью, какъ, напр., туманы на поверхности океана въ холодное время года.

2) Облака, которыя образуются на границѣ двухъ воздушныхъ потоковъ, движущихся съ разною скоростью; они формируются въ видѣ правильныхъ рядовъ облаковъ, какъ результатъ волнообразнаго движенія, впервые отмѣченнаго Гельмгольцемъ и названнаго имъ Luftwogen и адиабатическаго сгущенія на гребняхъ воздушныхъ волнъ.

3) Слоистыя облака, образующіяся на такой раздѣльной поверхности между воздушными потоками различной скорости и состоянія, и которыя вначалѣ часто имѣютъ форму атмосферныхъ волнъ (Luftwogen), но впослѣдствіи сливаются.

4) Знаменообразныя облака, которыя образуются и таковы, что теплыя или холодныя массы воздуха сталкиваются съ теченіями, обладающими иной температурой и проникающими въ нихъ или текущими по нимъ.

5) Разорванныя или блуждающія облака, которыя являются при сильныхъ вѣтрахъ, особенно во время грозъ и которыя подвергаются постоянной перемѣнѣ формы.

Хотя комбинаціи трехъ вышеупомянутыхъ процессовъ, вліяющихъ на образованіе облаковъ, могутъ произвести виды облаковъ, которые невозможно причислить къ какому нибудь изъ этихъ родовъ, какъ и показали наблюденія, однако, вѣроятно, что правильное изученіе фізіологіи облаковъ можетъ быть начато только тогда, когда, на основаніи этихъ простыхъ процессовъ, будутъ изучены причины образованія ихъ. Если извѣстно изъ наблюденій внѣшности самихъ облаковъ при какихъ именно условіяхъ облака образовались, то, вѣроятно, можно опредѣлить, какая причина имѣла наибольшее значеніе въ ихъ образованіи.

Изучая причины особенностей видовъ облаковъ, фонъ-Бецольдъ справедливо замѣчаетъ, что не должно придавать слишкомъ много значенія лабораторнымъ экспериментамъ, которые съ пользою служатъ для того, чтобы показывать направленія воздушныхъ движеній, но которые не принимаютъ въ расчетъ физическихъ измѣненій, имѣющихъ, какъ сейчасъ доказано, громадное значеніе въ построеніи облаковъ. Напримѣръ, великолѣпные эксперименты Феттина (Vettin) съ облаками изъ дыма очень полезны для опредѣленія движенія воздуха, но воздуха ненасыщеннаго, а это такое условіе, при которомъ облака или туманъ вовсе не образуются. Весьма возможно, что эксперименты надъ образованіемъ облака со временемъ будутъ производиться на открытомъ воздухѣ въ связи съ попытками вызванія искусственнаго дождя, которые и теперь уже получили правительственную и частную поддержку но до сихъ поръ не увѣнчались успѣхомъ.

Невозможно точно объяснить движеній облаковъ, пока не изслѣдованы процессы ихъ образованія. Недавнія изысканія Клейтона (Clayton) въ Обсерваторіи Blue Hill (А. С. Ш. Массачусетсъ) прекрасно это доказали и въ подтвержденіе этого можно привести много давно и хорошо извѣстныхъ случаевъ изъ явленій феновыхъ облаковъ, столовой скатерти на Столовой горѣ, дымообразныхъ облаковъ на Цейлонѣ и пр.

ГЛАВА IV.

Общая циркуляция атмосферы.

§ 1. Развитие новейших теорий главных атмосферных движений.

Исторический очерк.

Беспословная изменчивость ветров, особенно в широтах, занимаемых культурными народами, казалось бы, должна свидетельствовать о крайней трудности найти законы, управляющие атмосферными движениями. Но так как сведения, касающиеся ветров, собирались в различных частях земного шара, особенно мореплавателями, то узвано было, что существуют районы, где ветры не постоянно изменчивы; капитаны морских судов нашли даже, что раз их корабли попали в полосу регулярных ветров, они могут довериться этим последним также, как мы теперь доверяемся парю. Эти ветры, „пассаты“, как их стали называть, оказались столь регулярными, что заставили физиков придти к заключению о некоторых постоянных законах, которыми управляются они. Англичанин Гадлей (Hadley), которого заслуги уже редко вспоминаются в настоящее время, напечатал небольшую статью в „Philosophical Transactions“ в 1735 г., где он развил теорию „пассатов“, и его объяснение тогда показалось столь верооятным, что принималось без возражений в течение целого столетия.

Теория Гадлея была достойна того высокого уважения, которое ей оказывали, потому что в сущности она настолько близка к истине, насколько позволяли знания того времени. Гадлей напел, что огромная разница температур в тропических и полярных странах является первою причиною больших атмосферных течений, и объяснил наблюдаемые перемѣны их направленія, вліаніемъ вращенія земного шара.

По Гадлею, масса воздуха, двигающаяся отъ экватора къ полюсу, удерживаетъ скорость движенія къ Востоку, свойственную той параллели отъ которой та начала удаляться; переходя въ высшія широты, она будетъ имѣть, слѣдовательно, большую восточную скорость, чѣмъ параллели, которыя она пересѣкаетъ, и, слѣдовательно, будетъ отклоняться на востокъ отъ меридіана, по которому начала двигаться. Наоборотъ встрѣчное теченіе воздуха, направляющееся изъ полярныхъ странъ къ экватору, отходитъ къ западу отъ точки своего отправленія на меридіанѣ. Это объясненіе подразумѣваетъ, что будто бы только теченія, движущіяся вдоль меридіановъ, претерпѣваютъ отклоненіе, а что теченія по параллелямъ таковымъ отклоненіямъ не подвержены. Теперь доказано, что такой взглядъ не вѣренъ. Заблужденіе Гадлея зависѣло отъ неполноты знаній механики. Математики, однако, тоже не разрѣшили задачу опредѣленія вліанія земного вращенія на движеніе свободнаго тѣла по поверхности земли. Надо было подождать еще столѣтіе современіи появленія теоріи Гадлея, пока было дано свѣту полное рѣшеніе вопроса о вліаніи земного вращенія.

Въ 1839 г. Пуассонъ, знаменитый французскій математикъ и физикъ, помѣстилъ въ „Journal de l'Ecole Polytechnique“ пространный мемуаръ, озаглавленный: „Recherches sur le Mouvement des Projectiles“ е. т. с. Въ этомъ сочиненіи, которое предварительно было читано въ Парижской академіи въ 1837 г., было точно доказано, что вліаніе обращенія земли вокругъ оси на свободно движущееся вблизи ея поверхности тѣло заставляеть его отклоняться направо въ сѣверномъ полушаріи (и влѣво въ южномъ), независимо отъ того, въ какомъ направленіи движется тѣло ¹⁾.

Если бы Пуассонъ приложилъ свое важное открытіе къ объясненію движеній атмосферы, то его геній, вѣроятно, много посодѣйствовалъ бы развитію аеро-динамики, которая появилась на свѣтъ только двадцать лѣтъ спустя. Заслуга Пуас-

¹⁾ Развитие принциповъ динамики, которые привели къ разрѣшенію этой задачи, разобрано въ популярномъ сочиненіи Гюнтера въ немецкомъ журналѣ „Гумбольдтъ“ за 1882 г.

сона до тѣхъ поръ не находила общаго признанія, пока почти черезъ сорокъ лѣтъ не были снова изданы мемуары его. Но Пуассонъ вывелъ только очень слабую зависимость полета брошенныхъ тѣлъ отъ земного вращенія, и важность этого открытія еще уменьшена его собственными размышленіями, а также разсужденіями его читателей; всѣ они, вѣроятно, полагали, что такое малое вліяніе на практикѣ не можетъ играть важной роли.

Между тѣмъ Довэ, знаменитый метеорологъ своего времени, взявъ за исходный пунктъ теорію Гадлея, составилъ свою теорію общей циркуляціи воздуха, извѣстной теперь подъ названіемъ гипотезы Гадлея-Довэ. Его поправка къ теоріи Гадлея была принята современными ему метеорологами, и даже понѣмѣ теорія эта находитъ мѣсто въ большихъ компилятивныхъ трудахъ по физикѣ, затрагивающихъ метеорологію.

Мори (Mauzy), изучавшій океаническіе вѣтры, сумѣлъ съ большимъ успѣхомъ, чѣмъ то до тѣхъ поръ дѣлали, примѣнить свои знанія къ объясненію дѣйствительныхъ условій общей атмосферной циркуляціи, и его „Physical geography of the sea“ читалась много, особенно въ Америкѣ. Эта книга попала въ руки школьнаго учителя, жившаго тогда въ Нашвиллѣ Тенесси. Этотъ школьный учитель, имя котораго послѣ стало извѣстно каждому изучающему метеорологію, былъ Вилліамъ Феррель. Вѣроятно, онъ прочелъ эту книжку не случайно, такъ какъ нѣкоторыя статьи, которыя онъ помѣстилъ въ „Astronomical journal“ Гульда (Gould), свидѣтельствуютъ о томъ, что онъ вообще и ранѣе сильно интересовался такими вопросами.

Въ бесѣдѣ со своими друзьями по поводу книжки Мори Феррель выразилъ увѣренность, что объясненіе причинъ атмосферныхъ движеній, данное тамъ, не вѣрно и что дѣйствіе силъ въ работѣ не было понято авторомъ правильно. Издатель „Journal of Surgery of Nashville“, который былъ однимъ изъ числа этихъ друзей, попросилъ Ферреля изложить письменно его опроверженіе на теорію Мори, а также представить собственные взгляды. Въ результатъ получилось сочиненіе, напечатанное Феррелемъ въ этомъ журналѣ въ

1856 г. Въ этомъ сочиненіи, написанномъ въ популярной формѣ, мы находимъ изложеніе его взглядовъ на общую циркуляцію атмосферы и на причины, ее вызывающія. Отличительной чертой этой статьи была діаграма (дана ниже, см. фиг. 87), показывающая движеніе воздуха согласно теоріи, и авторъ настоящей книги припоминаетъ слышанное имъ нѣсколько лѣтъ спустя отъ одного изъ знаменитыхъ германскихъ метеорологовъ замѣчаніе, что онъ находитъ истинно удивительнымъ, какъ Феррель могъ въ то время сдѣлать чертежъ, столь похожій на тотъ, посредствомъ котораго мы теперь представляемъ циркуляцію атмосферы. Не надо отнюдь думать, будто была лишь счастливая случайность, что Феррель попалъ на правильное объясненіе атмосферной циркуляціи: оно было результатомъ терпѣливаго изученія и размышленія, кромѣ того онъ обладалъ знаніемъ математическихъ принциповъ динамики, которые одни только могли привести его къ правильному рѣшенію задачи. Хотя въ то время онъ былъ школьнымъ учителемъ, однако объ успѣхахъ, которые онъ сдѣлалъ тогда въ математикѣ, свидѣтельствуетъ тотъ фактъ, что онъ приобрѣлъ себѣ выпускъ изъ изданія „Mécanique Céleste“ Лапласа и читалъ ее по частямъ съ такимъ прилежаніемъ и пониманіемъ, что могъ сдѣлать существенныя добавленія къ нѣкоторымъ отдѣламъ ея въ своемъ сочиненіи, появившемся въ *Astronomical Journal* Гульда.

Если бы Феррель написалъ только одно это сочиненіе по метеорологіи, то, вѣроятно, оно осталось бы почти незамѣченнымъ, какъ то было съ сочиненіемъ Трэси (Tracy), которое нельзя обойти здѣсь молчаніемъ. Въ *Silliman's Journal of Science* (New Haven, Conn.) за 1843 г. Трэси, молодой ученый изъ Yale College, написалъ сочиненіе, въ которомъ приводилъ нѣкоторые оригинальные взгляды на причины большихъ атмосферныхъ теченій. Его способъ разсужденія нѣсколько подобенъ тому, какой мы находимъ въ первомъ сочиненіи Ферреля. и онъ былъ на вѣрной дорогѣ, но не продолжалъ далѣе своихъ изслѣдованій, и его единственный трудъ былъ бы всецѣло забытъ, если бы Дэвисъ (Davis) не обратилъ на него нѣсколько лѣтъ спустя вниманіе метеорологовъ.

Болѣе полное и математически обработанное развитіе обоихъ взглядовъ касательно атмосферныхъ движеній Феррель помѣстилъ въ выпускахъ Cambridge U. S. Mathematical Monthly (издаваемого Runkle'мъ) въ продолженіе 1858 и 1859 гг. Его сочиненія должно разсматривать, какъ труды піонера новѣйшей динамической метеорологіи. Феррель выводитъ между прочимъ уравненія для горизонтальныхъ атмосферныхъ движеній относительно земной поверхности, которыя черезъ измѣненіе высоты, а слѣдовательно и плотности воздуха, становятся общими. Прилагая къ этимъ движеніямъ условіе непрерывности, а также теорему сохраненія площадей, Феррель былъ въ состояніи доказать, что въ верхнихъ слояхъ атмосферы должно существовать постоянное теченіе воздуха по направленію къ полюсу, а вблизи земной поверхности по направленію къ экватору, и что между ними находится нейтральная плоскость. Оставивъ безъ вниманія треніе, Феррель нашелъ, что воздухъ вообще долженъ отступать отъ полюсовъ и также отъ экватора, причемъ происходитъ скопленіе воздуха въ промежуткѣ между этими двумя раіонами; тахімъ высоты падаетъ на 35^0 широты. Въ этой широтѣ нѣтъ ни восточнаго, ни западнаго теченія, тогда какъ между широтой 35^0 и полюсомъ существуетъ теченіе къ востоку, а между этой широтой и экваторомъ замѣчается теченіе къ западу. Если бы не было сопротивленій, то на экваторѣ развивались бы большія скорости, а вблизи полюса огромныя. Двигаясь по направленію отъ экватора, воздухъ не сохраняетъ одной и той же линейной скорости на всемъ пути, какъ обыкновенно предполагали первыя теоретики, но по мѣрѣ приближенія къ полюсу приобрѣтаетъ все большую и большую скорость по направленію къ востоку.

Можетъ быть, также полны и важны, какъ эта главная часть труда Ферреля, его изслѣдованія движеній воздуха на ограниченной части земной поверхности. Онъ доказалъ, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ должны существовать обмѣнные движенія, которыя являются какъ бы повтореніемъ общей системы воздушныхъ движеній. Тутъ замѣчается такое же самое уменьшеніе давленія по направленію къ центру вращенія, и такое же кольцо высокаго давленія въ нѣкоторомъ разстояніи отъ центра,

которое отдѣляетъ внутренній раіонъ, гдѣ наблюдается вихревое движеніе слѣва направо, отъ внѣшняго раіона, гдѣ вращательное движеніе идетъ справа на лѣво; въ переходномъ кольцѣ высокаго давленія не происходитъ вращательнаго движенія (см. схематическую діаграму на фиг. 110-й, данной ниже). У цѣлой массы вращающагося воздуха является стремленіе двигаться на сѣверъ, если это вращательное движеніе идетъ справа на лѣво, и на югъ, если оно имѣетъ обратное направленіе. Эти направленія вращательнаго движенія свойственны сѣверному полушарію и совершенно обратны для южнаго полушарія, такъ же, какъ и главныя атмосферныя движенія. Къ своему изслѣдованію Феррель приложилъ, какъ онъ полагалъ, совершенно оригинальную теорему:

„Если тѣло движется въ какомъ-нибудь направленіи по поверхности земли, то силой вращенія земли оно отклоняется вправо въ сѣверномъ полушаріи и влѣво въ южномъ“.

Принимая эти выводы за основаніе, Феррель разработалъ теорію общей циркуляціи атмосферы и сопровождающаго ее распредѣленія давленія и начерталъ діаграму, воспроизведенную на фиг. 84-й. Онъ далъ впервые также аналитическій разборъ движеній воздуха въ верхнихъ слояхъ атмосферы и даже нѣкоторые приблизительные числовые результаты.

Въ томъ же самомъ сочиненіи Феррель кратко излагаетъ теорію циклоновъ, вихрей, смерчей, которую въ послѣдствіи онъ чрезвычайно полно разработалъ; здѣсь же онъ показываетъ, почему вѣтры слѣдуютъ тѣмъ законамъ, которые Бейсъ-Баллотъ (Buys-Ballot) установилъ для движенія мѣстныхъ вѣтровъ.

Въ то время, когда Феррель началъ печатать это сочиненіе, появилось два другихъ короткихъ, необоснованныхъ математически, сочиненія въ протоколахъ Британской Ассоціаціи (British Association). Одно было написано проф. Джемсомъ Томсономъ (James Thomson), а другое г. Воономъ (Vaughn) изъ Цинциннати А. С. Ш. Въ этихъ сочиненіяхъ выражается та же самая неудовлетворенность теоріями воздушныхъ теченій, которую высказалъ и Феррель въ 1856 г.,

и предлагается путь къ созданію новой теоріи такого же характера, но не съ такой полнотой, какъ у Ферреля. Эти сочиненія теперь имѣютъ главнымъ образомъ историческое значеніе, и судя о нихъ, надо помнить, что статья Томсона дошла до насъ только въ извлеченіи, и что почти невѣроятно, чтобы онъ успѣлъ прочесть въ Англіи сочиненіе Ферреля, только что напечатанное въ Америкѣ; но, съ другой стороны, въ виду близости Nashville отъ Цинцинати весьма вѣроятно, что выпуски „Journal of Surgery“ попали заблаговременно въ руки другого автора, Воона.

Около того же самага времени вопросъ о вліяніяхъ вращенія земли на земныя движенія былъ поставленъ на конкурсъ парижской академіи наукъ; при этомъ доклады, напечатанные въ нѣсколькихъ выпускахъ Comptes Rendus, показывали, что у многихъ математиковъ, принявшихъ участіе въ конкурсѣ, взгляды на этотъ предметъ были по меньшей мѣрѣ весьма туманны. При обсужденіи ихъ разные члены академіи высказали также весьма разнорѣчивые взгляды. Наконецъ, впрочемъ, одинъ изъ членовъ указалъ на то, что математическое выраженіе вліянія вращенія земли дано Пуассономъ двадцать лѣтъ тому назадъ и въ такомъ видѣ, что не оставляетъ сомнѣній въ своей точности.

Небольшое изданіе 1858—59 года математическаго сочиненія Ферреля было перепечатано особо въ 1860 г., а отчетъ о его главнѣйшихъ выводахъ былъ данъ въ Silliman's Journal въ 1861 г.; однако, за двумя или тремя исключеніями, никто въ продолженіе болѣе чѣмъ 20 лѣтъ не воспользовался этими очень важными вкладками въ метеорологію. Клевлендъ Аббѣ (Cleveland Abbe), теперь достаточно извѣстный американскій метеорологъ, увлекшись вторымъ сочиненіемъ Ферреля, вскорѣ послѣ его появленія въ свѣтъ, высказывалъ, что чѣмъ больше онъ его изучалъ, тѣмъ больше убѣждался въ важности и оригинальности взглядовъ, развиваемыхъ тамъ. Въ продолженіе двухъ лѣтъ своего пребыванія въ Европѣ Аббѣ не упускалъ случая распространять взгляды Ферреля среди европейскихъ метеорологовъ, но идеи Довѣ такъ глубоко вкоренились въ ихъ умахъ, что новая теорія не нашла поддержки, если судить по отсутствію упоминаній

о ней въ метеорологической литературѣ этого періода. Одинъ или два англійскихъ ученыхъ, кажется, первые признали важное значеніе за этимъ сочиненіемъ. Проф. Эверетъ (Everett) въ своемъ переводѣ „Естественной философіи“ Дешанеля говоритъ, что Феррель далъ лучшее, какое ему только приходилось встрѣчать, изложеніе предмета.

Немного сочиненій по динамикѣ атмосферы появилось до 1875 г., когда начинается періодъ усердныхъ изслѣдованій. Песлинъ и Колдингъ и раньше занимались наблюденіями надъ движеніями воздуха и теченіями океана, но не принимали тогда въ расчетъ важнаго вліянія суточного вращенія земли.

Въ 1876 г. профессора Гульдбергъ и Мона изъ Христианіи издали 1-ю часть замѣчательнаго сочиненія, названнаго „Etudes sur les mouvements de l'atmosphère“. Вторая часть появилась въ 1880 г. Въ этомъ сочиненіи мы находимъ комбинацію метеорологическихъ выводовъ проф. Мона съ математическимъ обоснованіемъ, даннымъ проф. Гульдбергомъ. Эти „Etudes“ должны были потребовать значительной затраты труда, потому что такіе выводы получаются не легко. Изъ данъ видно, что 2-я часть готовилась цѣлыхъ четыре года.

Почти непосредственно вслѣдъ за появленіемъ трудовъ Гульдберга и Мона, Феррель издалъ свои „Meteorological Researches“, часть I—1877 г. и часть II—1880 г. Въ этомъ сочиненіи находится дальнѣйшая разработка взглядовъ, высказанныхъ въ 1858—59 гг.

Появленіе первыхъ частей вышеупомянутыхъ трудовъ и обнародованіе на страницахъ австрійскаго метеорологическаго журнала извлеченія изъ сочиненія Гульдберга и Мона возбудили интересъ многихъ континентальныхъ метеорологовъ къ вопросу объ атмосферныхъ движеніяхъ и вызвали новыя многочисленныя изслѣдованія главнымъ образомъ въ Германіи. Наиболѣе цѣнными изъ нихъ можно считать работы д-ра Шпрунга изъ Гамбурга (Deutsche Seewarte) и проф. Фингера изъ Вѣны. Шпрунгъ болѣе чѣмъ кто-либо другой обращалъ вниманіе метеорологовъ на важность открытій, сдѣланныхъ Феррелемъ и другими, по атмосферной механикѣ. Фингеръ далъ обра-

зецъ теоретическаго и математическаго изслѣдованія по вопросу о вліяніи вращенія земли на воздушныя и морскія теченія; но приложеніе результатовъ, полученныхъ имъ, къ дѣйстви-тельно наблюдаемымъ атмосфернымъ явленіямъ не особенно удачно. Въ 1879 г. появилось въ *Meteorologische Zeitschrift* важное сочиненіе Ханна, заслуживающее особеннаго вниманія, такъ какъ оно представило собой въ нѣкоторомъ родѣ сводку старыхъ и новыхъ идей.

Послѣ появленія вторыхъ частей мемуаровъ Ферреля, Гульдберга и Мона въ 1880 г., въ продолженіе слѣдующаго пятилѣтняго промежутка прибавилось очень мало важнаго и оригинальнаго, за исключеніемъ двухъ сочиненій. Проф. Обербекъ (Oberbeck) въ Германіи издалъ въ 1882 г. свой трудъ, въ которомъ онъ разбираетъ общія атмосферныя движенія и въ частности отношенія циклоновъ къ антициклонамъ. Его сочиненія можно разсматривать, какъ продолженіе мемуаровъ Гульдберга и Мона. При помощи новѣйшихъ математическихъ пріемовъ онъ приходитъ къ заключеніямъ, которыя подтверждаютъ результаты, полученные Феррелемъ и другими писателями.

Марки (Marchi) въ 1883 г. въ Италіи написалъ сочиненіе, излагающее Гельмгольцеву теорію вихревыхъ движеній въ допущеніи измѣненія плотности воздуха. Трудность такого разсмотрѣнія заставляла другихъ авторовъ ограничивать свой анализъ условіемъ постоянной плотности воздуха.

Во всѣхъ вышеупомянутыхъ сочиненіяхъ видна самостоятельная обработка предмета, а въ нѣкоторыхъ даже не упоминаются труды другихъ писателей, работавшихъ въ томъ же направленіи. Такая обособленность трудовъ затрудняла большинство занимавшихся вопросомъ, и сводка результатовъ была крайне необходима. Въ 1885 г. д-ръ Шпрунгъ издалъ свое руководство по метеорологіи (*Lehrbuch der Meteorologie*), которое даетъ общее понятіе о томъ, что было сдѣлано въ то время въ наукѣ по отдѣлу атмосферной механики. Шпрунгъ сдѣлалъ очень успѣшную попытку систематизаціи результатовъ, полученныхъ другими; потребовался и самостоятельный трудъ съ его стороны, чтобы хотя отчасти привести въ гармонію разные методы.

Въ 1887 г. Signal Service издало въ Соединенныхъ Штатахъ сочиненіе профессора Ферреля „Recent Advances in Meteorology“ (новые успѣхи метеорологіи). Это не было повтореніе Шпрунгова труда; въ первой части книги Феррель даетъ въ связномъ изложеніи свои собственные взгляды на атмосферную механику, и эта часть должна быть разсматриваема, какъ оригинальное и весьма важное произведеніе, такъ какъ здѣсь въ одномъ томѣ собраны главнѣйшіе выводы изъ его работъ по метеорологіи въ теченіе 30 лѣтъ. Въ 1889 г. Феррель написалъ „A Popular Treatise on the Winds“ (популярный трактатъ о вѣтрахъ), въ которомъ онъ подробно изслѣдуетъ атмосферную циркуляцію, начиная съ основныхъ принциповъ (какъ онъ ихъ понималъ) и кончая разборомъ вліяній циркуляціи на различныя метеорологическія явленія, зависящія отъ нея. Здѣсь помѣщенъ очеркъ его теоріи приблизительно въ такомъ же видѣ, какъ онъ излагаетъ ее въ своемъ сочиненіи „о вѣтрахъ“; этотъ очеркъ предлагается здѣсь для того, чтобы читатель могъ составить себѣ нѣкоторое понятіе объ общихъ движеніяхъ воздуха прежде, чѣмъ приступить къ чтенію очерка, неполнаго, конечно, нѣкоторыхъ новѣйшихъ изслѣдованій въ той же области.

§ 2. Общая циркуляція атмосферы по Феррелю.

Основная причина атмосферныхъ движеній заключается въ неравномъ распредѣленіи температуры на земной поверхности вслѣдствіе притока солнечнаго тепла. Еслибы температура была вездѣ одинакова, то атмосфера оставалась бы въ покоѣ. Мы знаемъ изъ опыта, что существуетъ большая, но не постоянная разниа температуры воздуха у полюсовъ и на экваторѣ, равняющаяся въ среднемъ для цѣлаго года—45° С (для высоты въ нѣсколько футовъ надъ поверхностью земли). Вслѣдствіе нагрѣванія воздуха на экваторѣ, происходитъ его расширеніе и, слѣдовательно, увеличеніе объема, причемъ однако вѣсъ или давленіе воздуха на земную поверхность не возрастаетъ; изобарическія поверхности поднимаются вверхъ, и это вызываетъ разницы уровней или градіенты, которые не могутъ существовать въ жидкостяхъ безъ движенія по на-

правленію къ болѣе низкому уровню. Такимъ образомъ чтобы возстановить равновѣсіе, которое должно было бы существовать, еслибы температура была одна и та же у полюсовъ и на экваторѣ, начинается теченіе въ верхнемъ слое атмосферы отъ экватора къ полюсамъ. Но какъ скоро это теченіе начнется, то замѣчается уменьшеніе дѣйствительнаго вѣса атмосферы на экваторѣ и противоположное теченіе воздуха идетъ вдоль земной поверхности отъ полюсовъ къ экватору, чтобы удержать равновѣсіе давленія. Чтобы удовлетворить условію непрерывности, которое должно соблюдаться во всѣхъ случаяхъ движенія жидкостей, оба горизонтальныхъ теченія должны соединиться вертикальными потоками, изъ которыхъ одинъ восходящій у экватора, а другой нисходящій у полюсовъ. Очевидно, что между этими противоположными теченіями должны находиться нейтральные плоскости, въ которыхъ движенія не происходитъ. Въ верхнемъ теченіи къ сѣверу въ сѣверномъ полушаріи наибольшая скорость замѣчается въ верхнихъ слояхъ воздуха, и она убываетъ до нуля по приближеніи къ нейтральной плоскости. Въ нижнемъ теченіи къ югу наибольшая скорость проявляется въ нѣкоторомъ неизвѣстномъ разстояніи отъ земли и уменьшается вверхъ по направленію къ нейтральной плоскости, а также уменьшается и по направленію къ земной поверхности вслѣдствіе тренія между воздухомъ и землей.

Существуютъ двѣ главныя возмущающія причины, которыя надо принять во вниманіе, чтобы получить вѣрное представленіе о дѣйствительныхъ отношеніяхъ между горизонтальными и вертикальными теченіями, а именно: 1) условіе, состоящее въ томъ, что верхнія теченія, идущія къ полюсамъ, направляются къ общему центру, и пространство, которое можетъ быть занято какою-нибудь отдѣльною частью этого воздуха, постепенно уменьшается по мѣрѣ суживанія параллельныхъ круговъ и наоборотъ, воздухъ, идущій къ экватору, можетъ расширяться съ постепеннымъ увеличеніемъ разстоянія параллельныхъ круговъ; 2) условіе вращенія земли вокругъ своей оси. Есть еще и другія возмущающія условія, которыя тоже относятся сюда, но являются второстепенными сравнительно съ двумя вышеупомянутыми, какъ на примѣръ:

распредѣленіе суши и моря, періодическое перемѣщеніе района высшей температуры съ одной стороны экватора на другую и инныя еще менѣе важныя.

Извѣстно изъ закона расширенія газа съ возрастаніемъ температуры, что воздухъ увеличивается на $\frac{1}{273}$ часть своего объема на каждый 1° C; отсюда ясно, что какая-нибудь данная изобарическая поверхность будетъ на $\frac{45}{273}$ или $\frac{1}{6}$ своей высоты выше на экваторѣ, чѣмъ на полюсахъ. Эта разница въ высотѣ даетъ градиентъ силы, который вызываетъ обмѣнъ движеній между полярными и экваторіальными сторонами. Еслибы земля была неподвижна, то не было бы ни восточной, ни западной составляющей движенія, и оно совершалось бы прямо вдоль меридіановъ. Но такъ какъ земля вращается, то развивается сила, которая заставляетъ свободно движущееся тѣло отклоняться вправо отъ своего первоначальнаго направленія въ сѣверномъ полушаріи и влево въ южномъ полушаріи. Это обстоятельство главнымъ образомъ и усложняетъ существующую циркуляцію атмосферы.

Циркуляція атмосферы при допущеніи отсутствія обращенія земли вокругъ своей оси.

При такомъ ограниченіи, оказывается, должна существовать нейтральная плоскость между вертикальными и горизонтальными теченіями въ системѣ обмѣна воздуха между экваторомъ и полюсами. Высота этой нейтральной горизонтальной плоскости между прямымъ и обратнымъ теченіемъ определяется условіемъ непрерывности и величиною тренія между ними. Въ данномъ случаѣ плоскость эта должна имѣть надъ собой и подъ собой около половины массы атмосферы. Въ виду уменьшенія круговъ широты (также какъ разстоянія между меридіанами) по направленію къ полюсамъ, вблизи параллели 30° должна находиться также вертикальная нейтральная плоскость. Изслѣдуя движеніе поднятой массы воздуха, направляющейся отъ экватора, мы найдемъ, что это движеніе нѣкоторое время ускоряется, пока движущаяся масса не достигнетъ промежуточной широты; затѣмъ оно постепенно

замедляется, пока не дойдет до полярной области; тамъ масса воздуха постепенно падаетъ внизъ, пока на полярной своей границѣ не перейдетъ горизонтальной нейтральной плоскости; тогда она отправляется въ обратный путь въ нижнемъ потокѣ. Здѣсь движеніе сначала ускоряется, пока не достигнетъ нейтральной широты, послѣ чего горизонтальное движеніе замедляется, начинается постепенный подъемъ и воздухъ достигаетъ точки отправленія на экваторѣ. Такимъ образомъ путь массы воздуха нѣсколько подобенъ эллиптической орбитѣ, въ которой горизонтальная и вертикальная нейтральные плоскости представляютъ большую и малую оси. Части воздуха движутся, однѣ по длиннымъ орбитамъ, другія — по малымъ, въ зависимости отъ ихъ разстоянія отъ нейтральныхъ плоскостей. Такъ какъ разница между температурами у полюсовъ и на экваторѣ есть постоянно существующая причина, вызывающая постоянный градиентъ, то, если бы не треніе (и интерференція), въ результатѣ получилось бы постоянно ускоряющееся движеніе.

Возмущающее вліяніе вращенія земли на атмосферныя движенія.

Разсмотримъ теперь теоретически вліяніе вращенія земли. Сила, являющаяся слѣдствіемъ этого вращенія, даетъ себя чувствовать, заставляя свободно движущійся воздухъ сворачивать направо въ сѣверномъ полушаріи и налево въ южномъ, а если воздухъ встрѣчаетъ при такомъ уклоненіи препятствіе, то онъ сжимается въ этомъ направленіи, и получается атмосферный градиентъ; эта же сила заставляетъ верхнее теченіе къ полюсу отклоняться на востокъ въ обоихъ полушаріяхъ, а нижнее теченіе отъ полюса — на западъ.

Такимъ образомъ являются противоположныя воздушныя теченія — къ западу вблизи земной поверхности и къ востоку въ высотахъ — образующія *относительныя* скорости между воздушными слоями. Если бы сила была импульсивна (дѣйствовала толчками), то треніе воздушныхъ слоевъ уничтожало бы ихъ относительныя скорости, и на данной параллели явилась

бы общая абсолютная скорость вверхъ и внизъ. Но такъ какъ отклоняющая сила постоянно дѣйствуетъ, то относительныя скорости поддерживаются, несмотря на треніе.

Сначала предположимъ, что поверхность земли не представляетъ сопротивленія въ смыслѣ тренія для движущагося воздуха; тогда скорости, восточная и западная, происходящія отъ дѣйствія сейчасъ разсмотрѣнныхъ силъ, удовлетворяли бы тому условію, что угловая скорость, умноженная на радіусъ векторъ, въ каждой точкѣ равна средней величинѣ того же произведенія для всего воздуха полушарія, такъ какъ атмосфера находится въ относительномъ покоѣ сравнительно съ земной поверхностью. При послѣднемъ условіи воздухъ находится подъ вліяніемъ силы постоянно дѣйствующей въ плоскости меридіана и приобретаетъ угловую скорость вокругъ земной оси. Для послѣдняго движенія становится возможнымъ примѣнить принципъ сохранения площадей, такъ какъ дѣйствіе и противодѣйствіе частицъ воздуха между собой должны быть по необходимости равны. Съ приближеніемъ къ полюсу радіусъ векторъ или разстояніе отъ оси вращенія становится меньше, а угловая скорость пропорціонально возрастаетъ.

Предположимъ, что дѣйствуютъ тѣ же самыя силы, и что имѣется треніе между землей и нижнимъ слоемъ атмосферы; въ этомъ случаѣ слои, подверженные тренію, не имѣли бы ни восточнаго, ни западнаго движенія, потому что, при условіи непрерывности, произведеніе массы на скорость одинаково для экваторіальнаго теченія и для противоположнаго ему полярнаго (то же самое и при отклоняющихъ силахъ), и не хватило бы силы на преодоленіе тренія. Если слой, подверженный тренію, имѣетъ восточное или западное относительное движеніе, то такое же движеніе должно быть приложено къ относительнымъ движеніямъ верхнихъ слоевъ, чтобы получить ихъ абсолютныя скорости. Сила, которая вызываетъ движеніе въ этомъ наземномъ, какъ мы можемъ его назвать, слой, происходитъ отъ вертикальнаго обмѣна, который мы рассмотримъ ниже.

Теперь займемся движеніемъ къ востоку верхняго теченія направленного къ полюсу.

Съ возрастаніемъ абсолютной скорости къ востоку относительныя скорости, а слѣдовательно и треніе становятся больше, но приростъ скорости достигаетъ своего предѣла, когда треніе уравниваетъ силу, вызвавшую движеніе. Надо также принять въ расчетъ отклоняющую силу вращенія земли, дѣйствующую на восточное движеніе по направленію вправо въ сѣверномъ полушаріи и влѣво въ южномъ и, слѣдовательно по направленію къ экватору въ обоихъ полушаріяхъ. Эта сила дѣйствуетъ противъ силы, вызванной температурнымъ градиентомъ, направляющейся отъ экватора къ полюсу и обусловливающей первоначальный обмѣнъ движеній между экваторомъ и полюсами. Если отклоняющая сила возрастаетъ по мѣрѣ возрастанія скорости воздушнаго теченія, то очевидно, что если восточная скорость верхняго теченія довольно велика, то эта отклоняющая сила должна уравнивать температурный градиентъ, зависящій отъ разницы температуръ на экваторѣ и у полюсовъ, и въ этомъ случаѣ не должно бы существовать теченія отъ экватора къ полюсу; однако безъ этого послѣдняго движенія не было бы средствъ побороть инерцію и треніе и сохранить восточныя движенія. Такимъ образомъ очевидно, что восточныя скорости никогда не могутъ достигъ только что указаннаго предѣла, потому что при этомъ должно бы остановиться верхнее теченіе отъ экватора къ полюсу. (Нужно еще замѣтить, что если бы не было тренія, то этотъ предѣлъ могъ бы въ дѣйствительности существовать, потому что въ такомъ случаѣ установилось бы обмѣнное движеніе и не было бы надобности въ какой нибудь силѣ для преодоленія тренія.

И такъ, мы видимъ, что существуетъ дѣйствительный предѣлъ для скоростей полярнаго и экваторіальнаго теченія; когда возрастаетъ скорость ихъ, то и восточная составляющая скорости тоже возрастаетъ, но мы сейчасъ видѣли, что если восточная составляющая становится слишкомъ велика, то теченіе отъ экватора къ полюсу прекращается. Такъ что здѣсь мы имѣемъ, по удачному выраженію Ферреля, своего рода регуляторъ атмосферной циркуляціи.

Въ случаѣ нижняго теченія отъ полюса къ экватору происходитъ обратный процессъ и часть силы отклоняющей на

западъ, зависящей отъ вращенія земли, идетъ на преодоленіе тренія между восточнымъ теченіемъ вверху и земной поверхностью внизу. Въ высокихъ широтахъ западная составляющая не превышаетъ восточной, но въ низшихъ широтахъ западное движеніе становится господствующимъ. Здѣсь необходимо привести подлинную цитату изъ сочиненія Ферреля „о вѣтрахъ“, чтобы избѣжать возможности недоразумѣній.

„Въ высшихъ широтахъ, гдѣ на земной поверхности существуетъ составляющая движенія направленная къ востоку количество движенія, теряемое частью воздуха при прохожденіи въ верхнихъ слояхъ, отъ данной широты къ полюсу, и обратно къ той же самой параллели въ нижнихъ слояхъ, — представляетъ кинетическую энергію, которая присоединяется, для преодоленія тренія о земную поверхность, къ восточной составляющей движенія на всемъ пространствѣ между этой параллелью и полюсомъ. Въ низшихъ широтахъ, гдѣ на поверхности земли дѣйствуетъ составляющая движенія къ западу, количество движенія потерянное частицею воздуха, на время оставляющею какую-нибудь параллель, при прохожденіи внизу по направленію къ экватору и обратно до той же параллели наверху, есть та кинетическая энергія, которая присоединяется для борьбы съ треніемъ о земную поверхность къ западнымъ составляющимъ движенія между этой параллелью и экваторомъ“.

Вертикальныя движенія воздуха.

Разсмотримъ теперь вертикальныя движенія, которыя существуютъ въ силу условія непрерывности между полярными и экваторіальными потоками. Сравнительно значительное движеніе къ востоку, которымъ обладаетъ теченіе приближающееся къ полюсу, постепенно убываетъ по мѣрѣ того, какъ воздухъ спускается ниже къ земной поверхности, такъ какъ энергія движенія расходуется на борьбу съ треніемъ между сосѣдними слоями воздуха, движеніе это доходитъ до самаго нижняго слоя воздуха и побѣждаетъ треніе между нимъ и земной поверхностью; но скорость верхняго движенія такъ

велика, что вся его энергія не расходуется, и въ результатѣ остается и вблизи земной поверхности слабое движеніе воздуха къ востоку.

Мы видимъ, что на земной поверхности въ высшихъ широтахъ господствуетъ движеніе къ востоку, а въ низшихъ широтахъ—къ западу. Получается такимъ образомъ, какъ выражается Феррель, своего рода крутильная сила, зависящая отъ вращенія земли, которая дѣйствуетъ на полярныя и экваторіальныя теченія и вызываетъ на поверхности земли только что упомянутыя движенія. Здѣсь существуютъ, какъ и въ случаѣ раньше разобранномъ, относительныя скорости между послѣдовательными вертикальными слоями также точно, какъ и въ томъ случаѣ, еслибы не было силы крученія.

Такъ какъ относительныя скорости движенія къ В. въ верхнихъ слояхъ зависятъ отъ различія температуры на экваторѣ и на полюсахъ, или отъ температурнаго градіента, то онѣ должны быть больше зимой, чѣмъ лѣтомъ; и въ средней широтѣ сѣвернаго полушарія январскія скорости должны быть болѣе, чѣмъ вдвое больше іюльскихъ.

Когда воздухъ въ высшихъ широтахъ опускается сверху къ землѣ, то онъ приближается къ оси земли, слѣдовательно, согласно теоремѣ сохраненія площадей, онъ долженъ имѣть относительно земной поверхности большую скорость, впрочемъ это увеличеніе скорости идетъ постепенно и слабо; обратное будетъ въ низшихъ широтахъ, гдѣ мы находимъ восходящій потокъ. Считаю необходимымъ здѣсь снова привести подлинныя слова Ферреля.

„Отношеніе между величиной восточныхъ составляющихъ скорости воздуха у земной поверхности въ высшихъ широтахъ и величиной западныхъ составляющихъ въ низшихъ широтахъ опредѣляется тѣмъ условіемъ, что сумма произведеній всѣхъ силъ воздушныхъ частицъ, дѣйствующихъ въ высшихъ широтахъ въ восточномъ направленіи у земной поверхности вслѣдствіе тренія или иного сопротивленія, на ихъ разстояніе отъ оси вращенія—называемыхъ моментами паръ—должна равняться такой же суммѣ произведеній въ низшихъ широтахъ, гдѣ дѣйствуетъ западная составляющая движенія,

и силы, возникающія благодаря тренію и другимъ препятствіямъ, дѣйствуютъ въ обратномъ направленіи“.

Этотъ принципъ былъ проводимъ и Гадлеемъ, который замѣчаетъ, что по его теоріи еслибы не было противоположныхъ движеній, то вращеніе земли вокругъ оси измѣнилось бы чрезъ треніе воздуха о земную поверхность.

Посмотримъ, можетъ ли существовать это уравненіе для силы тренія, возбуждаемой у поверхности земли восточнымъ и западнымъ движеніемъ. Такъ какъ обѣ силы увеличиваются пропорціонально разстоянію отъ оси вращенія земли, то или скорости движенія къ востоку вблизи полюса должны быть гораздо больше, чѣмъ скорости движенія къ западу вблизи экватора, или количество воздуха, имѣющаго движеніе къ востоку, должно быть больше. Если случится послѣднее, то мѣсто измѣненія направленія должно находиться между экваторомъ и 30° широты, потому что эта параллель дѣлитъ дѣйствительно количество воздуха въ обоихъ полушаріяхъ на двѣ равныя части.

Еслибы не было тренія, то восточныя и западныя скорости у поверхности земли были бы очень велики, но такъ какъ силы, производящія ихъ, малы и большая часть ихъ идетъ на борьбу съ треніемъ, то получается сравнительно слабое движеніе. Въ виду преобладанія суши въ сѣверномъ полушаріи сравнительно съ южнымъ, скорости въ южномъ полушаріи больше, чѣмъ въ сѣверномъ, такъ какъ треніе между воздухомъ и водой меньше, чѣмъ между воздухомъ и почвой.

Въ случаѣ еслибы тренія не существовало, восточныя скорости, какъ мы видѣли, достигли бы извѣстнаго предѣла, и послѣ того, какъ циркуляція установилась, не надо было бы, чтобы какая-нибудь сила, получаемая отъ меридіональных движеній между экваторомъ и полюсами, преодолевала треніе восточныхъ составляющихъ. „Слѣдовательно, чѣмъ меньше тренія и чѣмъ больше отклоняющей силы приходится на данное количество движенія по меридіану, тѣмъ меньше этого движенія требуется на борьбу съ треніемъ восточной составляющей движенія“. Такъ что, за исключеніемъ непосредственно соприкасающихся съ земной поверхностью слоевъ

воздуха, гдѣ треніе велико, на столько мало расходуется меридіональнаго движенія на преодоленіе тренія восточной составляющей, что мы получимъ въ высшихъ широтахъ, гдѣ меридіональное движеніе очень мало сравнительно съ восточными составляющими, движеніе воздуха почти прямо къ востоку. Согласно принципу сложения скоростей, это движеніе должно быть направлено слегка на сѣверо-востокъ въ верхнемъ теченіи и немного на юго-востокъ въ нижнихъ слояхъ атмосферы.

Въ широтахъ болѣе низкихъ, чѣмъ тѣ, которыя мы сейчасъ разсматривали, гдѣ отклоняющая сила земного вращенія значительно ослабѣваетъ, такъ какъ она наибольшая у полюсовъ, и уменьшается по приближеніи къ экватору, относительныя скорости между слоями и абсолютныя восточныя скорости въ верхнемъ теченіи становятся меньше, чѣмъ въ высшихъ широтахъ. Здѣсь воздухъ, который находится между верхней восточной составляющей и нижней западной составляющей, имѣетъ очень слабое движеніе. Движеніе нижнихъ слоевъ атмосферы къ западу въ соединеніи съ движеніемъ по направленію къ экватору даетъ въ результатѣ атмосферное движеніе, извѣстное подъ названіемъ пассатовъ.

Движеніе воздуха вблизи экватора.

У самого экватора отклоняющія силы и экваторіальное теченіе исчезаютъ, но здѣсь должно существовать на значительной высотѣ надъ земной поверхностью воздушное теченіе къ Западу, происходящее отъ соединенія пассатовъ, движущихся съ обѣихъ сторонъ къ экватору.

Въ экваторіальной полосѣ, гдѣ существуетъ сильный восходящій потокъ, должно замѣчать слабое воздушное теченіе по направленію къ западу, на большихъ высотахъ, происходящее вслѣдствіе вліянія вращенія земли на воздухъ, движущійся вверхъ. Массы воздуха, участвующаго въ вращательномъ движеніи земли, по законамъ механики должны описывать равныя площади въ равныя промежутки времени; но такъ какъ радіусъ векторъ (разстояніе отъ оси земли) возрастаетъ при движеніи вверхъ отъ земной поверхности, то

скорость абсолютнаго движенія къ Востоку уменьшается пропорціонально увеличенію вектора, и такимъ образомъ относительно данной точки земной поверхности получается кажущееся движеніе на Западъ. Эта скорость движенія къ западу, впрочемъ, очень мала; теоретическое опредѣленіе ея даетъ всего около 3 километровъ въ часъ на высотѣ 15000 метровъ. Сильный экваторіальный вѣтеръ по направленію къ западу обусловливается иногда переходомъ линіи максимум'а температуры съ одной стороны экватора на другую, послѣ перехода солнца изъ одного полушарія въ другое. Когда въ сѣверномъ полушаріи лѣто, верхнее воздушное теченіе должно направляться изъ пояса максимум'а температуры (находящагося въ это время въ сѣверномъ полушаріи) въ южное полушаріе, а нижнее теченіе въ противоположномъ направленіи. Это верхнее теченіе должно бы отклоняться вправо (на западъ) до тѣхъ поръ, пока оно находится въ сѣверномъ полушаріи и вызывало бы вѣтеръ къ западу, причемъ такое направленіе продолжалось бы на нѣкоторомъ протяженіи и послѣ перехода черезъ экваторъ. Отсутствіе движенія по направленію къ востоку въ нижнихъ слояхъ атмосферы зависитъ отъ значительнаго тренія о земную поверхность ¹⁾, которое оно должно было бы преодолѣть. Съ наступленіемъ лѣта въ южномъ полушаріи происходитъ обратное явленіе.

Вліяніе главныхъ движеній атмосферы на атмосферное давленіе и изобарическія поверхности.

Еслибы на земной поверхности была однообразная температура, то центробѣжная сила, происходящая отъ вращенія земли вокругъ своей оси, была бы достаточна, чтобы придать ту же эллипсоидальность изобарическимъ поверхностямъ, которой обладаетъ гладкая земная поверхность, и онѣ были бы, слѣдовательно, параллельны послѣдней. Но если, какъ

¹⁾ Это объясненіе отчасти приложимо для западнаго потока, который такъ быстро пронесъ на западъ пепель Кракатоа во время изверженія въ августѣ 1883 г., такъ какъ въ это время года потокъ этотъ достигаетъ своего максимум'а.

оно и есть въ дѣйствительности, въ атмосферѣ, и какъ мы это сейчасъ видѣли, у земной поверхности существуетъ восточная или западная составляющая движенія, зависящая отъ разности температуры и вращенія земли, то однообразіе изобарическихъ поверхностей не можетъ сохраняться. Вблизи земной поверхности возникаетъ разница атмосфернаго давленія, изобарическія поверхности наклоняются и появляются градіенты давленія.

БАРОМЕТРИЧЕСКІЙ ГРАДІЕНТЪ.

Общее математическое выраженіе для барометрическаго градіента при какой-нибудь скорости движенія, принимая въ расчетъ зависимость отъ отклоняющихъ силъ, соотвѣствующихъ этой скорости, есть функція скорости, Sin широты и отношеній нормальнаго давленія и температуры къ наблюдаемому¹⁾. На основаніи этой формулы Феррель доказалъ, что въ сѣверномъ полушаріи въ высшихъ широтахъ при движеніи къ Востоку (предполагаемомъ положительнымъ), долженъ существовать приростъ давленія по направленію отъ полюса къ экватору; и maximum достигается на 30° или 35°, гдѣ, какъ мы видѣли, скорость становится нулевой и постепенно переходитъ къ западу (т.-е. принимаетъ отрицательное направленіе); какъ скоро эта широта пройдена, и мы станемъ приближаться къ экватору, знакъ градіента мѣняется, и давленіе убываетъ по направленію къ экватору. На экваторѣ Sin широты становится равенъ нулю и нѣтъ градіента силы и, слѣдовательно, давленіе = minimum'у. Южнѣе экватора Sin широты мѣняется знакъ, и появляется градіентъ обратнаго направленія, возрастающій снова къ широтѣ 30°, гдѣ онъ опять мѣняется направленіе. На этой широтѣ движеніе исчезаетъ и давленіе достигаетъ maximum'a; отсюда по направленію къ южному полюсу начинается уменьшеніе давленія, причемъ послѣднее происходитъ наиболѣе быстро въ среднихъ широтахъ, гдѣ скорости движенія наибольшія. Такъ какъ Sin широты вблизи экватора малъ, то и градіентъ малъ и minimum дав-

¹⁾ Градіентъ = постоянной (0.1571) × (скорость движенія) × (синусъ широты) × (функція давленія) × (функція температуры).

ленія, слѣдовательно, небольшой. Касаясь причины этого экваторіальнаго minimum'a, Феррель говоритъ:

„Кажется труднымъ для нѣкоторыхъ понять, какъ экваторіальный минимумъ давленія можетъ происходить отъ движенія атмосферы къ Западу, замѣчаемаго только въ низшихъ слояхъ атмосферы, тогда какъ вверху движеніе направлено къ Востоку. Но было доказано, что въ случаѣ несуществованія восточной или западной составляющей движенія у земной поверхности, вверху необходимо должна быть составляющая направленная къ В. для удержанія воздуха отъ утеканія отъ области экватора и такимъ образомъ отъ уменьшенія здѣсь давленія. Если же нижній слой вблизи земной поверхности имѣетъ составляющую движенія направленную къ З. то, какъ мы видѣли, скорость всѣхъ слоевъ вверху, до вершины атмосферы измѣнится на то же количество; давленіе у земной поверхности распредѣлится точно такъ же, какъ еслибы не было температурнаго градіента и восточныхъ составляющихъ скоростей вверху, и всѣ слои отъ основанія до верху имѣли бы западную составляющую движенія“. Наибольшее давленіе находится около 30° широты, гдѣ восточное и западное движеніе уничтожается у земной поверхности; этотъ maximum давленія, который появляется въ мѣстѣ исчезновенія градіента, не распространяется въ этой широтѣ на всѣ высоты. Въ воздухѣ вверху надъ земной поверхностью этотъ градіентъ силы исчезаетъ въ нѣкоторой меньшей широтѣ, чѣмъ для воздуха у самой земной поверхности, потому что, когда скорость становится отрицательной или западной, математическое выраженіе градіента въ зависимости отъ высоты всегда имѣетъ положительный знакъ въ сѣверномъ полушаріи (и всегда знакъ противоположный произведенію восточно-западной скорости на Sin широты въ этихъ широтахъ) и градіентъ исчезаетъ только тогда, когда отрицательная величина скорости, умноженной на Sin широты, равняется предѣлу, зависящему отъ высоты. Такъ что если высота возрастаетъ, то должно произойти соотвѣствующее числовое возрастаніе скорости, умноженная на Sin широты. Sin широта уменьшается очень медленно по направленію къ экватору, но это уменьшеніе перевѣшивается приращеніемъ западной скорости послѣ того, какъ широта

30° пройдена, такъ что соответствующій, вышеупомянутый, числовой приростъ для увеличивающихся высотъ достигается съ приближеніемъ къ экватору. Слѣдовательно, чѣмъ больше высота, тѣмъ ближе къ экватору лежитъ широта, въ которой исчезаетъ градіентъ, и наступаетъ maximum давленія. Когда высота становится такъ велика, что скорость не можетъ далѣе перевѣшивать ея вліянія, то предѣлы исчезаютъ только на экваторѣ, слѣдовательно, на нѣкоторой данной высотѣ, и выше ея maximum давленія достигается только на экваторѣ, а въ этихъ верхнихъ раіонахъ существуетъ равномерный градіентъ давленія, возрастающій отъ полюсовъ къ экватору. Феррель слѣдующимъ образомъ формулируетъ это положеніе: „Безъ восточной и западной составляющихъ движенія у земной поверхности, какъ мы видѣли, не было бы градіента давленія у земной поверхности, поскольку онъ зависитъ отъ скорости и отклоняющихъ силъ, но на извѣстной высотѣ надъ поверхностью земли долженъ быть градіентъ, возрастающій отъ полюсовъ къ экватору, и на большихъ высотахъ этотъ градіентъ такъ великъ, что составляющая движенія атмосферы у земной поверхности къ западу и связанное съ нимъ измѣненіе скоростей на одно и то же количество на всѣхъ высотахъ недостаточны, чтобы при помощи отклоняющихъ силъ обратить этотъ градіентъ. Исключеніе составляютъ только нижніе слои атмосферы. На извѣстной высотѣ, слѣдовательно, на экваторѣ нѣтъ барометрическаго minimum'a, а есть maximum, происходящій отъ постепеннаго приближенія максимумовъ съ обѣихъ сторонъ къ экватору, по мѣрѣ возрастанія высоты.

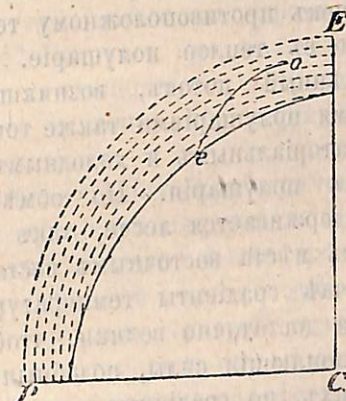
„У земной поверхности такимъ образомъ находятся упомянутыя области низкаго давленія съ minimum'омъ на самомъ полюсѣ, зоны высокаго давленія въ каждомъ полушаріи съ maximum'омъ около 30° широты и экваторіальная зона слегка уменьшеннаго давленія съ minimum'омъ на экваторѣ. Это же распредѣленіе существуетъ въ низшихъ слояхъ атмосферы до значительной высоты, съ тѣмъ различіемъ, что полярныя области низкаго давленія становятся все больше и больше, и широты зонъ высокаго давленія подходятъ ближе и ближе къ экватору, пока на нѣкоторой высотѣ оба максимума не соединятся надъ экваторомъ. Изобарическія поверхности

не представляют собою эллипсоидов съ сжатіемъ, увеличивающимся пропорціонально высотѣ, но вслѣдствіе восточной и западной составляющей движенія атмосферы у земной поверхности, имѣютъ болѣе крутые градіенты въ высокихъ и среднихъ широтахъ и отлогіе вблизи экватора съ minimum'омъ въ нижнихъ слояхъ на экваторѣ, какъ представлено на рис. 85; пересѣченія линіи *eo* съ изобарическими поверхностями указываютъ для различныхъ высотъ соответственныя широты, въ которыхъ давленіе наибольшее, и восточныя составляющія движенія исчезаютъ, измѣняютъ знакъ и становятся западными составляющими. Дѣйствительный видъ и положеніе линіи *eo* относительно экватора *E*, насколько они зависятъ отъ западныхъ составляющихъ движенія на земной поверхности и температурнаго градіента со всѣмъ неизвѣстно".

Что касается обмена воздуха между полушариями, Феррель говорит:

„Такъ какъ цѣлая вертикальная циркуляція и западная и восточная составляющая, а равно и отклоняющія силы, обуславливающія полярныя и экваторіальныя области и зоны всаго давленія у тропиковъ, зависятъ отъ температурныхъ градіентовъ между экваторомъ и полюсами, то вслѣдствіе этого зимою должны быть большія пониженія изобарическихъ поверхностей на полюсахъ и большая выпуклость въ среднихъ и низшихъ широтахъ, чѣмъ лѣтомъ, такъ какъ температурные градіенты больше зимою, чѣмъ лѣтомъ, особенно въ сѣверномъ полушаріи, гдѣ они въ январѣ слишкомъ вдвое больше чѣмъ іюлѣ. Вслѣдствіе этой причины должно существовать также годовое неравенство атмосфернаго давленія, такъ что давленіе больше зимой, чѣмъ лѣтомъ въ каждомъ полушаріи въ среднихъ и низшихъ широтахъ и обратно въ полярныхъ странахъ. „Но еще отъ другой причины происходитъ это годовое

„Но еще отъ другой причины происходить это —



Фиг. 85.

колебаніе давленія. Впродолженіи зимы въ каждомъ полушаріи атмосфера становится холоднѣе, чѣмъ въ другомъ полушаріи и, слѣдовательно, объемъ ея значительно уменьшается, вслѣдствіе чего изобарическія поверхности лежатъ въ холодномъ полушаріи ниже, чѣмъ въ тепломъ. Такимъ образомъ появляется вверху градіентъ давленія, вслѣдствіе котораго воздухъ высшихъ слоевъ течетъ изъ болѣе теплаго полушарія въ болѣе холодное, отчего въ послѣднемъ масса воздуха и давленіе нѣсколько возрастаетъ. уменьшаясь на ту же величину въ болѣе тепломъ полушаріи, пока не образуется въ нижнихъ слояхъ противоположный градіентъ, который даетъ толчокъ противоположному теченію воздуха внизъ изъ холоднаго въ теплое полушаріе. Такимъ образомъ происходитъ обмѣнный потокъ, возникшій и поддерживаемый между двумя полушаріями также точно, какъ это происходитъ между экваторіальнымъ и холоднымъ полярнымъ раіономъ въ каждомъ полушаріи. Но обмѣнъ между двумя полушаріями поддерживается легче, такъ какъ на экваторѣ и вблизи его нѣтъ мѣста восточнымъ составляющимъ движенія, въ этомъ случаѣ градіенты температуры и давленія и скорость потока достаточно велики, чтобы преодолѣть противоположныя отклоняющія силы, подобныя находящимся въ среднихъ широтахъ, но градіенты температуры и давленія цѣликомъ идутъ на поддержаніе верхняго теченія воздуха изъ теплаго въ холодное полушаріе и обратнаго въ низшихъ слояхъ.

„Подобно тому какъ совершается годовой ходъ измѣненій температуры, который вызываетъ и поддерживаетъ эти обмѣнные теченія между обоими полушаріями, существуетъ также ходъ градіентовъ давленія у земной поверхности и въ нижнихъ слояхъ, происходящій вслѣдствіе теченія воздуха вверхъ изъ болѣе теплаго въ болѣе холодное полушаріе и отъ легкаго возрастанія давленія въ одномъ и соответственнаго уменьшенія въ другомъ полушаріи, являющихся причиной этихъ градіентовъ. И такъ какъ зимой немного болѣе воздуха и, слѣдовательно, немного болѣе давленія у земной поверхности въ каждомъ полушаріи, чѣмъ лѣтомъ, то это влечетъ за собой слабое годичное неравенство давленія, при чемъ давленіе наибольшее въ каждомъ полушаріи

въ срединѣ зимы даннаго полушарія. Наибольшее вліяніе этой послѣдней причины годичнаго неравенства сказывается на полюсахъ, потому что въ то время какъ давленіе зимой въ среднихъ широтахъ возрастаетъ, въ полярныхъ странахъ оно уменьшается. Это результатъ отъ обоихъ выше разсмѣтрѣнныхъ явленій“.

Таблица Шпрунга распределенія воздушнаго давленія и температуры вдоль меридіана.

Для того, чтобы предложенное Феррелемъ объясненіе общаго вида атмосферныхъ явленій можно было бы сравнить съ результатомъ, полученнымъ путемъ наблюденія, приводимъ здѣсь таблицу изъ „Meteorologie“ Шпрунга представляющую среднія барометрическія давленія и температуры въ среднемъ для различныхъ широтъ сѣвернаго и южнаго полушарія, другими словами, — для средняго меридіана.

Столбецъ 1-й даетъ широту; 2-ой — среднее барометрическое давленіе на уровнѣ моря; 3-й — градіентъ или степень измѣненія давленія для cadaго градуса широты; 4-й — среднее давленіе на уровнѣ моря въ январѣ; 5-й — среднее давленіе на уровнѣ моря въ іюлѣ; 6-ой — среднюю годовую температуру на уровнѣ моря; 7-ой — величины среднихъ годовыхъ температуръ, вычисленныя при помощи эмпирической формулы, въ которой температура разсматривается какъ функція широты; 8 и 9-й — среднія температуры на уровнѣ моря въ январѣ и іюлѣ; 10-й — уменьшеніе температуры на каждые 100 метр. и 12-й — воздушное давленіе для высотъ въ 2.000 и 4.000 метр., вычисленное, принимая во вниманіе уменьшеніе температуры съ высотой, какъ оно обозначено въ столбцѣ 10-мъ.

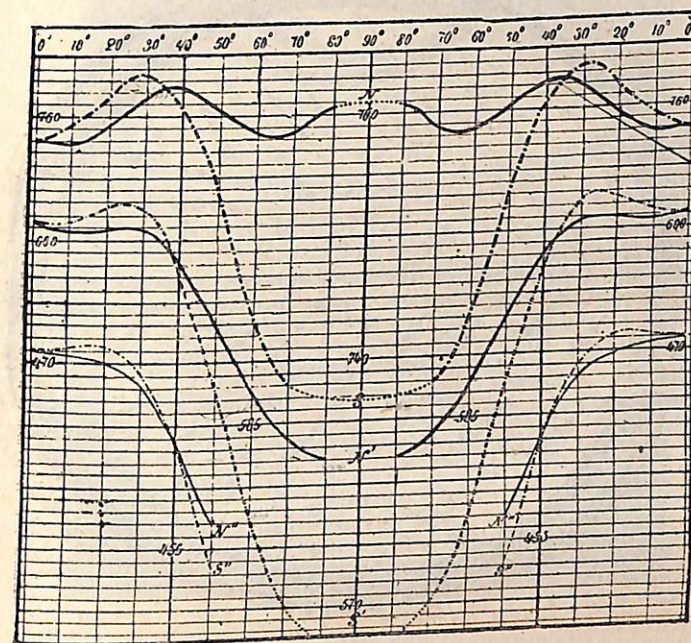
Мы видимъ изъ этой таблицы давленій, что тахімумъ давленія на земной поверхности находится на широтѣ 30°, а слабый мінімумъ — на экваторѣ, одновременно съ другимъ, болѣе ясно выраженнымъ, мінімумомъ на полюсѣ, теоретически выведеннымъ Феррелемъ. Мы видимъ также, что на высотѣ 2.000 м. тахімумъ давленія располагается нѣсколько ближе къ экватору, чѣмъ на поверхности земли, тогда какъ на высотѣ 4.000 м. тахімумъ почти совпадаетъ съ эквато-

ромъ. Эта высота, слѣдовательно, лежитъ выше области ограниченной на фиг. 89 внѣшнею окружностью. Южное полушаріе вслѣдствіе большого однообразія его поверхности (большая часть покрыта водой) даетъ большее совпаденіе съ теоріей.

		Воздушное давленіе на ур. моря.			Температура.						Воздушн. давленіе.	
		Годовое среднее.	Ян- варь.	Іюль.	Годовое среднее.		Наблюденіе въ		Уменьш. темп на 100 мет. в.	На высотѣ 2,000 метр.	На высотѣ 4,000 метр.	
		Гра- дѣнтъ.			Наб- лю.	Вычис- ленное.	Ян- варь.	Іюл.				
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сѣверное полушаріе.	90°	—	—	—	—	—	—17,0°	—	—	—	—	—
	80	760,5	—	760,4	60,6	—15,5°	—15,8	—31,9°	1,0°	0,19°	582,0	445,2
	75	60,0	—0,19	60,2	758,8	—	—	—	—	—	—	—
	70	58,6	—0,14	59,0	58,2	—9,8	—10,2	—26,5	6,9	0,25	583,6	446,6
	65	58,2*	+0,01	58,8*	57,6*	—	—	—	—	—	—	—
	60	58,7	+0,15	59,7	57,7	—1,6	—2,2	—16,9	13,8	0,40	587,6	451,9
	55	59,7	+0,20	61,0	58,4	—	—	—	—	—	—	—
	50	60,7	+0,18	62,1	59,3	—	—	—	—	—	—	—
	45	61,5	+0,15	63,0	60,0	6,3	6,5	—6,0	18,6	0,57	593,0	457,0
	40	62,0	+0,07	63,6	60,4	—	—	—	—	—	—	—
	35	62,4	—0,03	64,1	60,7	13,6	14,4	4,5	22,8	0,65	598,0	463,6
	30	61,7	—0,18	63,4	60,0	—	—	—	—	—	—	—
	25	60,4	—0,25	62,0	58,8	19,8	20,4	12,9	26,6	0,67	600,9	468,3
	20	59,2	—0,21	60,6	57,8	—	—	—	—	—	—	—
Южное полушаріе.	15	58,3*	—0,13	59,3	57,8	25,3	24,3	21,7	29,0	0,68	600,9	469,9
	10	57,9	—0,03	58,4	57,3*	—	—	—	—	—	—	—
	5	58,0	+0,01	58,0	57,9	27,2	26,4	25,9	28,4	0,69	600,9	470,7
	0	58,0	+0,04	57,4	58,6	26,7	26,8	27,3	26,1	0,70	601,1	471,0
	5	58,3	+0,11	57,1*	59,5	—	—	—	—	—	—	—
	10	59,1	+0,20	57,4	60,8	25,9	26,0	27,9	24,0	0,69	601,6	471,1
	15	60,2	+0,26	58,2	62,2	—	—	—	—	—	—	—
	20	61,7	+0,29	59,5	63,9	23,7	23,8	26,6	20,8	0,68	602,7	471,1
	25	63,2	+0,18	60,8	65,6	—	—	—	—	—	—	—
	30	63,5	—0,08	61,3	65,7	19,3	20,2	23,0	15,6	0,67	602,2	469,3
	35	62,4	—0,30	60,6	64,2	—	—	—	—	—	—	—
	40	60,5	—0,51	59,1	61,9	14,4	14,9	17,6	11,1	0,65	597,1	463,1
	45	57,3	—0,73	56,3	58,3	—	—	—	—	—	—	—
	50	53,2	—0,91	52,7	53,7	8,8	8,2	11,1	6,4	0,59	588,0	453,7
55	48,2	—0,97	48,2	48,2	—	—	—	—	—	—	—	
60	43,4	—0,83	—	—	1,8	0,9	3,6	0,0	0,46	577,0	443,9	
65	39,7	—0,56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
70	38,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Чтобы сдѣлать болѣе яснымъ общее распредѣленіе давленія на земной поверхности, даннаго въ таблицѣ, на фиг. 86

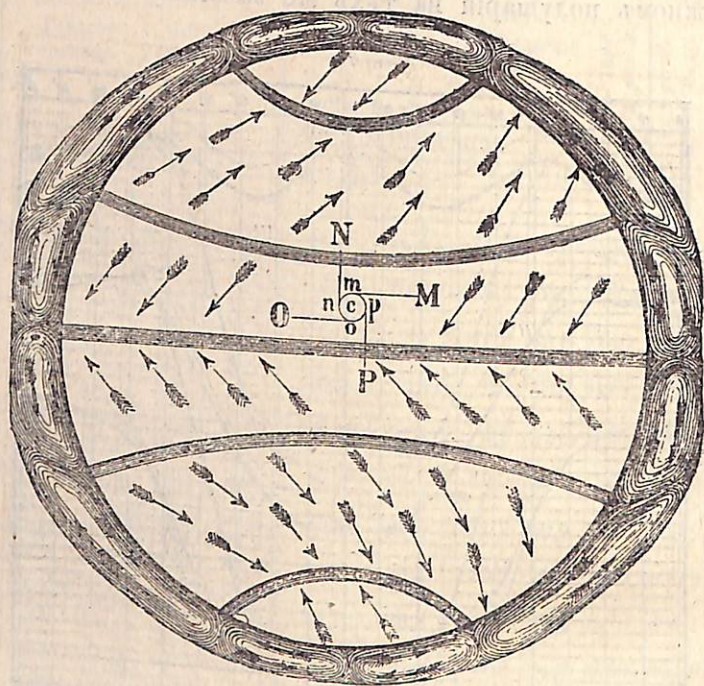
приведено графическое изображеніе распредѣленія давленія, данное Шпрунгомъ. Кривыя *N* и *S* показываютъ атмосферное давленіе на земной поверхности соответственно для сѣвернаго и южнаго полушарій. Аналогичныя кривыя *N'* и *N''* показываютъ давленіе въ сѣверномъ полушаріи на высотахъ 2,000 и 4,000 м., а кривыя *S'* и *S''* показываютъ давленіе въ южномъ полушаріи на тѣхъ же высотахъ. Изъ сравненія



Фиг. 86.

кривыхъ *N* и *S* видно, что онѣ очень различны между собой; изъ нихъ кривая *S* подходит ближе къ представленію идеальнаго давленія, которое существовало бы въ томъ случаѣ, если бы вся земля была покрыта водой. Что эта разница между *N* и *S* происходитъ отъ различія поверхности, ясно изъ сравненія кривыхъ *N'* и *S'* съ кривыми *N''* и *S''*. Съ увеличеніемъ высоты и, слѣдовательно, съ увеличеніемъ разстоянія отъ неоднородныхъ поверхностей суши и воды, наступитъ

пасть большее сходство между кривыми давления для сѣвернаго и южнаго полушарій. Надо замѣтить также, что дѣйствительное возрастание давления вблизи сѣвернаго полюса, которое даютъ наблюденія у земной поверхности, еще раньше высоты 2,000 м. совсѣмъ исчезаетъ.

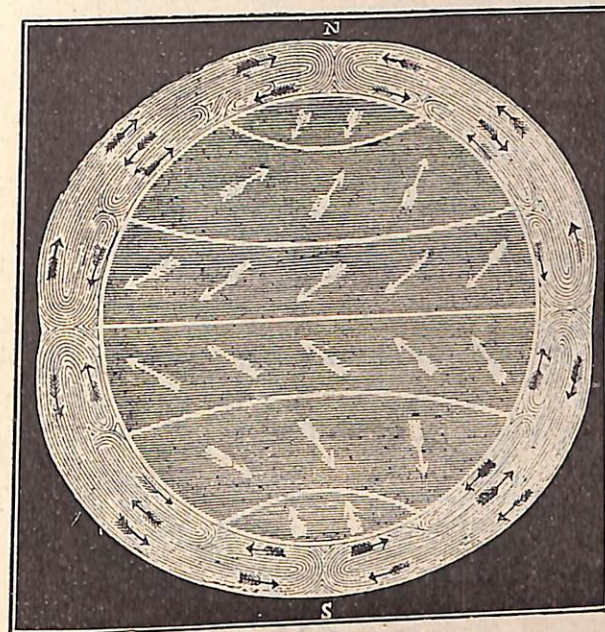


Фиг. 87.

Графическое изображеніе циркуляціи воздуха по Феррелю.

Какъ уже раньше было упомянуто, въ 1856 г. Феррель обнаружилъ схему (р. 87) общихъ атмосферныхъ движеній; затѣмъ въ 1858—59 г. онъ составилъ другую схему (рис. 88), на которой мы находимъ въ среднихъ широтахъ промежуточное теченіе между верхними и нижними теченіями; онъ повторилъ такіа схематическія діаграммы въ нѣсколькихъ послѣдующихъ

изданіяхъ. Приложенная діаграмма (рис. 89) иллюстрируетъ позднѣйшіе выводы Ферреля относительно общей циркуляціи атмосферы ¹⁾. Въ срединѣ чертежа мы находимъ горизонтальную проекцію воздушныхъ теченій. Вѣтры, дующіе у поверхности земли, показаны сплошными стрѣлками, а верхнія теченія—пунктирными. Вертикальное распреденіе цир-



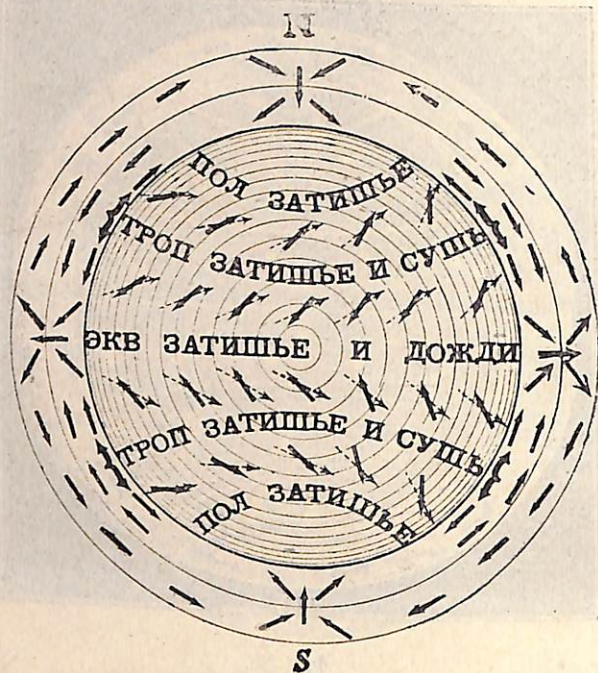
Фиг. 88.

куляціи изображено на концентрическихъ поясахъ внѣ шара, причемъ большія скорости указываются болѣе длинными стрѣлками, а меньшія—болѣе короткими. Это идеальное изображеніе основывается на предположеніи однообразія земной поверхности и даетъ среднее годовое распреденіе вѣтровъ.

¹⁾ Рис. 87 и 88-ой имѣютъ только историческій интерес и прибавлены они здѣсь къ рис. 89-му для того, чтобы можно было видѣть путемъ ихъ сравненія, какъ Феррель измѣнялъ свою теорію втеченіе тридцатилѣтнихъ трудовъ.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ВОСТОЧНЫХЪ И ЗАПАДНЫХЪ СКОРОСТЕЙ ВОЗДУХА ПО ГРАДИЕНТУ ДАВЛЕНІЯ.

Трудность получить выводы, касающіеся скоростей вѣтра въ нѣкоторомъ разстояніи отъ земной поверхности, такова, что пришлось изслѣдовать это косвеннымъ путемъ. Феррель доказалъ на основаніи математическихъ разсужденій, что, за



Фиг. 89.

исключеніемъ экваторіальной и полярныхъ областей, восточныя или западныя движенія могутъ быть выведены для всѣхъ высотъ, соображаясь съ распредѣленіемъ наблюдаемаго давленія. Онъ же доказалъ, что существуетъ прямая связь между восточными и западными скоростями и градиентомъ давленія и для послѣдняго онъ составилъ таблицу, помѣщенную на слѣдующей страницѣ. Подробности можно найти на стр. 146 его „Популярнаго трактата о вѣтрахъ“.

Широта.	Восточная и Западная скорости движенія воздуха.		
	Среднія года.	Январь.	Іюль.
	км. въ часъ.	км. въ часъ.	км. въ часъ.
N + 75°	— 4,4 + 4,8 h.	— 1,9 + 4,4 h	— 5,7 + 5,1 h.
70	— 3,3 6,6 "	— 1,1 7,5 "	— 4,8 5,8 "
65	+ 0,2 7,7 "	+ 1,6 9,6 "	— 1,2 5,9 "
60	3,9 8,3 "	5,5 10,9 "	+ 2,3 5,6 "
55	5,5 8,5 "	7,0 11,6 "	+ 4,0 5,4 "
50	5,4 8,6 "	6,4 12,1 "	4,4 5,1 "
45	4,9 8,8 "	5,5 12,6 "	4,1 5,0 "
40	+ 2,6 9,0 "	+ 2,8 12,9 "	+ 2,4 4,8 "
35	— 1,2 9,3 "	— 1,0 13,8 "	— 1,4 4,6 "
30	8,6 9,5 "	9,1 14,7 "	8,1 4,3 "
25	14,4 9,4 "	16,0 15,2 "	12,2 3,6 "
20	15,1 9,0 "	20,2 15,6 "	11,7 2,4 "
+ 15	12,5 5,6 "	21,8 10,5 "	3,8 0,6 "
...	...	...	...
...	...	...	...
S - 15	25,0 8,2 "	18,7 4,9 "	31,0 11,7 "
20	20,9 7,8 "	18,8 5,8 "	23,0 10,0 "
25	— 10,3 7,6 "	— 10,4 6,6 "	— 16,1 8,7 "
30	+ 3,8 7,5 "	+ 2,3 7,3 "	+ 5,2 7,8 "
35	12,4 7,4 "	10,0 7,8 "	14,4 7,1 "
40	18,7 7,4 "	16,0 8,2 "	21,4 6,7 "
45	24,0 7,4 "	21,0 8,6 "	27,0 6,4 "
50	27,5 7,5 "	24,5 8,9 "	30,5 6,1 "
55	27,3 7,5 "	+ 24,6 + 9,1 "	30,0 + 5,9 "
60	+ 21,9 + 7,5 "		

Въ этой таблицѣ знакъ + (въ столбцѣ скоростей) подразумеваетъ движеніе къ востоку, а — (минусъ) — движеніе къ западу. Числа выражаютъ километры въ часъ, а множитель h представляетъ высоту надъ уровнемъ моря, выраженную въ километрахъ. Первый столбецъ каждого отдѣла таблицы даетъ среднюю восточную или западную скорость у земной поверхности и къ нимъ должны быть алгебраически прибавлены соотвѣтствующія числа второго столбца, умноженные на число километровъ надъ земной поверхностью, чтобы получить скорость на данной высотѣ.

Феррель и другіе изслѣдователи находятъ эту таблицу очень полезной при изученіи механики верхняго слоя атмо-

сферы. Весьма достойно замѣчанія, говоритъ Шпрунгъ, что Феррель сдѣлалъ успѣшный опытъ изслѣдованія верхнихъ воздушныхъ теченій теоретически путемъ дедукціи, исходя изъ распредѣленія давленія на земной поверхности, цѣлыми двадцатью годами ранѣе, чѣмъ европейскіе метеорологи признали значеніе формулы уменьшенія атмосфернаго давленія съ высотой для косвеннаго опредѣленія давленія и воздушныхъ теченій въ верхнихъ слояхъ атмосферы.

Общій взглядъ Ферреля на атмосферную циркуляцію.

Собирая въ одно цѣлое результаты изслѣдованій Ферреля, касающіеся общей циркуляціи, мы можемъ вѣрнѣе формулировать ихъ слѣдующимъ образомъ:

1) Атмосфера у земной поверхности имѣетъ движеніе къ востоку въ среднихъ и высшихъ широтахъ, причемъ скорости движенія возрастаютъ съ высотой.

2) Атмосфера у земной поверхности имѣетъ движеніе къ западу въ низшихъ широтахъ, причемъ скорость уменьшается до извѣстной высоты, на которой движеніе принимаетъ направленіе къ востоку, и скорость опять начинаетъ увеличиваться съ высотой.

3) Отклоняющія силы, происходящія отъ движенія къ востоку, въ среднихъ и высшихъ широтахъ (см. 1), заставляютъ воздухъ двигаться по направленію къ экватору. Слабое вліяніе движеній къ западу въ низшихъ широтахъ у земной поверхности заставляеть воздухъ идти по направленію къ полюсу, но на большихъ высотахъ, гдѣ существуетъ движеніе къ востоку, воздухъ снова стремится къ экватору.

4) Вслѣдствіе этого (3) изобарическія поверхности понижаются на всѣхъ высотахъ въ высшихъ широтахъ и отчасти также въ области экватора; а благодаря этому около 30° широты наблюдается скопленіе воздуха и выпуклость изобарическихъ поверхностей въ нижнихъ слояхъ атмосферы. Но въ верхнихъ слояхъ maximum давленія находится на экваторѣ, а minimum на полюсахъ.

Разсматриваемая въ цѣломъ общая циркуляція воздуха представляется въ видѣ двухъ огромныхъ вихрей, по одному

въ каждомъ полушаріи, съ центромъ на полюсахъ. Направленіе движенія ихъ опредѣляется вращеніемъ земли вокругъ своей оси: въ сѣверномъ полушаріи противоположно движению часовой стрѣлки, а въ южномъ полушаріи наоборотъ. На общей периферіи этихъ вихрей имѣется атмосферное теченіе, въ которомъ движеніе воздуха идетъ въ противоположномъ направленіи. Тамъ, гдѣ находится промежуточная зона, которая отдѣляетъ внутренній вихрь отъ окружающаго его кольца съ противоположнымъ вращеніемъ, происходитъ скопленіе воздуха и, слѣдовательно, увеличеніе атмосфернаго давленія, въ зависимости отъ центробѣжной силы.

§ 3. Позднѣйшія теоріи атмосферныхъ движеній.

До появленія „Meteorologie“ Шпрунга динамика атмосферы привлекала къ себѣ мало вниманія, даже въ Австріи и Германіи метеорологическіе журналы говорили очень мало о ней, за исключеніемъ отдѣловъ обзорѣнія. Тѣмъ болѣе важными оказались труды Шпрунга по объясненію старой и новой теоріи. Слабо тлѣвшая искра интереса къ ученію объ атмосферной механикѣ вскорѣ разгорѣлась въ яркое пламя, благодаря появленію нѣсколькихъ сочиненій, написанныхъ талантливыми учеными ¹⁾. Въ 1846 г. Вернеръ Сименсъ представилъ въ Берлинскую Академію наукъ сочиненіе, въ которомъ онъ излагаетъ теорію атмосферныхъ движеній, прилагая принципъ сохраненія энергіи къ объясненію этихъ явленій. Въ этомъ сочиненіи авторъ обращается къ основнымъ принципамъ и сочиненіи авторъ обращается къ основнымъ принципамъ и не пользуется результатами, добытыми Феррелемъ и другими; такимъ образомъ оказывается, что нѣкоторые положенія, которыя авторъ излагаетъ какъ новыя, были уже раньше трактованы болѣе или менѣе удовлетворительнымъ образомъ. Еще до сихъ поръ такіе вопросы, какъ происхожденіе и поддержаніе барометрическихъ maximum'овъ и minimum'овъ

¹⁾ Только немногія изъ этихъ сочиненій могутъ быть упомянуты здѣсь, но замѣтки о нихъ можно найти у Аббе въ изданіяхъ Smithsonian Institution за 1891 г. и въ American Journal of science 1890 г., а также въ критическихъ обзорѣніяхъ Перитера и Шпрунга.

и механика смерчей требуют разработки; поэтому каждая работа, выдвигающая новый метод излѣдованія, есть шагъ по пути къ открытію истины. Въ теоріи Сименса, принятъ такой же взглядъ какъ и у Ферреля, на перво-причину воздушныхъ теченій, но послѣдующее разсужденіе подходитъ ближе къ идеямъ Дове; несомнѣнно, еслибы Дове зналъ недавно открытый законъ сохраненія энергіи, онъ могъ бы удовлетворительно разрѣшить задачу общей атмосферной циркуляціи. Теорія Сименса состоитъ въ слѣдующемъ. Мы должны сначала вообразить, что атмосфера находится вездѣ въ относительномъ покоѣ; но она обладаетъ чрезъ свое абсолютное вращательное движеніе извѣстнымъ количествомъ живой силы. Теперь предположимъ, что вся атмосфера внезапно перемѣшана, тогда получится вездѣ равномерная скорость вращенія и величина ея будетъ такова, что сумма живыхъ силъ останется какъ разъ та же самая, что была и прежде. Эту равномерную скорость вращенія онъ нашелъ равной 379 метрамъ въ секунду. Комбинируя ее съ абсолютной скоростью воздуха, получаемой отъ вращенія земли, онъ находилъ относительное движеніе воздуха. Вычисленіе показываетъ, что на экваторѣ долженъ дуть восточный вѣтеръ, въ 85 мет. въ секунду, который долженъ уменьшаться въ скорости съ возрастаніемъ широты; въ широтѣ $35^{\circ} 26'$ совсѣмъ нѣтъ вѣтра, а затѣмъ является западный вѣтеръ, который возрастаетъ въ скорости съ увеличеніемъ широты, пока на полюсѣ не достигаетъ 379 метр. въ секунду.

Конечно, эти величины въ значительной степени схематичны и не представляют собою скоростей вѣтра, встрѣчающихся въ дѣйствительности.

§ 4. Общая циркуляція воздуха по Сименсу.

Первоначальная циркуляція воздуха въ плоскости меридіана зависитъ: 1) отъ ускоренія получаемого воздухомъ въ жаркомъ поясѣ экваторіальныхъ раіоновъ вслѣдствіе перегрѣванія нижнихъ слоевъ воздуха и 2) отъ потери силы, которую испытываетъ движущійся воздухъ въ своемъ теченіи. Атмосфера въ продолженіе тысячелѣтій приобрѣла вращатель-

ную скорость земли безъ помощи этихъ меридіональных теченій. Если меридіональные теченія существуютъ, то, по Сименсу, они не подчиняются, какъ это предполагаетъ Феррель, закону „сохраненія площадей“ или, какъ слѣдовало бы сказать въ данномъ случаѣ, закону „сохраненія момента вращенія“; Сименсъ же думаетъ, что теченія продолжаются съ неизмѣнной абсолютной скоростью и слѣдовательно сохраняютъ свою живую силу. Мы не можемъ изложить здѣсь всѣ аргументы Сименса, приведенные въ его сочиненіи: „Ueber das allgemeine Windsystem der Erde“ ¹⁾, и ограничимся перечисленіемъ главныхъ его выводовъ:

его выводовъ:
1) Всѣ движенія воздуха происходятъ вслѣдствіе нарушенія безразличнаго равновѣсія атмосферы, и ихъ назначеніе состоитъ въ восстановленіи этого равновѣсія.

2) Это нарушение зависит от перегрѣванія солнечными лучами воздушныхъ слоевъ, лежащихъ вблизи почвы, отъ неравномѣрнаго охлажденія верхнихъ воздушныхъ слоевъ чрезъ лучеиспусканіе и отъ скопленія массъ движущагося воздуха при встрѣчѣ съ препятствіями.

3) Нарушение это устраняется восходящими воздушными течениями, движущимися съ ускореніемъ такимъ образомъ, что приращеніе скорости воздуха пропорціонально уменьшенію воздушнаго давленія.

4) Въ соотвѣтствіи съ этими восходящими потоками являются нисходящіе потоки, въ которыхъ замѣчается замедленіе скорости воздуха, соотвѣтствующее увеличенію скорости восходящаго теченія.

5) Когда районы перегрѣванія въ нижнихъ слояхъ воздуха ограничены, то появляется мѣстное восходящее теченіе, простирающееся до высшихъ слоевъ атмосферы, и тогда образуется смерчъ съ вихревымъ движеніемъ: внутренній спиральный восходящій потокъ и внѣшній подобный же спиральный нисходящій потокъ. Результатомъ этихъ вихревыхъ теченій оказывается распредѣленіе избытка тепла низшихъ воздушныхъ слоевъ, въ которыхъ было нарушено условіе адиабатическаго теченія.

¹⁾ Sitzungsberichte d. Berl. Akad. Июнь 1890 г.; перепечатано въ Meteorologische Zeitschrift. Сент. 1890.

тического равновѣсія, по всей массѣ сверху находящагося воздушнаго столба, который принимаетъ участіе въ вихрѣ.

6) Въ томъ случаѣ, когда область, въ которой безразличное (адиабатическое) равновѣсіе нарушено, очень велика, т.-е., когда она обнимаетъ цѣлую тропическую зону, температура не можетъ быть уравнена мѣстными вихрями, а должны образоваться вихревыя теченія, обнимающія всю атмосферу. Мы находимъ въ нихъ условія, соотвѣтствующія условіямъ ускореннаго подъема и замедленнаго паденія воздуха въ мѣстныхъ вихряхъ; скорость воздуха, являющаяся слѣдствіемъ дѣйствія тепла, на различныхъ высотахъ приблизительно обратно пропорціональна воздушному давленію, господствующему на этихъ высотахъ.

7) Вслѣдствіе меридіональных теченій, вызываемыхъ и поддерживаемыхъ работой тепла, весь воздушный океанъ долженъ вращаться во всѣхъ широтахъ приблизительно съ одной и той же абсолютной скоростью. Меридіональные теченія, происшедшія отъ перегрѣванія, комбинируются съ теченіями вызванными вращеніемъ земли, въ большую систему теченій, охватывающую всю землю, и при ихъ посредствѣ экваторіальное тепло и влага переносятся въ среднія и высшія широты, и тамъ возбуждаютъ мѣстные воздушные теченія.

8) Послѣднія вызываются путемъ мѣстнаго увеличенія или уменьшенія воздушнаго давленія, вслѣдствіе нарушенія безразличнаго равновѣсія въ высшихъ слояхъ атмосферы.

9) Maxima и minima воздушнаго давленія представляютъ собою результатъ температуры и скорости воздушныхъ теченій въ верхнихъ слояхъ атмосферы.

§ 5. Общая циркуляція атмосферы по Мёллеру.

Одно изъ интереснѣйшихъ сочиненій, въ которыхъ сдѣлана попытка получить числовыя, хотя приблизительныя результаты, касающіеся общихъ атмосферныхъ движеній, принадлежитъ не германскому инженеру Макса Мёллера ¹⁾. Это

¹⁾ Der Kreislauf der atmosphärischen Luft zwischen hohen und niederen Breiten, die Druckvertheilung und mittlere Windrichtung. Von Max Möller. Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte. X Jahrgang. Hamburg 1887.

сочиненіе главнымъ образомъ посвящено циркуляціи воздуха въ низшихъ широтахъ, а кромѣ того въ немъ есть написанныя съ большою ясностью дополнительные главы.

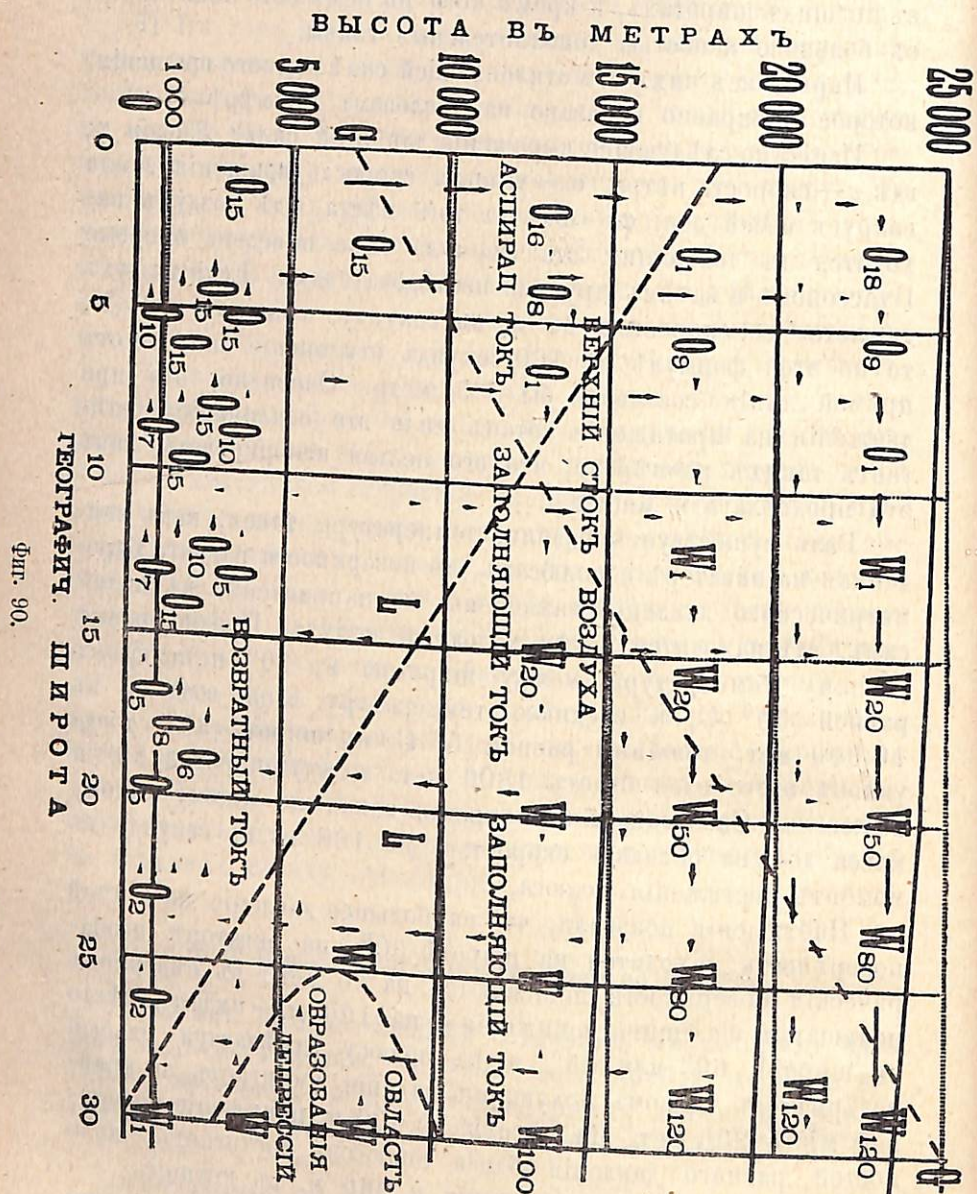
Первая изъ нихъ объ отклоняющей силѣ земнаго вращенія, которое прекрасно показано на числовомъ примѣрѣ.

Извѣстно слѣдующее выраженіе для этой силы: $2v \sin \varphi$, гдѣ v — скорость вѣтра, ω — угловая скорость вращенія земли вокругъ своей оси, φ — широта того мѣста, гдѣ воздухъ находится въ движеніи. Эта формула была выведена впервые Пуассономъ и затѣмъ другими изслѣдователями. Если воздухъ движется со скоростью 20 м. въ секунду, а широта 30° N, то по этой формулѣ въ 100 секундъ отклоненіе направо отъ прямой линіи составило бы 7.3 метр. Очевидно, что при движеніи на протяженіи сотенъ миль это отклоненіе достигаетъ такихъ размѣровъ, что его нельзя игнорировать, какъ это предполагали многіе.

Разъ существуетъ разница температуры такая, какъ найденная на экваторѣ и полюсахъ, то поверхности равнаго барометрическаго давленія наклонены по направленію къ полюсамъ, гдѣ находится болѣе холодный воздухъ. Предположимъ разницу температуры между широтою въ 30° и полюсомъ равной 50° C, а среднюю температуру слоя воздуха въ 10,000 мет. толщины равной 5° C. въ широтѣ 30° ; тогда уклонъ этого слоя будетъ 1800 мет. между широтой 30° и полюсомъ. Скользящая безъ тренія внизъ по такому уклону масса должна обладать скоростью въ 188 м. въ секунду въ моментъ достиженія полюса.

Наблюденія показали, что наибольшее давленіе на земной поверхности находится на широтѣ 30° ; на экваторѣ изобарическія поверхности понижаются на 80 мет.; въ сѣверномъ полушаріи maximum пониженія — на 100 м. — имѣетъ мѣсто на широтѣ 60° или 65° , а къ полюсу замѣчается слабый подъемъ; въ южномъ полушаріи паденіе достигаетъ по крайней мѣрѣ 200 мет. На высотѣ 10,000 м. пониженіе поверхностей равнаго давленія близъ полюсовъ достигаетъ около 860 м. въ сѣверномъ полушаріи и 960 м. въ южномъ.

Съ точки зрѣнія чистой теоріи результаты, полученные Мёллеромъ касательно общей циркуляціи, и его картина воз-



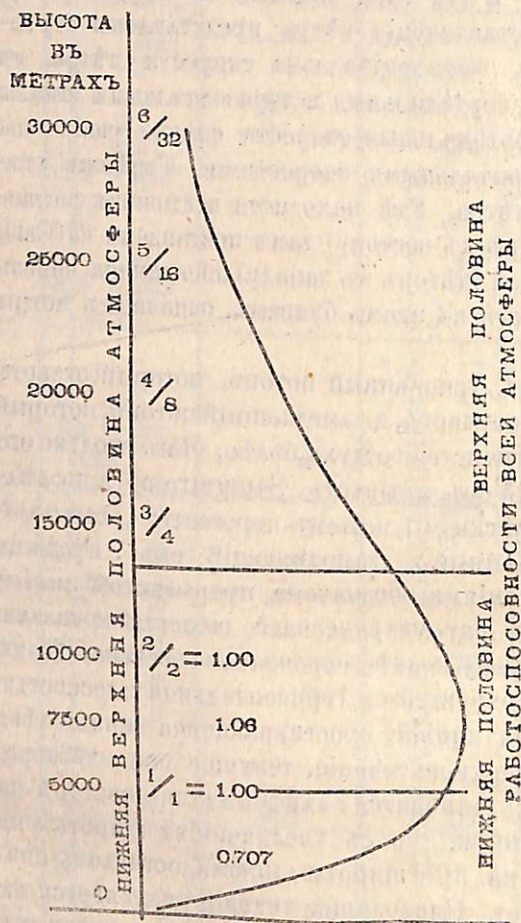
душныхъ движеній заслуживаютъ особаго упоминанія здѣсь, хотя подобно всѣмъ такимъ попыткамъ, результаты эти весьма схематичны.

На приложенномъ рис. 90 Мёллеръ начерталь въ плоскости меридіана видъ циркуляціи, начиная съ экваторіальнаго раіона до широты 30° и для слоя высотой въ 25,000 метр. На этой діаграммѣ составляющіи вѣтра представлены стрѣлками, длина которыхъ пропорціональна скорости вѣтра, съ тѣмъ измѣненіемъ, что вертикальныя и горизонтальныя шкалы не однѣ тѣ же; всѣ вертикальныя скорости сильно увеличены сравнительно съ горизонтальными скоростями. Стрѣлки указываютъ направленіе вѣтра. Гдѣ находится восточная составляющая скорости (вѣтеръ къ востоку) тамъ поставлено O (Ost), а западная составляющая (вѣтеръ къ западу) обозначена черезъ W; цифры, приложенныя къ этимъ буквамъ, означаютъ метры въ секунду.

Мёллеръ различаетъ ускоренный потокъ, который отдаетъ воздуха больше, чѣмъ получаетъ, и замедленный потокъ, который вноситъ въ данное пространство воздуха болѣе, чѣмъ сколько его оттуда выходитъ. Первый онъ называетъ „Saugestrom“, а послѣдній „Staustrom“, по-русски мы можемъ перевести: „всасывающій токъ“ или аспираціонный и „заполняющій токъ“. Граница между этими двумя теченіями обозначена прерывистой линіей G. Поверхности равнаго барометрическаго давленія показаны толсто проведенными внизу подлѣ горизонтали линіями. Точки пересѣченія этихъ поверхностей съ горизонтальной плоскостью соединяются пунктирной линіей, простирающейся внизъ слѣва направо. Видно, что верхнее теченіе, текущее отъ экватора, (верхній стокъ воздуха) становится замѣтнымъ на экваторѣ на высотѣ отъ 5000—7000 м., но съ увеличеніемъ широты высота увеличивается и на 30° широты высота достигаетъ низшаго предѣла 15000 мет. Нисходящее теченіе раздѣляется на „аспираціонный“ и „заполняющій“ потоки, граница которыхъ опредѣляется линіей G. Это раздѣленіе происходитъ на высотѣ 7000 м. на экваторѣ и на высотѣ 25,000 мет. на широтѣ 30° при обыкновенныхъ условіяхъ. Если на нѣкоторомъ разстояніи отъ экватора, развиваются мѣстныя восходящія теченія, то этотъ раздѣлъ находится на меньшей высотѣ.

ЭНЕРГІЯ, РАЗВИВАЕМАЯ ВОЗДУХОМЪ НА РАЗЛИЧНЫХЪ ВЫСОТАХЪ.

Количество энергіи, которое способенъ развить воздухъ, приблизительно пропорціонально наклону поверхностей равнаго давленія и плотности воздуха.



Фиг. 91.

на высотѣ 5000 мет. принимается за единицу. Величины для верхней половины атмосферы вычислены при предполагаемомъ условіи отсутствія градіента на земной поверхно-

сти. Мёллеръ нашелъ, что энергія на единицу объема = 4.00 килограмметра для цѣлой атмосферы и 0.63 к. м. для нижней ея половины, т.-е. ниже 5000 м. Отсюда получается количество энергіи для верхней половины почти въ шесть разъ большее, чѣмъ для нижней половины, при предположеніи, что горизонтальная разница температуры вверху и внизу одинакова и что нѣтъ градіента на земной поверхности. Изъ этого очевидно, что верхняя атмосфера не можетъ быть оставляема безъ вниманія при изслѣдованіи метеорологическихъ явленій. Энергія дѣлится пополамъ высотой въ 13000 м., которая находится въ области перистыхъ облаковъ.

§ 6. Общія атмосферныя движенія по Обербеку (Oberbeck).

Обербекъ ¹⁾ сдѣлалъ попытку составить планъ общей циркуляціи атмосферы, устранивъ нѣкоторыя шаткія предположенія предыдущихъ изслѣдователей. Точкой отправленія для него служили гидродинамическія уравненія, развитыя Гельмгольцемъ, Томсономъ, Кирхгофомъ и др., и противъ употребленія которыхъ нельзя ничего возразить. Исходя изъ предположенія, что движенія зависятъ отъ разницы въ плотности воздуха, Обербекъ принималъ во вниманіе отклоняющую силу, являющуюся слѣдствіемъ вращенія земли вокругъ оси, а также и вліянія тренія. Эти послѣднія онъ изслѣдовалъ особо. Онъ утверждаетъ, что сопротивленія, которыя встрѣчаютъ массы движущагося воздуха, весьма различны по силѣ. Если быстро движущаяся масса воздуха находится въ неподвижной воздушной средѣ, то сопротивленіе значительно и подобно тому, какое встрѣчаетъ твердое тѣло при своемъ движеніи въ атмосферѣ.

Если масса движущагося воздуха подчинена постоянно дѣйствующей силѣ, то она раздѣляется на струи или, какъ Гельмгольцъ называетъ ихъ, разрывныя теченія, которыя

¹⁾ „Ueber die Bewegungserscheinungen der Atmosphäre“ Von Oberbeck (in Greifswald). Sitzungsberichte d. Kön. Preussischen Akad. d. Wissenschaften zu Berlin, 1888; pp. 383—395, 1129—1138. Также популярное сочиненіе подъ тѣмъ же названіемъ въ Wissenschaft. Rundschau, 1888 и перепечатанное въ Meteorolog. Zeitschrift. Aug. 1888.

проходят через спокойный воздух с относительно малым трением. Два смежных, параллельно движущихся, течения оказывают друг на друга слабое взаимодействие: более скоро движущийся замедляется, а другой наоборот ускоряется; взаимодействие это возрастает, если воздух двух течений перемешивается при помощи каких-нибудь промежуточных течений, зависящих от местных причин. Вообще казалось бы, что может применяться закон сопротивления, формулированный Ньютоном, т.е. что сопротивление пропорционально разности в скоростях двух жидкостей. Но этот простой закон не может быть приложен непосредственно к объяснению действительно существующего трения в атмосферных движениях.

Обербек выводит при помощи известных законов зависимости плотности воздуха от давления и температуры следующую теорему:

„Если мы допустим существование известного распределения температуры по всей земной поверхности или части ее в продолжение значительного промежутка времени, то мы найдем, что появятся непрерывные воздушные течения, которые можно определить вычислением, если распределение температуры известно“.

Это та же мысль, из которой исходило большинство изысканий, касающихся вопроса общих атмосферных движений, а главная разница между различными теориями заключается в способе ее приложения. Говоря о распределении температуры, Обербек настаивает на применении сферических функций. Это воскресило в памяти метеорологов сочинение, написанное В. Шохом (W. Schoch) в 1856 г., в котором прекрасно изложено применение сферических функций к изображению распределения температуры на земной поверхности.

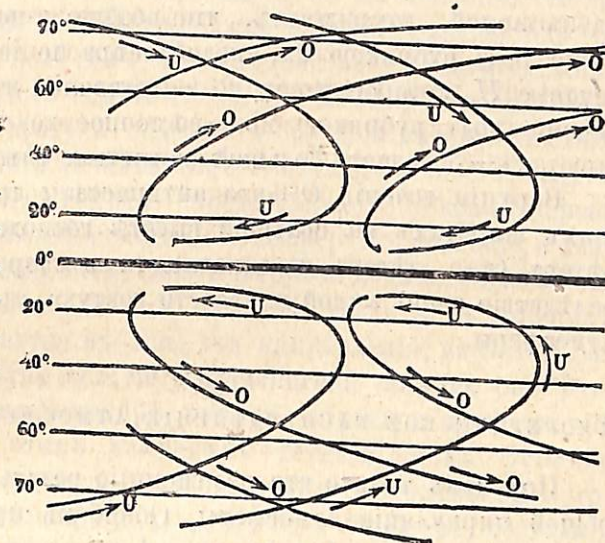
Как и в теории Ферреля, Обербек нашел удобным начать с предположения о существовании движений помимо вращения земли, а затем уже определить возмущающее действие его на эти движения.

1) Без условия обращения земли вокруг оси должно бы происходить следующее:

а) Меридиональное течение в северном полушарии движется по направлению к югу внизу и по направлению к северу вверх. Оно достигает наибольшей скорости на 45° широты и исчезает на экваторе и на полюсах.

б) Вертикальное течение прекращается у земной поверхности и у верхнего предела атмосферы. От экватора до $35^\circ 16'$ сев. и южн. широты воздушное течение является восходящим, а в

высших широтах нисходящим. Его скорость на полюсе двойная сравнительно с экватором. Вертикальное течение так относится к горизонтальному течению, как высота атмосферы к радиусу земли, и сила действия зависит от его протяжения в ширину.



2) Течения при условии обращения земли вокруг оси будут двоякими:

а) Движение одного течения идет по направлению к западу на экваторе, но изменяет свое направление в восточное на широте $35^\circ 16'$.

б) Движение другого течения равно нулю на экваторе, достигает максимума на шир. $54^\circ 44'$ и все сплошь восточное. Движение его у земной поверхности равняется также нулю, но на больших высотах представляет значительную величину. Оба эти движения исчезают на полюсах.

На рис. 92-м Обербек представил нарисованную в Меркаторовой проекции карту циркуляции атмосферы, как результат предыдущих выводов.

Течения къ полюсу, отмѣченныя буквой *O*, это верхнія течения, а течения, идущія къ экватору и обозначенныя черезъ *U*—нижнія, близкія къ земной поверхности. Горизонтальныя течения соединяются при помощи нисходящихъ теченій у полюсовъ и восходящихъ теченій на экваторѣ. Кривыя *U* между тропиками, представляютъ съ значительной вѣрностью пассаты, встрѣчаемые въ океанахъ. Обербекъ утверждаетъ, что соотвѣтствіе этой циркуляціи съ дѣйствительно наблюдаемой, доказываетъ, что вообще течение, отмѣченное выше подъ рубрикою 2а, уподобляется по величинѣ нижнему теченію *U*, которое идетъ по направленію къ экватору, и что течение подъ рубрикою 2b—восточное течение на большихъ высотахъ—обладаетъ большей скоростью, чѣмъ нижнее течение.

Верхнія течения *O*—это антипассаты тропиковъ. Въ высшихъ широтахъ на большой высотѣ господствуетъ восточный вѣтеръ (т.-с. вѣтеръ съ запада), тамъ скорости уменьшаются вслѣдствіе очень малой плотности воздуха въ высокихъ слояхъ атмосферы.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДѢЛЕНІЕ АТМОСФЕРНАГО ДАВЛЕНІЯ.

Получивъ только что изложенные результаты относительно общей циркуляціи атмосферы, Обербекъ приступаетъ къ изслѣдованію распредѣленія атмосфернаго давленія. Разности крайнихъ температуръ на земной поверхности, доходящія до 70° С, при условіи равномѣрности, являются причиной разницы въ плотности воздуха болѣе чѣмъ въ 20% . Но такъ какъ плотность и давленіе уравниваются другъ друга, то maximum давленія произойдетъ тогда, когда температура низка и minimum, если температура высока. Тотъ фактъ, что дѣйствительная средняя разница давленія на земной поверхности равняется только 7% , объясняется тѣмъ, что появляются воздушныя течения, которыя движутся вообще по направленію возрастанія температуры внизъ и въ обратномъ направленіи вверхъ. Относительно того факта, что, если разсматривать атмосферу въ цѣломъ, давленіе на экваторѣ оказывается пониженнымъ, возрастаетъ до maximum'a между 20° и 40° широты и уменьшается на полюсахъ, Обербекъ со-

гласенъ съ Феррелемъ, говоря, что это происходитъ, благодаря вліянію земного вращенія на воздушныя течения. Обербекъ приходитъ къ выводу, что существующее распредѣленіе давленія вполне объяснимо при помощи теченій атмосферы, и что если давленіе воздуха извѣстно, то можно легко вычислить интенсивность теченій.

Если бы не было явленія вращенія земли, и температура измѣнялась бы только съ широтой, а не съ долготой, то на поверхности земли барометрическое давленіе возрастало бы отъ экватора къ полюсамъ. Но въ дѣйствительности давленіе не подлежитъ такимъ измѣненіямъ. По мнѣнію метеорологовъ вихревыя течения воздуха обладаютъ большей интенсивностью, чѣмъ меридіональныя течения, такъ что неправильности, являющіяся результатомъ вихрей, представляютъ условіе первой важности при составленіи системы атмосфернаго давленія и движеній; Обербекъ находитъ, какъ и Феррель доказалъ нѣсколько лѣтъ ранѣе, что вращательное движеніе воздуха въ высшихъ широтахъ совершается въ томъ же направленіи, какъ и обращеніе земли вокругъ оси; но на извѣстной широтѣ оно равняется нулю, а на экваторѣ имѣетъ обратное направленіе. Найдя величину этихъ вихревыхъ теченій, какъ функцію разстоянія отъ полюса, и зная величины вертикальной и горизонтальной составляющихъ, Обербекъ былъ въ состояніи дать формулу для вычисленія распредѣленія давленія.

Скорость вращательнаго движенія воздуха мала въ сравненіи со скоростью вращенія земли, максимальная ея величина 4.59 мет. (въ секунду) на широтѣ $56^{\circ}27'$.

Отъ полюса до широты $16^{\circ}49'$ вихревое течение идетъ по направленію къ востоку. Надо помнить, что Обербекъ разсматривалъ предварительно главное вихревое течение, какъ образовавшееся изъ двухъ составляющихъ, упомянутыхъ подъ рубрикою 2, имѣющихъ преобладаніе каждое въ своемъ извѣстномъ районѣ. Въ районѣ, лежащемъ между 35° широты и областью экватора, должны были бы быть течения, проходящія одно надъ другимъ, но въ обратныхъ направленіяхъ; вслѣдствіе этого полоса свободная отъ вихревыхъ теченій должна была бы лежать ближе къ экватору, чѣмъ на 35° широты.

Обербекъ утверждаетъ, что его результаты почти вполнѣ совпадаютъ съ полученными Вернеромъ Сименсомъ, отступление заключается только въ томъ, что восточное движеніе (т.е. по направленію востоку) на большихъ высотахъ и высшихъ широтахъ имѣетъ то преимущество надъ восточнымъ движеніемъ низшихъ высотъ и низшихъ широтъ, что теряетъ путемъ тренія гораздо меньшее количество живой силы, чѣмъ послѣднее.

Остается прибавить еще нѣсколько словъ относительно вертикальной и меридіональной составляющихъ движенія атмосферы. Вертикальная составляющая вліяетъ на восходящій потокъ на экваторѣ и полюсахъ и на нисходящій потокъ въ среднихъ широтахъ; слѣдовательно, верхнее теченіе, существующее на экваторѣ, ускоряется, а существующее на полюсахъ нисходящее теченіе замедляется. Меридіональная составляющая у земной поверхности на экваторѣ равна нулю, отсюда до 24° широты она имѣетъ направленіе къ югу, а отъ этой точки, становясь полярной, поворачивается къ сѣверу и обращается въ нуль на полюсахъ. Экваторіальное теченіе продолжается, слѣдовательно, на тропикахъ и прекращается въ высшихъ широтахъ.

§ 7. Общіе замѣчанія о треніи горизонтальныхъ теченій.

То, что можетъ быть названо треніемъ при скольженіи одного слоя воздуха о другой воздушный слой, такъ незначительно, что для практическихъ цѣлей можетъ быть опущено безъ вниманія, когда дѣло идетъ о воздушныхъ теченіяхъ, продолжающихся недолгое время. Горизонтальное теченіе, обладающее извѣстной скоростью, можетъ идти рядомъ съ другимъ параллельнымъ теченіемъ съ отличной отъ него скоростью, и треніе между ними не дастъ себя чувствовать долгое время нигдѣ, кромѣ узкой полосы въ мѣстѣ ихъ соприкосновенія. Какъ ничтожно это треніе, можно судить по слѣдующему примѣру. Если принять въ расчетъ треніе, то окажется, что теченіе, протекающее постоянно въ продолженіе 26 лѣтъ надъ спокойной массой воздуха, отдаетъ лишь половину своей скорости первоначально спокойному воздуху на

разстояніи ста метровъ ниже поверхности соприкосновенія. Опредѣленіе дѣйствительнаго вліянія тренія на измѣненіе скорости воздушныхъ теченій съ измѣненіемъ высоты надъ поверхностью суши и воды, — это вопросъ, который требуетъ громаднаго количества наблюденій, чтобы можно было прійти къ числовымъ выводамъ, примѣнимымъ на практикѣ.

Немногіе опыты, произведенные въ Великобританіи Стевенсономъ и Арчибальдомъ, показали, что возрастаніе скорости вѣтра съ увеличеніемъ высоты надъ землею до нѣсколькихъ сотенъ футовъ опредѣляется по слѣдующей формулѣ: скорость въ миляхъ въ часъ $= 18 \cdot 7 + 0 \cdot 13 \sqrt{\text{высота въ футахъ}}$.

Малое практическое значеніе такой формулы доказывается слѣдующими данными, полученными во время долготѣхъ наблюденій на близкихъ станціяхъ, находящихся на различной высотѣ. Было найдено, что между горой Вашингтонъ (А. С. Ш.) и недалеко отъ нея отстоящей прибрежной станціей замѣчался приростъ въ 0·33 мили въ часъ для средней годовой скорости на каждые сто футовъ высоты, тогда какъ въ маѣ приростъ равнялся 0·28 мили въ часъ, а въ декабрѣ доходитъ до 0·42 мили въ часъ. Когда для сравненія берется низкая станція внутри материка, то получается большій размѣръ измѣненія вѣтра съ высотой. Въ восточномъ Массачузетсѣ на берегу возрастаніе скорости вѣтра на высотѣ 600 футъ было въ средней годовой 37% скорости у поверхности, въ январѣ — 22% и въ августѣ — 62%.

Сравненіемъ Pike's Peak (высота 4.308 мет) съ Dodge City въ Канзасѣ найдено, что возрастаніе равняется 1% въ іюль, 129% въ январѣ и 63% въ среднемъ для всего года. Во всякомъ случаѣ, кажется, существуетъ опредѣленный періодъ въ году, когда степень возрастанія наибольшая, почему малочисленные наблюденія и не могутъ дать средняго вывода.

Что касается до различія во вліяніи поверхностей воды и суши на силу вѣтра, то я думаю, что если инструментъ на хорошей континентальной станціи у самой поверхности земли даетъ силу вѣтра = 1, а при очень открытой установкѣ его въ свободномъ воздухѣ даетъ силу вѣтра = 2, то при правильной установкѣ на берегу моря дастъ силу вѣтра = 3, а

среди океана = 4 при тѣхъ же самыхъ условіяхъ атмосфернаго теченія. Слѣдовательно, числа очень неточно выражаютъ эти отношенія.

§ 8. Общія движенія атмосферы по Гельмгольцу.

АТМОСФЕРНОЕ ТРЕНІЕ.

Тогда какъ другіе изслѣдователи удовлетворялись общими замѣчаніями относительно вліянія тренія на атмосферныя движенія, Гельмгольцъ далъ намъ болѣе специальное изслѣдованіе этого вопроса ¹⁾. Экспериментальный путь изслѣдованія невозможенъ, такъ какъ размѣры лабораторныхъ опытовъ слишкомъ малы; такъ, напримѣръ, если изслѣдовать воздушный слой въ 1 метръ толщины, то вліяніе тренія для движенія съ среднею скоростью вѣтра будетъ въ 8026 разъ больше, чѣмъ въ атмосферномъ слоѣ высотой въ 8026 метровъ, предполагая плотность воздуха постоянною и температуру равною 0°C.

Впрочемъ, въ нѣкоторыхъ отдѣльныхъ случаяхъ дѣйствіе тренія можно разсматривать опредѣливъ для воздуха постоянную тренія. Если воздухъ, обладая постоянной плотностью, имѣетъ нѣкоторую данную скорость движенія, и если вслѣдствіе тренія о почву замедленіе передается послѣдовательно всѣмъ слоямъ воздуха, лежащимъ вверху, то потребовалось бы 42,747 лѣтъ, чтобы уменьшить скорость движенія на половину. Въ дѣйствительности уменьшеніе давленія и температуры должны еще увеличить указанное время. Потеря живой силы путемъ тренія, слѣдовательно, происходитъ вблизи земной поверхности и на окраинахъ второстепенныхъ неправильныхъ или вихревыхъ движеній.

Подобное этому вычисленіе можно сдѣлать для теплопроводности слоевъ атмосферы, которое покажетъ, что надо бы 36164 года, чтобы уменьшить хоть на половину единственно путемъ теплопроводности разницу температуръ, су-

¹⁾ „Ueber atmosphärische Bewegungen“. Von Helmholtz. Sitzungsberichte d. Kön. Preus. Akad. d. Wissen. zu Berlin. Часть I, 1888, часть II, 1889.

ществующую между верхнимъ и нижнимъ предѣлами атмосферы постоянной плотности.

Гельмгольцъ доказалъ, что свободная циркуляція воздуха въ зонѣ пассатовъ не можетъ простирается далѣе 30° широты. Онъ нашелъ, что если воздухъ въ какомъ нибудь вращающемся воздушномъ поясѣ, котораго ось находится на полюсѣ, несется безпрепятственно къ сѣверу, либо къ югу, то моментъ вращенія будетъ оставаться постояннымъ. Прилагая этотъ принципъ, онъ нашелъ, что воздухъ, который находится въ покоѣ на экваторѣ, достигъ бы слѣдующихъ скоростей при повышеніи широты:

Скорость	14.18	метровъ въ секунду на широтѣ	10°
„	57.63	„ „ „ „ „	20°
„	133.65	„ „ „ „ „	30°

И такъ, очевидно, что воздухъ не можетъ безпрепятственно дойти даже до широты 20° не достигнувши почти неслыханной скорости движенія относительно скорости земли. Конечно, должна существовать циркуляція воздуха въ зонѣ пассатовъ, и интересно знать, какимъ способомъ вѣтеръ удерживается отъ развитія такихъ громаднхъ скоростей. Гельмгольцъ доказываетъ, что въ такомъ вращающемся поясѣ воздуха должно находиться кольцо, гдѣ воздухъ спокоенъ и что давленіе уменьшается по направленію отъ этого кольца къ экватору и къ полюсу. Изъ его разсужденія вытекаетъ само собою другое независимое доказательство существованія кольца высокаго давленія вокругъ земли въ среднихъ широтахъ и сопровождающаго его пояса затишья.

Гельмгольцъ далъ также общій очеркъ условій атмосфернаго равновѣсія, опредѣляемаго содержаніемъ тепла различныхъ слоевъ воздуха. Онъ начерталъ форму этихъ слоевъ при различныхъ предполагаемыхъ условіяхъ и далъ ихъ положеніе при сложномъ условіи продолжительнаго измѣненія скорости вращенія вмѣстѣ съ измѣненіемъ содержанія тепла; это послѣднее имѣетъ особенное значеніе при объясненіи наблюдаемыхъ явленій.

„Если слой воздуха съ наибольшимъ содержаніемъ тепла

тянется вверху по направлению къ полюсу міра. (т.-е. параллельно земной оси), то онъ долженъ находиться въ состояніи устойчиваго равновѣсія“.

Эта теорема въ приложеніи къ объясненію дѣйствительныхъ атмосферныхъ условій имѣетъ громадное значеніе для метеорологіи, но слишкомъ трудно изложить ее безъ помощи математическихъ обозначеній. Надо замѣтить только, что если воздушный слой тянется по направлению къ полюсу міра, то уголь, подъ которымъ онъ наклоненъ къ горизонту, весьма малъ вблизи экватора и постепенно возрастаетъ по направлению къ полюсу.

Въ томъ случаѣ, когда кольца окружаютъ полюсъ, и температура и широта измѣняются, а измѣненіе температуры идетъ непрерывно, тогда для устойчиваго равновѣсія, содержаніе тепла должно возрасти по направлению къ полюсу міра. Другими словами теплое кольцо должно приходиться на полярной сторонѣ холоднаго кольца. Если кольца налегаютъ одно на другое, то болѣе теплое должно быть сверху.

Ходъ постепеннаго нарушенія равновѣсія путемъ нагрѣванія воздуха опредѣленъ Гельмгольцемъ такъ: нижняя сторона воздушнаго слоя нагрѣвается, прикасаясь къ теплой почвѣ, и начинаетъ подниматься сначала въ видѣ отдѣльныхъ струй, смотря по тому, какія условія представляетъ нагрѣтая поверхность прикосновенія, а затѣмъ переходитъ постепенно въ широкія теченія. Распределеніе тепла совершается быстро сквозъ воздушный слой и если этотъ послѣдній находится сплошь въ адиабатическомъ равновѣсіи или, какъ говоритъ Гельмгольцъ, съ равнымъ тепловымъ содержаніемъ, то теченія стараются распределить теплоту до верхняго предѣла слоя. Аналогичный съ этимъ процессъ происходитъ въ томъ случаѣ, когда верхняя сторона воздушнаго слоя охлаждается вслѣдствіе потери тепла.

Напротивъ, если верхняя сторона нагрѣвается или нижняя сторона охлаждается, то этихъ конвективныхъ движеній не происходитъ.

Такъ какъ распространеніе тепла путемъ теплопроводности въ цѣлой атмосферѣ совершается очень медленно, а равнымъ образомъ радіація оказываетъ очень малое вліяніе въ

чистой атмосферѣ, то холодные воздушные слои вблизи почвы и теплые вверху удерживаются долгое время безъ измѣненія и такимъ образомъ равновѣсіе температуры возстановляется очень медленно.

То же происходитъ при измѣненіи скорости отъ тренія. При нормальномъ наклонѣ воздушныхъ слоевъ верхняя грань ближе къ земной оси, чѣмъ нижняя.

Если слой достигаетъ земной поверхности и тамъ дуетъ западной вѣтеръ, то скорость вращенія нижней части замедляется, ея центробѣжная сила слабѣетъ, а на полярной сторонѣ слоя замѣчается движеніе вверхъ съ приближеніемъ къ оси; такимъ образомъ положеніе, при которомъ возстановляется равновѣсіе, можетъ быть достигнуто на верхней границѣ слоя.

Такія же явленія должны происходить въ вертикальныхъ теченіяхъ, какія происходятъ въ восходящемъ тепломъ воздухѣ, но въ томъ только случаѣ, если разница скоростей вращенія внизу и вверху мала, а такъ какъ дѣйствіе распространяется по цѣлой воздушной массѣ, оно менѣе замѣтно на нижней сторонѣ слоя, чѣмъ еслибы оно ограничивалось только верхней частью.

Восточный вѣтеръ подверженъ обратному дѣйствію. Скорость его вращенія возрастаетъ отъ тренія о земную поверхность. Движущаяся масса воздуха, будучи въ положеніи равновѣсія, господствующаго внутри воздушнаго слоя, нагнетается вдоль земной поверхности въ ближайшій слой по направлению къ экватору. Если въ то же время воздухъ нагрѣвается, то подъемъ, зависящій отъ этого нагрѣванія совершается медленнѣе, чѣмъ тогда, когда воздушные слои находились бы въ покоѣ. Вслѣдствіе этого измѣненія восточнаго вѣтра производимыя треніемъ ограничиваются нижними воздушными слоями, но здѣсь они относительно больше, чѣмъ для западнаго вѣтра при той же самой скорости. Замедляющійся воздушный слой вообще сжимается къ экватору, и восточный вѣтеръ превращается въ сѣверо-восточный въ сѣверномъ полушаріи; тѣмъ не менѣе стремленіе къ сохраненію восточнаго направленія сохраняется, такъ какъ воздухъ двигаясь къ экватору входитъ въ зоны, гдѣ земля обращается болѣе быстро.

Воздухъ верхнихъ слоевъ устремляясь въ освобождающееся свободное пространство, какъ напимѣрь, на внѣшнемъ краю зоны пассатовъ, течетъ съ неизмѣнной скоростью вращения и является внизу, какъ восточный вѣтеръ; двигаясь далѣе и далѣе къ экватору, онъ постепенно подчиняется влиянію тренія, какъ выше указано. Въ то же время надо отмѣтить, что воздухъ тропической зоны переходитъ въ пассатъ съ большей угловой скоростью и, слѣдовательно, долженъ уменьшить это отставаніе отъ вращающейся земли.

Нижніе слои пассата устремляются въ поясъ тишины, какъ только исчезаетъ разность скорости вращения сравнительно съ вращеніемъ земли. Тутъ они сольются съ зоной затишья и такъ увеличатъ ея массу, что ея наклоненныя бока будутъ все далѣе и далѣе расширяться надъ лежащими внизу слоями затихающаго восточнаго вѣтра. Отсюда видно, что тогда какъ на низшихъ высотахъ замѣчается непрерывность скорости вращения слоевъ и температуры, на большихъ высотахъ у границы зоны затишья слои обладающіе большой скоростью вращения, свойственной экваторіальному воздуху (которая должна была бы вызвать въ широтѣ 10° сильный западный вѣтеръ, а въ широтѣ 20° жестокий западный вѣтеръ) находятся въ непосредственномъ соприкосновеніи съ ниже лежащими слоями, имѣющими меньшую скорость движенія и меньшую температуру. Верхняя сторона этихъ послѣднихъ слоевъ можетъ испытывать лишь ничтожное измѣненіе содержанія тепла или скорости вращения, такъ какъ они теряютъ свои нижніе слои движутся внизъ и по направленію къ экватору.

Какъ показалъ Гельмгольцъ въ сочиненіи о разрывномъ движеніи жидкости, читанномъ имъ въ Берлинской Академіи Наукъ въ 1868 г., такое разрывное теченіе можетъ нѣкоторое время продолжаться, но равновѣсіе на поверхности раздѣла неустойчиво, и раньше или позже должны образоваться вихри, которые ведутъ къ общему перемѣшиванію обоихъ слоевъ воздуха. Въ такомъ случаѣ въ болѣе тяжеломъ нижнемъ слоѣ произойдетъ волненіе, подобное волненію воды отъ вѣтра. Гельмгольцъ доказалъ это также экспериментальнымъ путемъ. Такой процессъ проявляется и

въ атмосферѣ въ видѣ полосъ перистыхъ облаковъ, которыя являются тогда, когда туманъ сгущается на границѣ двухъ слоевъ. Въ случаѣ морскихъ волненій удѣльный вѣсъ жидкости настолько отличенъ отъ удѣльнаго вѣса воздуха, что количественный эффектъ является ослабленнымъ, но характеръ его тотъ же самый. Сильный штормъ заставляетъ волны разбиваться и покрываться пѣнистыми гребнями, а водяныя капли брызгать вверхъ въ воздухъ съ гребней волнъ. При меньшей разности въ плотности должно произойти смѣшеніе двухъ слоевъ, сопровождаемое вихрями и въ нѣкоторыхъ случаяхъ обильнымъ дождемъ.

Смѣсь, являющаяся результатомъ перемѣшиванія двухъ слоевъ, будетъ имѣть температуру и скорость вращения такой величины, которая составитъ среднее между двумя составляющими, и положеніе ея равновѣсія окажется лежащимъ ближе къ экватору, чѣмъ равновѣсія холодной составной части; поэтому она будетъ падать по направленію къ экватору, отбѣсняя другіе слои въ направленіи къ полюсу. Слои, надъ которыми стекаютъ внизъ эти массы воздуха, должны устремляться къ полюсу въ освобождающееся такимъ образомъ пространство, и здѣсь уменьшаться въ поперечномъ горизонтальномъ сѣченіи. Тамъ, гдѣ воздушныя массы нисходятъ, раздвигая нижніе массы воздуха, образуются т. наз. антициклоны, а тамъ, гдѣ оказывается разрѣженіе благодаря поднятію воздушныхъ массъ, появляются т. наз. циклоны. Метеорологическія карты представляютъ антициклоны и соотвѣтствующія барометрическія максимума на искривленныхъ границахъ сѣверо-восточныхъ пассатовъ Атлантического океана. Они появляются съ большой правильностью зимой подъ широтой 30° , а лѣтомъ подъ 40° широты.

Вслѣдствіе наклоннаго положенія слоевъ дождь, который является результатомъ перемѣшиванія воздуха, (субтропическій дождь Дове) выпадаетъ далѣе къ сѣверу. Здѣсь находится зона циклоновъ, которые учащаются по направленію къ сѣверу. Можно, разумѣется, думать, что полное перемѣшиваніе воздуха не произойдетъ на границѣ зоны пассатовъ, но что части верхнихъ теплыхъ слоевъ обладая громаднымъ вращательнымъ движеніемъ находятся здѣсь въ своемъ перво-

начальномъ или отчасти смѣшанномъ состояніи и только далѣе къ сѣверу болѣе тѣсно перемѣшиваются съ другими слоями.

Вообще въ этой зонѣ смѣшенія долженъ господствовать западный вѣтеръ у поверхности земли, такъ какъ увеличеніе всего момента вращенія, который развиваетъ воздушная масса при условіи тренія въ восточномъ вѣтрѣ пассатной зоны, должно стать такъ велико, что въ опредѣленномъ пунктѣ западный вѣтеръ достигаетъ до поверхности земли, гдѣ это увеличеніе встрѣчаетъ противодѣйствіе въ достаточномъ треніи. Массы воздушныхъ слоевъ, оставаясь въ равновѣсін, не будутъ имѣть спуста нѣкоторое время такого момента вращенія, который бы существенно отличался отъ момента вращенія находящейся подлѣ нихъ части земной поверхности. Слѣдовательно, если воздухъ съ сильнымъ западнымъ вѣтромъ спускается и смѣшивается съ ними, то онъ сообщаетъ имъ скорость по направлению къ востоку. Кромѣ того, дождь, который болѣею частью приходитъ изъ болѣе высокихъ раіоновъ западнаго вѣтра, увлекаетъ съ собой это теченіе и сообщаетъ его тому воздуху, черезъ который онъ проходитъ. Всѣ воздушныя зоны, тѣснимыя къ полюсу массами воздуха, стремящагося надъ ними къ экватору, будутъ имѣть въ концѣ концовъ западныя вѣтры.

Полярный холодъ, какъ источникъ воздушныхъ движеній.

Охлажденіе почвы на полюсахъ также представляетъ постоянную причину вѣтровъ: съ перваго взгляда очевидно, что холодные слои воздуха стремятся во всѣ стороны вдоль земной поверхности и должны образовать восточныя вѣтры, смыкающіеся вокругъ полюса въ видѣ антициклоническаго вихря. Вверху должны течь болѣе теплыя верхнія слои, чтобы заполнить разрѣженіе, оставленное около полюса; въ результатѣ должны получиться западныя вѣтры, смыкающіеся вокругъ полюса въ видѣ циклоническаго вихря. При такой циркуляціи можетъ быть равновѣсіе только, если холодныя нижнія слои не будутъ пріобрѣтать, благодаря тренію, большаго момента движенія и вслѣдствіе этого не получаютъ

толчка къ дальнѣйшему движенію, приче́мъ они должны оставаться вблизи земной поверхности—это и есть ихъ естественное положеніе; дѣйствительно, зимой въ Германіи часто случаются въ нижнемъ слоѣ воздуха сѣверо-восточныя вѣтры, крайній холодъ которыхъ не достигаетъ даже до вершинъ низкихъ горъ Сѣверной Германіи. Кромѣ того въ передней части этихъ восточныхъ струй, проникающихъ въ теплыя страны, являются такія же обстоятельства, какія вызываются разрывомъ между верхними и нижними теченіями, какъ, на примѣръ, при движеніи пассатовъ, и въ этомъ лежитъ новая причина образованія вращательныхъ движеній или атмосферныхъ вихрей.

Хотя въ полярныхъ восточныхъ вѣтрахъ можно отмѣтить главныя струи, но ходъ ихъ относительно очень неправиленъ, такъ какъ полюсъ холода не совпадаетъ съ полюсомъ земной оси; и такъ какъ вѣтеръ не поднимается до большой высоты, то даже незначительныя возвышенности имѣютъ большое вліяніе на него. Сюда присоединяется еще то обстоятельство, что туманъ въ холодной зонѣ обусловливаетъ умѣренное охлажденіе, тогда какъ въ ясную погоду происходитъ сильное охлажденіе нижнихъ воздушныхъ слоевъ. Результатомъ такихъ неправильностей является то, что антициклонъ въ нижнихъ слояхъ и постепенно возрастающій циклонъ верхнихъ слоевъ разбиваются на множество отдѣльно движущихся циклоновъ и антициклоновъ, приче́мъ первые болѣе многочисленны.

Изъ всего вышесказаннаго можно сдѣлать очень важное заключеніе, а именно: главнымъ препятствіемъ тому, чтобы атмосферныя движенія не стали чрезчуръ быстрыми, является не столько треніе о земную поверхность, сколько непрерывное перемѣшиваніе воздушныхъ слоевъ, имѣющихъ различныя скорости, благодаря вихрямъ, являющимся какъ слѣдствіе этой разницы въ скоростяхъ. Благодаря этимъ вихрямъ, воздушные слои, вначалѣ отдѣльные, разбиваются на отдѣльные, возрастающія въ числѣ струи, которыя, уменьшаясь все болѣе и болѣе, начинаютъ кружиться спиралью одна вокругъ другой, и это такъ распираетъ поверхность соприкосновенія, что происходитъ очень быстрый обмѣнъ температуры и уравниваніе ихъ движенія, благодаря тренію.

Волнообразныя движенія атмосферы.

Если легкая жидкость, подобная воздуху, лежит надъ жидкостью сравнительно плотной, какъ вода, съ рѣзко определенной линіей раздѣла, то мы имѣемъ благоприятныя условія для образованія и распространенія волнъ. Подобныя условія существуютъ между различными слоями атмосферы, но въ этомъ случаѣ разниа удѣльнаго вѣса гораздо меньше. Причины и дѣйствія волнообразныхъ явленій, происходящихъ въ воздухѣ, были изслѣдованы Гельмгольцемъ, который такимъ образомъ заполнилъ серьезный пробѣлъ въ теоріи атмосферныхъ движеній.

Что такія волны существуютъ въ атмосферѣ, можно заключить, наблюдая рядовыя облака: если нижній слой воздуха такъ насыщенъ водяными парами, что тамъ, гдѣ давленіе меньше, въ волнахъ начинается образованіе тумана, то при этомъ наблюдается довольно правильное повтореніе параллельно лежащихъ полосъ облаковъ различной ширины; послѣднія покрываютъ собою иногда значительную часть неба. Эти облака, образуются только при благоприятныхъ условіяхъ влажности, но явленіе волнъ воздуха, невидимое для насъ, вѣроятно, совершается гораздо чаще.

Гельмгольцъ нашелъ, что атмосферныя волны или волненія должны достигать гигантскихъ размѣровъ, причемъ длина волны бываетъ въ нѣсколько километровъ, а амплитуда такъ велика, что если онѣ происходятъ на высотѣ въ одинъ или даже болѣе километровъ надъ земной поверхностью, то ихъ дѣйствіе чувствуется у земли. Такое объясненіе приложимо къ перемежающимся шкваламъ, которые такъ часто случаются во время бурь и сопровождаются ливнями. Эти волнообразныя движенія — наиболѣе важный факторъ при смѣшеніи различныхъ слоевъ и, какъ было замѣчено выше, при извѣстныхъ условіяхъ въ восходящихъ воздушныхъ массахъ образуются облачка, и появляется почти неустойчивое равновѣсіе.

Гельмгольцъ далъ математическую теорію волнообразнаго движенія на общей поверхности двухъ жидкостей, напри-
мѣръ, на поверхности водной, находящейся въ соприкосно-

веніи съ воздухомъ, причемъ онъ принялъ въ расчетъ дѣйствіе воздуха на волны, — условіе, которое до него не вводилось въ вычисленіе, вѣроятно, вслѣдствіе трудностей, представляемыхъ имъ.

Вопросъ очень упрощается, если мы будемъ разсматривать прямолинейное волнообразное движеніе, равномерно распространяющееся съ постоянной скоростью безъ измѣненія своего вида. Въ значительномъ разстояніи отъ общей поверхности движеніе становится прямолинейнымъ движеніемъ съ постоянной скоростью; но въ области волнообразующей смежной поверхности направленіе теченія слѣдуетъ этой поверхности. Недостатокъ мѣста не позволяетъ намъ прослѣдить выводы Гельмгольца относительно водяныхъ волнъ, замѣтимъ только слѣдующее: если при извѣстной скорости вѣтра образуются водяныя волны определенной длины, то длина волны для геометрически подобныхъ воздушныхъ волнъ, должна быть въ $2630\frac{3}{4}$ раза болѣе, для той же разности скоростей теченій. Вѣтеръ скоростью 20 метровъ въ секунду вызываетъ въ водѣ волну длиной въ 0.21 метръ, а въ воздухѣ волну въ 549.6 метровъ длины. Только въ крайнемъ случаѣ количество энергіи волнъ равно количеству энергіи прямолинейнаго движенія вдоль плоской поверхности. Это относительное количество значительно уменьшается въ томъ случаѣ, если вычисленія производятся для нижнихъ волнъ, когда отношеніе должно было бы равняться 2039.6 при прочихъ равныхъ условіяхъ.

Водяныя волны въ 1 метръ длиною часто случаются при умѣренномъ вѣтрѣ; такой же вѣтеръ можетъ произвести воздушныя волны отъ 2—5 километровъ длиной въ воздушныхъ слояхъ съ разницей температуры 10°C . Большія океаническія волны въ 5—10 метровъ соотвѣтствуютъ воздушнымъ волнамъ въ 15—30 километровъ длины, и эти послѣднія возмущаютъ воздухъ у поверхности земли, подобно тому, какъ волнуется вода въ мелководныхъ мѣстахъ, гдѣ глубина ея меньше, чѣмъ длина волны.

Гельмгольцъ утверждаетъ, что принципъ „механическаго подобія“, посредствомъ котораго возможно перейти отъ условія водяныхъ волнъ къ воздушнымъ волнамъ, приложимъ для всѣхъ волнъ, имѣющихъ движеніе впередъ съ постоянной

формой и скоростью. Атмосферное повторение волнообразного движения, происходящего въ мелководныхъ мѣстахъ, имѣетъ огромное значеніе для метеорологическихъ теорій, которыя пытаются объяснить перемежающіяся явленія мѣстныхъ вѣтровъ. Скорость распространения водяныхъ волнъ (безъ помощи вѣтра) въ мѣстахъ мелководныхъ зависитъ болѣе всего отъ глубины воды: если отношеніе глубины воды къ длинѣ волны равняется 0.5, то скорость уменьшается въ пропорціи 1:0.96, если же это отношеніе = 0.25, то пропорція будетъ 1:0.81, а при отношеніи 0.1, пропорція составитъ такая—1:0.39.

Если внизу штиль, то вѣтеръ вблизи волны дуетъ въ противоположномъ направленіи съ направлениемъ распространения волны, но на гребняхъ волны принимаетъ одинаковое направленіе, согласно закону уменьшенія амплитуды вглубь по направленію ко дну, сравнительно съ амплитудой у поверхности; эти волны чувствуются внизу, на землѣ, только тогда, когда глубина меньше, чѣмъ длина волны, такъ что измѣненіе показаній барометра не происходитъ, пока при проходѣ волны не случится сильныхъ измѣненій вѣтра. Теоретическія изслѣдованія доказали, что если волны вздымаются слишкомъ высоко, то онѣ теряютъ непрерывность своей поверхности; но „разрывъ“ волнообразной поверхности можетъ случиться только тогда, когда среда, въ которой волны поднимаются, находится въ движеніи. Если эта среда течетъ вокругъ нихъ, то должны произойти (теоретически) безконечныя скорости и безконечное отрицательное давленіе въ точкахъ соприкосновенія, и это вызываетъ громадное всасываніе волнующей жидкости, какое наблюдается на гребняхъ волнъ во время образованія высококовздымающихся вспѣнныхъ волнъ. Въ случаѣ, если волны движутся впередъ со скоростью, равной скорости вѣтра, то волны могутъ достигать даже наклона въ 120° прежде, чѣмъ обрушиться. Одинъ и тотъ же вѣтеръ можетъ вызвать волны этого рода съ различной длиной волны, хотя и съ извѣстными ограниченіями; болѣе длинныя волны имѣютъ относительно болѣе высокую высоту,—это зависитъ отъ количества энергіи волны.

Если сравнить, при условіи равной скорости движенія,

энергію волнъ, произведенныхъ вѣтромъ, дующимъ вдоль водной поверхности, съ энергіей волнъ, происходящихъ въ плоскости соприкосновенія двухъ жидкостей, то окажется, что большое количество возможныхъ стационарныхъ волнообразныхъ движеній требуетъ меньшаго запаса энергіи при первой упомянутой формѣ, чѣмъ при соотвѣствующемъ теченіи въ смежныхъ поверхностяхъ, такъ что теченіе въ смежныхъ поверхностяхъ представляетъ родъ неустойчиваго равновѣсія сравнительно съ волнообразными движеніями. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ волнообразнаго движенія количество энергіи одно и то же для обоихъ родовъ волнъ, въ другихъ случаяхъ энергія водяныхъ волнъ наибольшая.

Здѣсь дѣйствуютъ два рода энергіи: *потенціальная энергія*, зависящая отъ положенія воды на вершинѣ волны (она возрастаетъ съ высотой волны) и *живая сила*, которая является общей для обѣихъ системъ, и зависитъ отъ разстоянія, въ какомъ находится линія раздѣла. Отъ этихъ двухъ силъ зависитъ и вышеуказанное различіе, но мы здѣсь не будемъ разсматривать сдѣланнаго Гельмгольцемъ разбора ихъ вліянія на водяныя волны, такъ какъ для воздушныхъ волнъ оно имѣетъ только частное значеніе. Гельмгольцъ открылъ приложеніемъ своего метода заманчивое поле для изысканій въ области собственно воздушныхъ движеній.

Разборъ условій неустойчиваго, безразличнаго и устойчиваго равновѣсія представляетъ огромную важность въ вопросѣ о происхожденіи волнъ. Было доказано на опытѣ, что легчайшій вѣтеръ надъ водною поверхностью долженъ возбуждать мелкія волны, которыя при опредѣленной высотѣ принимаютъ правильныя формы и скорость. Возрастаніе скорости вѣтра вызываетъ увеличеніе высоты волнъ; короткія волны, обрываясь съ брызгами, могутъ образовывать новыя, болѣе длинныя волны меньшей высоты.

Въ соотвѣтствіе съ этими обрывающимися пѣнистыми водяными волнами въ атмосферѣ происходитъ перемѣшиваніе воздушныхъ слоевъ, и такъ какъ въ верхнихъ слояхъ воздуха воздушныя волны достигаютъ громадной высоты въ сотни метровъ, то легко происходятъ осадки, при чемъ волны эти возрастаютъ и распространяютъ кверху первоначальное дви-

женіе. Хотя могутъ произойти и короткія воздушныя волны, но при встрѣчѣ двухъ движущихся воздушныхъ слоевъ, у коихъ границы выражены не очень рѣзко, обыкновенно длина волны бываетъ очень велика. То обстоятельство, что одинъ и тотъ же вѣтеръ можетъ произвести волны различной длины и скорости, вызываетъ интерференцію волнъ, вслѣдствіе чего нѣкоторыя изъ наблюдаемыхъ волнъ повышаются, другія понижаются, и эта разниа также замѣтна, потому что и явленіе обрушиванія достигается только нѣкоторыми, болѣе длинными волнами.

Я далъ здѣсь нѣкоторое понятіе о главныхъ методахъ, употребленныхъ новѣйшими изслѣдователями въ ихъ попыткахъ построить систему атмосферной механики, которая бы удовлетворительно объясняла общую атмосферную циркуляцію. Далѣе слѣдовало бы представить въ связномъ цѣломъ комбинацію результатовъ, полученныхъ этими изслѣдователями, объединивъ ихъ въ одну систему. Дѣло такого рода не можетъ быть, однако, выполнено въ настоящемъ сочиненіи, потому что требуетъ не только компилятивнаго труда, но и оригинальной разработки и могло бы представить интересъ лишь для профессиональных метеорологовъ. Такой трудъ теперь представляетъ еще болѣе трудности, чѣмъ нѣсколько лѣтъ тому назадъ, потому что недавно сдѣланные въ науку вклады бросили тѣнь сомнѣнія на нѣкоторыя положенія, казавшіяся точно установленными.

ГЛАВА V.

Второстепенныя атмосферныя движенія.

§ 1. Общія понятія.

Доказано, что въ каждомъ полушаріи земли существуетъ общая атмосферная циркуляція, при чемъ въ сѣверномъ полушаріи для большей части нижнихъ слоевъ атмосферы главное направленіе движенія къ Сѣверо-Востоку въ среднихъ и

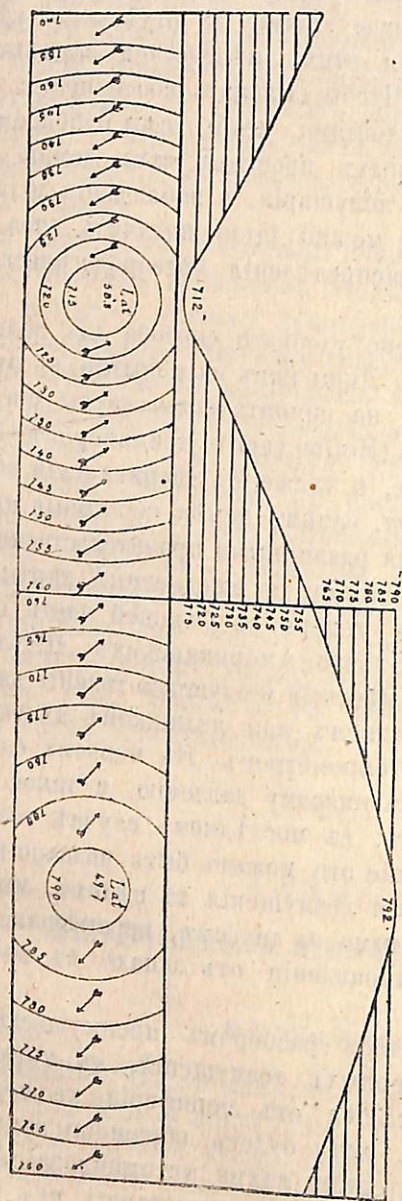
высшихъ широтахъ и къ Юго-Западу въ низшихъ широтахъ. Кромѣ этихъ главныхъ теченій существуютъ еще мѣстныя возмущенія, рѣдко охватывающія такія большія пространства, но оказывающія такое большое вліяніе на отдѣльныя мѣстности, что ихъ значеніе для этихъ мѣстностей затмѣваетъ значеніе главныхъ теченій. Чтобы выяснитъ соотношенія, существующія между этими явленіями, необходимы одновременныя наблюденія на обширныхъ пространствахъ земли или даже на поверхности цѣлаго полушарія, и наблюденія должны быть многочисленны, чтобы можно было получить хотя бы приблизительную картину распредѣленія метеорологическихъ явленій.

До сихъ поръ не найдено удобнаго способа для полнаго сведенія данныхъ этого рода. Лишь какъ на попытки въ этомъ направленіи можно указать на синоптическія карты погоды, составленныя Гоффмейеромъ (Hoffmeyer) и Неймайеромъ (Neumayer) въ Deutsche Seewarte, а также на американскія карты International Weather Review, затѣмъ менѣе обширныя карты путей штормовъ, издаваемыя различными правительственными метеорологическими учрежденіями, и ежедневныя карты погоды, которыя составляются теперь въ большей части европейскихъ странъ и въ Сѣверо-Американскихъ Штатахъ. Вышеуказанныя обширныя мѣстныя воздушныя теченія характеризуются каждое недостаткомъ или излишкомъ атмосфернаго давленія, измѣряемаго барометромъ. Въ первомъ случаѣ воздухъ движется внутрь къ низкому давленію, и такое движеніе называютъ циклономъ; въ послѣднемъ случаѣ воздухъ движется наружу, и движеніе это можетъ быть названо антициклономъ. Разсматривая эти возмущенія въ цѣломъ, мы находимъ, что они слѣдуютъ одно за другимъ, перемѣщаясь вокругъ земнаго шара въ направленіи отъ запада къ востоку въ среднихъ широтахъ.

Мы должны ограничиться разборомъ преимущественно сильнодвижущихся атмосферныхъ возмущеній, въ которыхъ воздушное давленіе понижается отъ периферіи къ центру, т.-е. разборомъ циклоновъ, хотя будетъ обращено вниманіе отчасти и на менѣе характерныя вихри антициклона. Легче всего можно понять эти явленія, если представить ихъ себѣ,

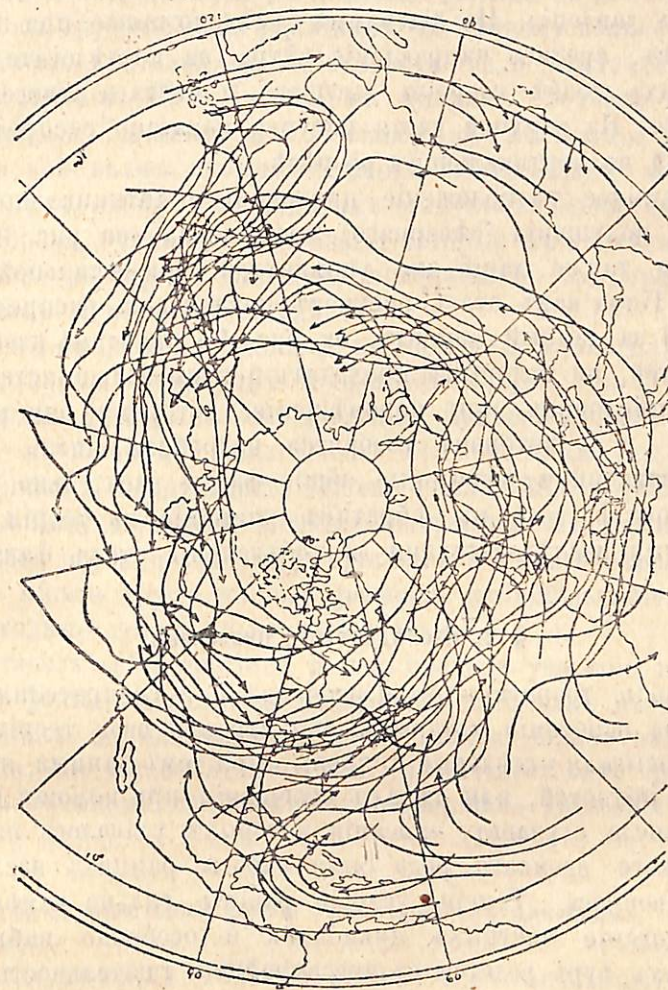
какъ повтореніе водоворотовъ и струй текущей воды; однако болѣе основательное изученіе заставляетъ прибѣгнуть къ картамъ, уясняющимъ ихъ отличія и особенности, установленныя метеорологическими наблюденіями.

За плоскость проекцій берется идеальная земная поверхность, такъ какъ большинство наблюденій производится въблизи нея. Количество и распредѣленіе воздуха указано черезъ давленіе, измѣряемое барометромъ, причемъ показанія его обыкновенно приводятся къ давленіямъ, которые должны были бы получиться на уровнѣ моря, т.-е. какъ еслибы барометръ находился на уровнѣ моря; послѣднее дѣлается съ тою же цѣлью, чтобы барометрическія данныя было удобно сравнивать. Температуры наносятся обыкновенно по непосредственнымъ наблюденіямъ, но наблюденія, производимыя на большихъ высотахъ надъ господствующимъ уровнемъ мѣстности (напр., на изолированныхъ пикахъ), не принимаются въ расчетъ при представленіи горизонтальнаго распредѣленія температуръ. Другіе метеоро-



Фиг. 93.

логическіе элементы наносятся на карты также непосредственно по наблюденіямъ, съ помощью соотвѣтственныхъ обоз-



Фиг. 94.

наченій. Наиболѣе важнымъ элементомъ является барометрическое давленіе; способъ изображенія его представленъ на нижней части фиг. 93, гдѣ даны изобары, или

линии равнаго давления, для площадей высокаго и низкаго давления, т.-е для антициклона и циклона. Диаграмма представляет схематически отрывки концентрических изобаръ, проведенныхъ, какъ обыкновенно, черезъ каждыя пять миллиметровъ давления. На диаграммѣ отмѣчено также, при помощи стрѣлокъ, среднее направлѣніе вѣтра на послѣдовательныхъ изобарахъ пообѣ стороны высокаго и низкаго атмосфернаго давления. На верхней части рисунка показано распределѣніе давленій въ вертикальномъ разрѣзѣ.

Взаимное расположеніе циклоновъ и антициклоновъ для цѣлаго полушарія (сѣвернаго) представлено на рис. 95, гдѣ изобары также даны для упомянутой горизонтальной плоскости. Тогда какъ этотъ рисунокъ показываетъ распределѣніе явленій за данный моментъ, на рис. 94 находимъ изображеніе путей, по которымъ проходятъ центры большинства частныхъ циклоновъ при перемѣщеніи, которому они подвергаются и о которомъ говорится подробнѣе ниже. Теперь же рассмотримъ нѣкоторые общіе факты касательно циклоновъ, послѣ чего мы обратимъ вниманіе на теоріи, предложенныя изслѣдователями для объясненія этихъ фактовъ.

§ 2. Изслѣдователи циклоновъ.

Первые теоретики были необходимо и собирателями фактовъ, на основаніи которыхъ они строили свои теоріи. Они или описывали отдѣльные циклоны, при чемъ данныя не отличались полнотой, или дѣлали обобщенія при помощи небольшого числа случаевъ, описанія которыхъ удавалось найти.

Такого двоякаго рода были работы раннихъ изслѣдователей вопроса. Теперь условія работы сильно измѣнились. Изслѣдованіе частныхъ циклоновъ и особенно наблюденіе большихъ буръ ведется съ чрезвычайною тщательностью многими метеорологами, въ числѣ которыхъ находятся такіе изслѣдователи, какъ Кёппенъ и Фанъ-Берберъ — въ Германіи, Ханнъ — въ Австріи, Лумисъ и Эптонъ — въ Америкѣ, Гилль — въ Индіи и др.

Важное улучшеніе въ методахъ изслѣдованія связано съ введеніемъ въ разныхъ странахъ ежедневныхъ правительст-

венныхъ изданій картъ погоды и путей циклоновъ на континентѣ Европы и Азіи, Сѣверной Америки и на смежныхъ океанахъ. Большая часть ихъ добросовѣстно составляются казенными метеорологами, но и многія частныя лица съ замѣчательнымъ трудолюбіемъ работаютъ по данному вопросу; среди послѣднихъ дѣятелей въ особенности надо отмѣтить имена Элиаса Лумиса (Elias Loomis) въ Америкѣ, Феттина (Vettin) въ Германіи, Клемента Лея (Clement Ley) въ Англіи. Послѣдніе два занимались преимущественно изслѣдованіемъ верхнихъ воздушныхъ теченій, и труды ихъ отличаются болѣе частнымъ характеромъ, чѣмъ труды перваго, который въ послѣдніе годы занимался разборомъ данныхъ, получаемыхъ изъ правительственныхъ отчетовъ о погодѣ.

Наиболѣе важныя недавнія изслѣдованія путей циклоновъ были сдѣланы Кёппеномъ и Фанъ-Берберомъ въ Германіи, Тейссеранъ де-Боромъ — во Франціи, Лумисомъ, Аббе и Финлеемъ — въ Америкѣ, нѣсколькими метеорологами — въ Россіи; въ тропикахъ потрудились Элиотъ, Гилль, Мельдрумъ, Поэй (Poeu) и Винесъ (Vines). Верхнія воздушныя теченія прилежнѣе всего изучались Леємъ, Феттиномъ и Гильдебрандсономъ, хотя и многіе другіе ученые разныхъ національностей дали превосходные труды по этому вопросу.

Читатель здѣсь найдетъ только краткое указаніе на главнѣйшіе факты, касающіеся циклоновъ, такъ какъ въ другихъ сочиненіяхъ по метеорологіи можно найти полное изложеніе предмета; мы же займемся здѣсь преимущественно теоретическими выводами касательно атмосферныхъ движеній.

§ 3. Нѣкоторые факты относящіеся къ циклонамъ.

Воздушное давленіе и изобары въ циклонахъ.

При популярномъ изложеніи явленія циклоновъ обыкновенно предполагается, что изобары суть окружности, между тѣмъ въ дѣйствительности это рѣдко встрѣчается, такъ, по словамъ Лоомиса, не чаще, чѣмъ одинъ разъ въ годъ, судя по картамъ погоды С. Штатовъ. Степень эллиптичности, наблю-

даемая въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ, показана въ слѣдующей таблицѣ; повторяемости различныхъ отношеній между самыми длинными и самыми короткими діаметрами:

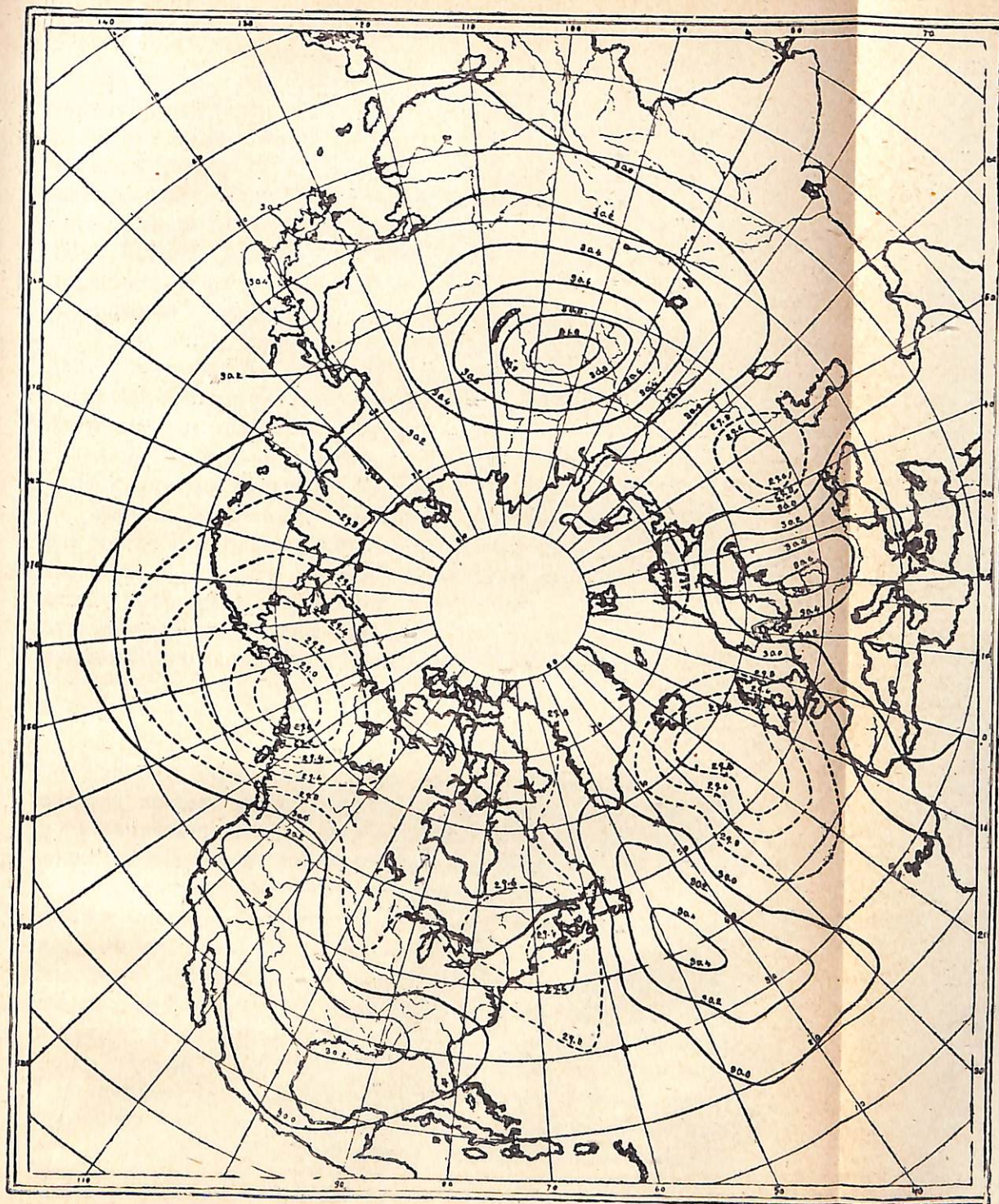
Американскіе Соедин. Штаты.
 $\left. \begin{array}{l} 59\% \\ 33\% \\ 11\% \\ 3\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{отношеніе больше} \\ \text{чѣмъ} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 1:5:1 \\ 2:0:1 \\ 3:0:1 \\ 4:0:1 \end{array} \right.$
 Среднее отношеніе діаметровъ
 1:94:1

Атлантическій Океанъ.
 $\left. \begin{array}{l} 54\% \\ 17\% \\ 1\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{отношеніе больше} \\ \text{чѣмъ} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 1:5:1 \\ 2:0:1 \\ 3:0:1 \end{array} \right.$
 Среднее отношеніе діаметровъ
 1:70:1

Длинная ось чаще всего имѣетъ направленіе къ N 36° E въ Соед. Штатахъ, и къ N 35° E на сѣверѣ Атлантическаго океана; въ 70% случаевъ для Соедин. Штат. и 64% для сѣвернаго Атлантическаго океана она располагается въ сѣверо-восточномъ направленіи; впрочемъ, можно найти ее во всѣхъ азимутахъ.

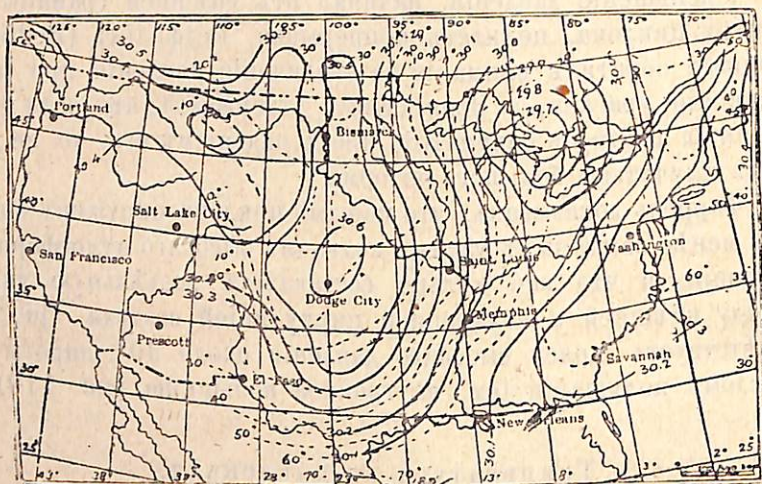
Карты погоды свидѣтельствуютъ о томъ, что область низкаго давленія почти всегда предшествуется или сопровождается областями высокаго давленія, и что область и распределеніе барометрическаго давленія въ послѣднихъ опредѣляютъ не только относительную длину двухъ осей циклона. На рис. 95 изображены большіе циклоны и антициклоны сѣвернаго полушарія, наблюдаемые въ одно и то же время въ опредѣленный день. Атмосферныя давленія даны въ дюймахъ и ихъ десятихъ доляхъ, какъ на барометрѣ. Мы видимъ здѣсь хорошее изображеніе дезинтеграціи, затронутой Гельмгольцемъ въ связи съ общей циркуляціей воздуха въ среднихъ и высшихъ широтахъ.

Амплитуда колебанія барометрическаго давленія при переходѣ антициклоновъ и циклоновъ измѣняется въ извѣстныхъ предѣлахъ и зависитъ отъ интенсивности этихъ явленій. На уровнѣ моря колебанія атмосфернаго давленія происходятъ между 700—800 мм. Только въ исключительныхъ случаяхъ давленіе во время антициклопа превосходитъ 800 мм., а при циклонѣ опускается ниже 700 мм., такимъ образомъ амплитуда обыкновенно не превосходитъ 110 мм. или почти одной шестой minimum'a воздушнаго давленія.



Фиг. 95. Изобары 4-го ноября 1881 г.

Въ центральныхъ и восточныхъ штатахъ Америки (рис. 96) мы находимъ едва ли не лучшіе примѣры наибольшихъ контрастовъ температуры въ разныхъ квадрантахъ циклона; эти контрасты особенно увеличиваются зимой, когда по обѣ стороны обширныхъ циклоновъ можно наблюдать разницы температуры свыше 40° С.; при этомъ изотермы, которыя при нормальныхъ условіяхъ должны проходить съ востока на западъ, такъ изгибаются, что температурный градиентъ полу-



Фиг. 96.

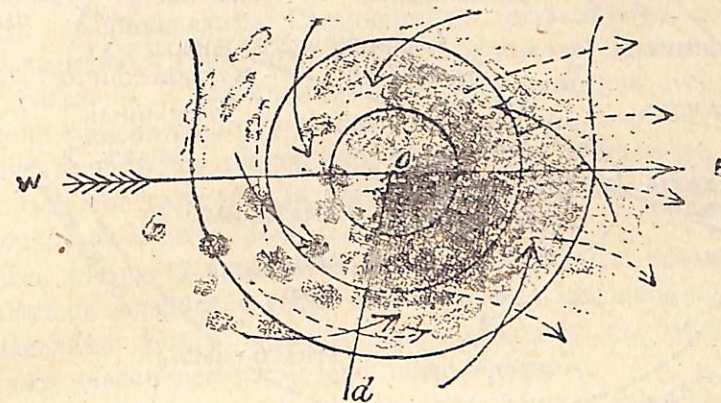
часть направлено на юго-востокъ или даже почти на востокъ. Предъидущая діаграмма съ удобствомъ позволяетъ выяснитъ причину внезапнаго паденія температуры въ какомъ-нибудь мѣстѣ, падающемъ на пути циклона.

Наблюденія, произведенныя на немногихъ горныхъ станціяхъ, приводятся обыкновенно для доказательства того положенія, что массы воздуха внутри циклона относительно теплы, а въ антициклонахъ, наоборотъ, холодны. Существуетъ много обстоятельствъ, сильно усложняющихъ вопросъ, и новѣйшія изслѣдованія Ханна, касающіяся центральной Европы, свидѣлствуютъ о томъ, что потребуется отъ метеорологовъ еще много добавочныхъ работъ, пока этотъ вопросъ будетъ

удовлетворительно рѣшенъ. Въ виду его большой важности при построеніи теоріи образованія и поддержанія циклоновъ, факты, указанные Ханномъ, будутъ рассмотрѣны далѣе.

Облачность въ циклонахъ.

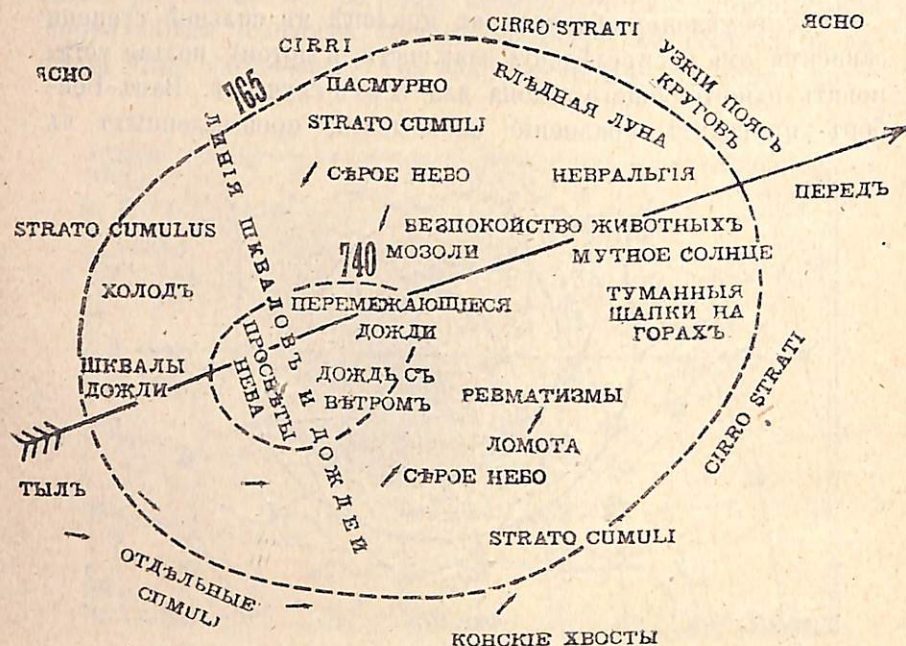
Распределеніе облаковъ въ циклонѣ въ сильной степени зависитъ отъ распределенія влажности, и потому нельзя установить одного общаго закона для всѣхъ случаевъ. Ванъ-Бейберъ приводитъ сравненіе наблюденій, произведенныхъ въ



Фиг. 97.

Упсалѣ и Свинемюнде, которое доказываетъ, что положеніе центра циклона относительно большихъ бассейновъ воды влияетъ на степень облачности. Обобщенія въ этомъ вопросѣ затруднены тѣмъ, что различные виды облаковъ порождаются различными причинами и лежатъ на разной высотѣ. Разсматривая облака всѣхъ мѣстъ, видимъ, что наибольшей густотой они отличаются въ районѣ выпаденія наибольшаго количества осадковъ, но занимаютъ гораздо большую площадь, чѣмъ площадь осадковъ, будучи особенно обильными на передней или восточной половинѣ и сравнительно скудными въ задней или западной сторонѣ циклона. Юго-западный, западный и сѣверо-западный октанты (45°) циклона наиболѣе свободны отъ облаковъ. Рис. 97 представляетъ площади облаковъ для

циклона въ Сѣверной Европѣ; черта *cd* отдѣляетъ облачное небо отъ яснаго, а стрѣлка указываетъ направленіе перемѣщенія циклона. На рис. 98 изображены разные виды облаковъ въ различныхъ раіонахъ циклона подъ разными названіями.



Фиг. 98.

Количество облаковъ въ его отношеніи къ циклонамъ не изучено съ такой подробностью, какъ направленіе движенія облаковъ; послѣднее характеризуетъ все распредѣленіе воздушныхъ теченій на всѣхъ уровняхъ циклона.

ОСАДКИ ВЪ ЦИКЛОНАХЪ.

По вопросу объ отношеніи осадковъ къ барометрическимъ минимумамъ Лумисомъ изслѣдовано много случаевъ въ Сѣверной Америкѣ; нѣкоторые изъ его выводовъ ниже приведены. Но прежде, чѣмъ заняться ихъ разсмотрѣніемъ, бросимъ

взглядъ на фиг. 98, на которой можно замѣтить районы дождей въ области циклоновъ, проходящихъ черезъ Великобританію. Внутренняя замкнутая кривая (740 мм.) обозначаетъ центръ циклона, а внѣшняя (760 мм.)—внѣшнюю границу замѣтнаго возмущенія. На этой діаграммѣ изображены не только физическія явленія, сопровождающія прохожденіе циклона, но и физиологическія воздѣйствія, падающіяся съ ними въ связи.

Изъ явленій, наиболѣе рѣзко характеризующихъ циклоны, прежде всего необходимо отмѣтить сильныя ливни.

Чрезмѣрные дождевые осадки относятся къ minimum'амъ, согласно Лумису, слѣдующимъ образомъ:

Въ Американскихъ Соединенныхъ Штатахъ къ востоку отъ Скалистыхъ горъ повторяемости осадковъ величиною въ $2\frac{1}{4}$ дюйма за 8 часовъ на восточной и западной сторонахъ циклона находятся въ отношеніи 2,7 : 1.

Въ Европѣ повторяемости $2\frac{1}{2}$ дюйма дождевыхъ осадковъ въ продолженіе 24 часовъ на восточной и западной сторонахъ относятся какъ 2,0 : 1.

Для сѣверной части Атлантическаго Океана: осадки выпадаютъ на западной и восточной сторонѣ въ отношеніи 2,6 : 1.

Сильные дожди обыкновенно совпадаютъ съ барометрическимъ давлѣніемъ нѣсколько ниже средняго.

Лумисъ вывелъ слѣдующія отношенія, существующія между дождевыми осадками и повышеніемъ и пониженіемъ барометра:

Повторяемость дождевых осадковъ при пониженіи барометра относится къ такой же повторяемости при повышеніи барометра такъ:

Индіанопольсь, С. Шт.	1'32:1
Филадельфія, С. Шт.	2'88:1
Семь станцій Британіи	2'08:1
Парижъ и Брюссель	1'19:1
Павловскъ (вблизи Петерб.).	1'06:1
Прага и Вѣна	0'80:1

Изъ этого видно, что по мѣрѣ удаленія на западъ отъ Атлантическаго берега въ Соед. Штатахъ относительная повторяемость осадковъ при повышающемся барометрѣ быстро

уменьшается; въ Европѣ по мѣрѣ движенія на востокъ замѣчается подобное же уменьшеніе. Это повидимому доказываетъ, что излишекъ дождей, обыкновенно замѣчаемый на восточной сторонѣ площади низкаго давленія, опредѣляется главнымъ образомъ разстояніемъ и относительнымъ положеніемъ водныхъ резервуаровъ.

Совмѣщеніе дождевыхъ осадковъ съ областями низкаго барометрическаго давленія настолько обычно, что особеннаго упоминанія заслуживаетъ исключеніе изъ этого правила, найденное Лумисомъ. Въ Соединенныхъ Штатахъ аномаліи встрѣчаются обыкновенно въ промежуткѣ отъ октября до апрѣля и изрѣдка въ срединѣ лѣта.

Эти скудные осадками барометрическіе минимумы въ большинствѣ случаевъ рѣзко выражены, и многіе изъ нихъ занимаютъ большія площади, но въ центрахъ ихъ барометрическое давленіе падаетъ въ среднемъ только до 754 мм. (при температурѣ выше нормальной на 10—20° Фаренгейма, въ среднемъ на 9° Цельсія).

Барометрическія минимумы, сопровождаемые сильными дождями, имѣютъ свои рѣзкія характеристическія особенности, какъ-то: крупныя барометрическія градіенты, жестокіе вѣтры, быстрыя колебанія давленія и быстрое поступательное движеніе; напротивъ, при малыхъ дождяхъ или при отсутствіи ихъ эти характерныя признаки выражены слабѣе.

Лумисъ нашелъ, что формы дождевыхъ площадей не всегда правильны, но вообще сохраняютъ типъ эллипса, котораго большая ось вдвое длиннѣе малой, растянута по направленію движенія и имѣетъ въ длину до 2500 миль. При разсмотрѣніи дождевой площади въ цѣломъ оказалось, что среди нея существуетъ центръ съ максимумомъ осадковъ, окруженный зонами убывающаго количества осадковъ. Для Соединенныхъ Штатовъ въ широтѣ 36° среднее разстояніе дождеваго центра къ сѣверу отъ центра площади низкаго давленія равняется 300 милямъ; но въ отдѣльныхъ случаяхъ разстояніе это увеличивается въ три раза.

Относительная влажность возрастаетъ съ приближеніемъ къ центру циклона, равно какъ и вѣроятность дождя; послѣдняя является наименьшей въ юго-западномъ, западномъ

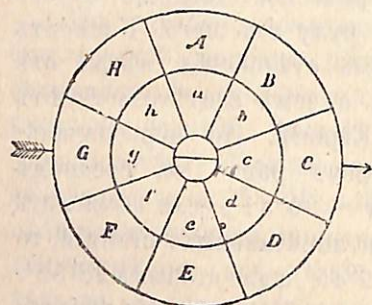
и сѣверо-западномъ октантахъ; впрочемъ, вѣроятность эта мѣняется, смотря по распредѣленію водныхъ бассейновъ на земной поверхности.

НАПРАВЛЕНІЕ И НАКЛОНЪ ВѢТРОВЪ КЪ ИЗОБАРАМЪ ВЪ ЦИКЛОНАХЪ.

Уголъ между направленіемъ вѣтровъ и изобаръ былъ отмѣченъ Редфильдомъ. Спустя нѣсколько лѣтъ Бейсъ-Баллотъ установилъ свой законъ, состоящій въ томъ, что если наблюдатель, находящійся въ сѣверномъ полушаріи, станетъ спиною къ вѣтру, то высокое барометрическое давленіе будетъ по правую, а низкое по лѣвую руку отъ него. Клементъ Лей произвелъ много измѣреній угла отклоненія вѣтра отъ изобаръ въ циклонической системѣ, о чемъ свидѣлствуютъ карты погоды въ сѣверо-западной Европѣ. По первоначальнымъ его выводамъ отклоненіе вѣтровъ равно въ среднемъ изъ наблюдений пятнадцати станцій — 20°31'; если вычислить его отдѣльно для прибрежныхъ и континентальныхъ станцій, то для первыхъ оно будетъ составлять 12°45', а для вторыхъ 28°53'. Послѣдующее (1877) болѣе полное изслѣдованіе для различныхъ частей Европы дало слѣдующіе углы между направленіемъ вѣтра и радіусомъ, проведеннымъ изъ центра циклона:

Октанты.	Число наблюдений.	Средній уголъ съ радіусомъ.
N A	198	62°
NE B	407	52°
E C	511	48°
SE D	675	54°
S E	803	66°
SW F	378	76°
W G	277	79°
NW H	196	80°
N a	195	65°
NE b	391	53°
E c	426	58°
SE d	454	55°
S e	629	64°
SW f	402	74°
W g	250	77°
NW h	204	81°

Разные октанты, указанные въ этой таблицѣ, представлены на рис. 99, причемъ находящіеся во внѣшнемъ районѣ отмѣчены прописными буквами, а лежащіе во внутреннемъ — маленькими. Въ среднемъ уголъ отклоненія составляетъ $64^{\circ}6$ для внѣшняго района и $65^{\circ}9$ для внутреннего, общее же среднее около 65° , причемъ наклонъ къ изобарамъ равенъ разности между 90° и вышеуказанными цифрами, т.-е. 25° . Эти опредѣленія относятся главнымъ образомъ до континентальныхъ станцій. Лумисъ въ началѣ нашелъ для Соединенныхъ Штатовъ отклоненіе равное 47° , но дальнѣйшія



Фиг. 99.

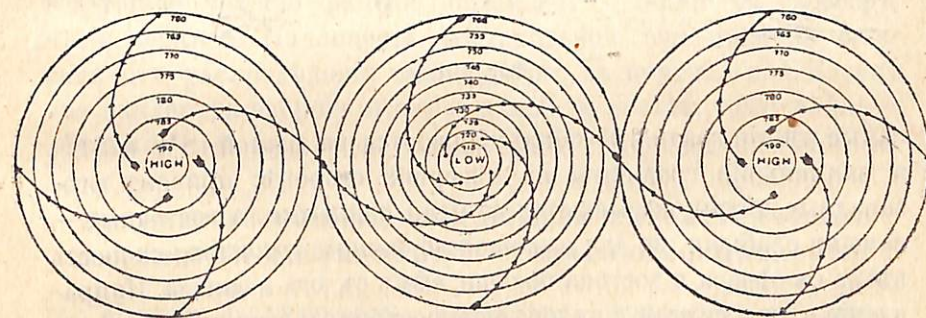
изысканія опредѣлили его въ 44° при разстояніи отъ центра въ 1200 километровъ и въ 37° при разстояніи въ 250 километровъ. Лумисъ же нашелъ, что на Атлантическомъ океанѣ отклоненіе было $25^{\circ}4$ при разстояніи въ 278 километровъ отъ центра и $34^{\circ}8$ при разстояніи 1535 километровъ. На рис. 100 изображено спиральное движеніе вѣтровъ, которые циркулируютъ въ циклонѣ у

поверхности земли, направляясь въ середину его и въ антициклонѣ, направляясь изъ середины его, какъ описалъ ихъ Лумисъ. На различныхъ высотахъ надъ земной поверхностью условія нѣсколько измѣняются. Лумисъ нашелъ, что на горѣ Вашингтонъ (1900 метровъ) высокіе вѣтры циркулируютъ внутри циклоновъ, какъ и у земной поверхности, но направленія вѣтра составляютъ прямые углы съ радіусами циклона.

Для высшихъ теченій воздуха, какія, примѣръ, гонятъ облака, Лей нашелъ слѣдующіе углы для различныхъ октантовъ циклоновъ (см. опять рис. 99):

Октанты.	Верхнія теченія.	
	Число наблюдений.	Средній уголъ съ радіусомъ.
N	A	51
NE	B	173
E	C	226
SE	D	290
S	E	328
SW	F	199
W	G	81
NW	H	42
N	a	58
NE	b	104
E	c	94
SE	d	141
S	e	135
SW	f	142
W	g	83
NW	h	46
		172°
		130°
		135°
		102°
		73°
		51°
		90°
		106°

Приведенныя здѣсь направленія вѣтровъ на ряду съ схематическимъ изображеніемъ изобаръ по Кеппену даны на фиг. 101. Изобары на уровнѣ моря отмѣчены сплошными

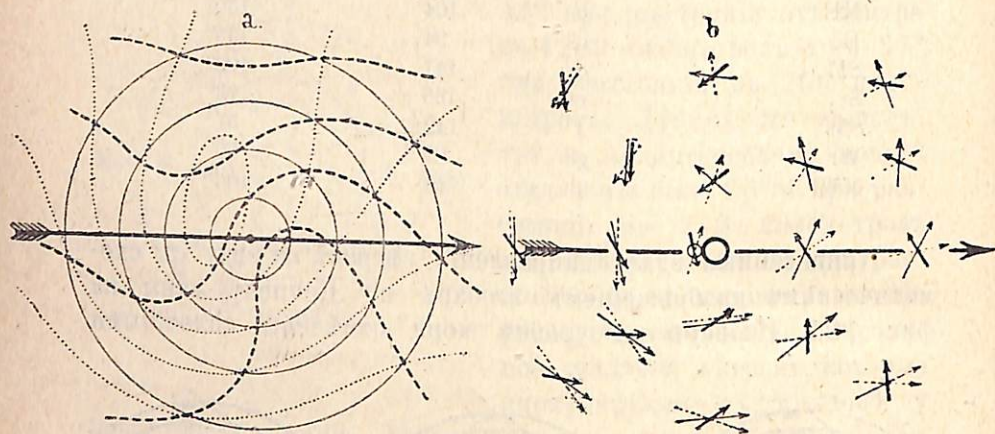


Фиг. 100.

линіями, а изобары района перистыхъ облаковъ (cirrus), — слабыми пунктирными линіями, изотермы же обозначены толстыми прерывистыми черточками; на второмъ рисункѣ стрѣлки указываютъ направленіе вѣтра, причемъ главные толстыя

стрѣлки указываютъ направленіе вѣтра вблизи почвы, а тонкія—направленіе на высотѣ обыкновенныхъ облаковъ, пунктирныя же стрѣлки указываютъ направленіе вѣтра въ области перистыхъ облаковъ. Здѣсь становятся наглядными выводы Лея, сдѣланные имъ 20 л. тому назадъ и состоящіе въ слѣдующемъ: по мѣрѣ возрастанія высоты вѣтеръ направляется все болѣе и болѣе вправо.

Фанъ-Бейберъ въ своей „Meteorologie“ (ст. 291—292) даетъ слѣдующій очеркъ циркуляціи вѣтра въ циклонахъ вблизи земной поверхности на западѣ и сѣверо-западѣ Европы:



Фиг. 101.

самые рѣзкіе градіенты обнаруживаются на южной (SW и SE), а наименьшіе градіенты на сѣверной сторонѣ; причемъ юго-западные вѣтры оказываются самыми сильными, а восточные—самыми слабыми, но для *нѣкотораго даннаго градіента* скорость вѣтра съ сѣвера и востока больше, чѣмъ съ юга и запада. Направленіе вѣтра внутри циклона центростремительно, и путь вѣтра совершается по логарифмической спирали. Уголъ, который образуетъ направленіе вѣтра съ направленіемъ градіента, оказывается большимъ на морѣ, чѣмъ на сушѣ, большимъ въ теплое, нежели въ холодное время года, большимъ въ циклонѣ, чѣмъ въ антициклонѣ, большимъ въ передней, чѣмъ въ задней половинѣ циклона (обратное этому послѣднему по-

ложенію, кажется, будетъ истиннымъ для востока Соединенныхъ Штатовъ).

На небольшой высотѣ надъ поверхностью земли, т.-е. на высотѣ нижнихъ облаковъ, направленіе вѣтра отходитъ вправо отъ направленія вѣтра у земной поверхности и почти перпендикулярно къ направленію градіента, слѣдовательно, почти касается изобаръ, кромѣ передней стороны, гдѣ уголъ, образуемый съ градіентомъ, немного больше 90° .

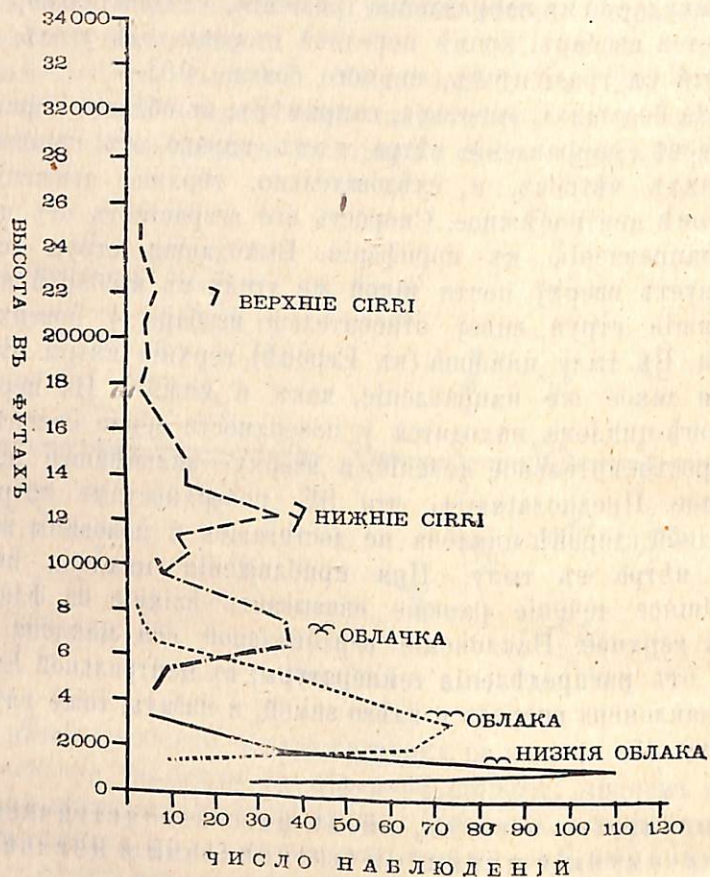
На большихъ высотахъ, напримѣръ, въ области перистыхъ облаковъ, направленіе вѣтра идетъ вправо отъ направленія нижнихъ вѣтровъ, и, слѣдовательно, верхнее движеніе въ циклонѣ центробѣжное. Скорость его возрастаетъ отъ центра по направленію къ периферіи. Выходящая струя воздуха образуетъ вверху почти такой же уголъ съ изобарой какъ и входящія струи внизу относительно изобары у поверхности земли. Въ тылу циклона (въ Европѣ) верхніе вѣтры имѣютъ почти такое же направленіе, какъ и нижніе. На передней сторонѣ циклона находится у поверхности земли сильнѣйшее центростремительное теченіе, а вверху—сильнѣйшее центробѣжное. Предполагаютъ, что SE поверхностные вѣтры на передней сторонѣ циклона не достигаютъ и половины высоты NW вѣтра въ тылу. При приближеніи циклона нижнее воздушное теченіе раньше оказываетъ вліяніе на флюгеръ, чѣмъ верхнее. Наклоненіе вертикальной оси циклона зависитъ отъ распредѣленія температуры; въ центральной Европѣ она наклонена впередъ и влѣво зимой, и назадъ, тоже влѣво—лѣтомъ.

Количество воздуха, питающаго барометрическіе максимумы и минимумы (антициклоны и циклоны).

Многіе изслѣдователи занимались вопросомъ о циркуляціи воздуха въ круговоротѣ барометрическихъ максимумовъ и минимумовъ, но мы обязаны Др. Феттину (Vettin) изъ Берлина ¹⁾ наиболѣе успѣшной попыткой измѣренія коли-

¹⁾ Vettin. „Ueber die Volumina der in die barometrischen Minima und Maxima hinein und aus denselben herausströmenden Luft“. Aus d. Archiv d. Deutschen Seewarte. Band XI. 1888.

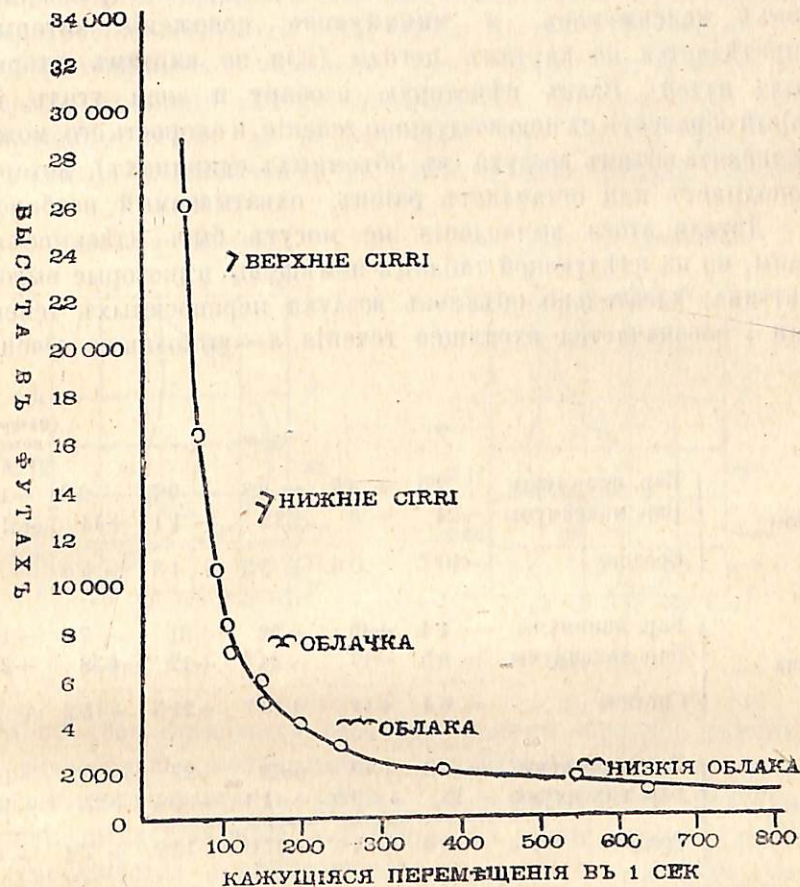
чества воздуха, въ минимумахъ втекающего вниз и вытекающего вверх, а въ максимумахъ движущагося по обратному направленію. Феттинъ получилъ только относительныя величины, но по нимъ можно составить себѣ по крайней мѣрѣ



Фиг. 102.

приблизительное понятіе объ этомъ обмѣнномъ воздушномъ теченіи. Наблюдая направление и относительную скорость различныхъ слоевъ облаковъ за многіе годы, Феттинъ воспользовался нѣкоторыми изъ полученныхъ данныхъ для объясненія разсматриваемаго нами вопроса. Онъ раздѣлилъ дви-

жущіеся атмосферныя слои на 5 ярусовъ различной высоты, а именно: 1 ярусъ свободныхъ нижнихъ облаковъ обозначае-
мыхъ черезъ $\sim$ (высота 1,600 фут.); 2 ярусъ округлен-
ныхъ, компактныхъ нижнихъ облаковъ $\sim$ (высота



Фиг. 103.

3,800 фут.); 3 ярусъ высокихъ облаковъ, обыкновенно раз-
единенныхъ, но безъ большихъ промежутковъ между отдѣль-
ными частями $\sim$ (высота 7,200 фут.); 4 ярусъ нижнихъ
перистыхъ облаковъ $\sim$ (высота 12,800 футовъ); 5 ярусъ

верхнихъ перистыхъ 7 (высота 23,000 фут.). Вѣтеръ, наблюдаемый при помощи поставленныхъ у поверхности земли инструментовъ, онъ обозначилъ черезъ Р. Повторяемость каждаго вида изображена на рис 102. Видимыя относительныя скорости (рис. 103) различныхъ слоевъ наблюдаются примѣнительно къ мѣсту нахождения центровъ барометрическихъ максимумовъ, и минимумовъ, положеніе которыхъ опредѣляется по картамъ погоды (или по картамъ штормовыхъ путей). Взявъ нѣкоторую изобару и зная уголъ, который образуетъ съ нею воздушное теченіе, и скорость его, можно вычислить объемъ воздуха (въ объемныхъ единицахъ), который пополняетъ или оставляетъ районъ, охватываемый изобарою.

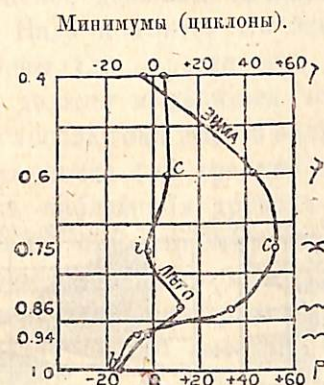
Детали этого вычисления не могутъ быть здѣсь объяснены, но на слѣдующей таблицѣ помѣщены нѣкоторые выводы Феттина; касательно объемовъ воздуха переносимыхъ теченіями + обозначается входящее теченіе, а — выходящее теченіе.

		7	=	⌒	⌒	⌒	Вѣтеръ у поверх. земли Р.
Лѣто . . .	Бар. минимумы.	+ 2.5	+ 4.7	- 2.3	+ 9.7	- 2.3	- 14
	Бар. максимумы	- 24	- 6	+ 13	- 1.1	+ 14	+ 11.5
	Среднее	- 10.7	- 0.6	+ 5.3	+ 4.3	+ 5.8	- 1.2
Зима . . .	Бар. минимумы.	- 4.4	+ 4.5	+ 5.2	+ 3.1	- 7.5	- 15
	Бар. максимумы	- 8.5	- 17	- 24.5	+ 12	+ 38	+ 21
	Среднее	- 6.4	+ 14	+ 13.7	+ 21.5	+ 15.2	+ 3
Годъ . . .	Бар. минимумы.	- 6.8	+ 19	+ 33	+ 27	- 8.3	- 15
	Бар. максимумы	- 15	- 9.9	+ 1.1	+ 0.4	+ 23	+ 16
	Среднее	- 10.9	+ 4.0	+ 17.0	+ 13.7	+ 7.3	+ 0.5

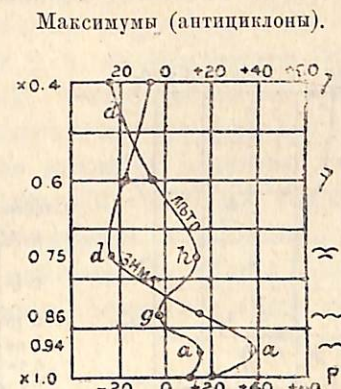
Значеніе цифръ на этой таблицѣ лучше всего объясняется прилагаемыми діаграммами (фиг. 104, 105, 106). По ординатамъ отложены барометрическія давленія, возрастающія сверху внизъ отъ 0.4 до 1, причемъ за 1 принимается нормальное давленіе (760 мм.) у поверхности земли; по абсциссамъ отложены объемы протекающаго воздуха. Пунктирные

линіи относятся къ минимум'амъ, а сплошныя къ максимум'амъ, отрицательный знакъ влѣво отъ нуля показываетъ, какъ и на таблицѣ, центостремительное движеніе, а положительный знакъ — центробѣжное. Изъ таблицы и изъ діаграмъ мы видимъ, что при барометрическихъ минимум'ахъ (циклонахъ) и максимум'ахъ (антициклонахъ) вертикальное распредѣленіе воздушной циркуляціи будетъ слѣдующее:

Барометрическіе минимумы (рис. 104). Слонъ воздуха, въ которыхъ входящій потокъ преобладаетъ, простираются отъ поверхности земли до высоты 640 мет (2100 фут.) и, слѣдовательно, заключаютъ въ себѣ нижнія облака. Выше



Фиг. 104.



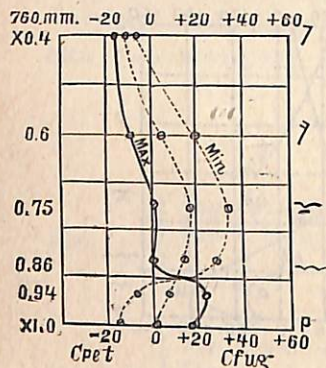
Фиг. 105.

этого предѣла становится господствующимъ обратное явленіе, при чемъ большее количество воздуха выходитъ, чѣмъ входитъ, и вытеканіе возрастаетъ вверхъ до высоты 2300 метровъ, гдѣ находится максимумъ вытеканія, но выше этого уровня оно уменьшается и прекращается на высотѣ верхнихъ перистыхъ облаковъ. Разница въ верхнихъ районахъ между зимой и лѣтомъ очень значительна. Лѣтомъ на всѣхъ высотахъ вытеканіе весьма слабо и даже замѣчаются признаки обратнаго движенія на той высотѣ, гдѣ зимой вытеканіе наиболѣе сильное.

Барометрическіе максимумы (рис. 105). Здѣсь у земной поверхности преобладаютъ вытекающія теченія, которые ста-

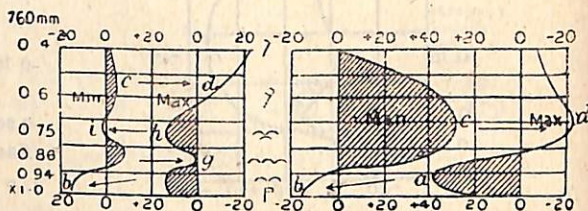
новятся особенно значительными на высотѣ 1600 фут., какъ зимой, такъ и лѣтомъ, только зимой они гораздо сильнѣе. Этотъ истекающій потокъ уменьшается, начиная съ этого уровня до 4000 футовъ, гдѣ не замѣчается ни притеканія, ни вытекания. Нѣсколько же выше, около 7000 фут., мы находимъ лѣтомъ сильное истечение, а зимой сильный притокъ воздуха. Выше 10.000 фут. и зимой, и лѣтомъ происходитъ притеканіе.

Надо замѣтить, что въ нижнихъ слояхъ атмосферы, и при максимумѣ, и при минимумѣ зимой наблюдаются простые максимумы вытекания и притеканія съ почти полнымъ отсутствіемъ движенія на уровнѣ вышнихъ перистыхъ облаковъ, а лѣтомъ являются двойные максимумы.



Фиг. 106.

На рис. 106 изображены кривыя средних годовыхъ выводовъ. Здѣсь ясно видно, какъ при барометрическомъ минимумѣ притеканіе совершается у земной поверхности уменьшаясь до высоты примѣрно въ 3.000 фут., а на большихъ высотахъ переходитъ въ вытекающій потокъ, который достигаетъ наибольшей силы на высотѣ около 7.000 фут., затѣмъ вытекающій потокъ ослабѣваетъ и даже мѣняетъ знакъ, т.-е. дѣлается слабымъ втекающимъ на высотѣ верхнихъ перистыхъ облаковъ. Въ барометрическихъ максимумахъ нижнее вытекание происходитъ почти до нуля на высотѣ около въ 3.800 фут., выше движеніе очень слабо, а начиная отъ высоты 7.500 фут. происходитъ замѣтное притеканіе.



Фиг. 107.

Фиг. 108.

Пунктирная средняя линия, которая представляетъ средній выводъ для барометрическихъ максимумовъ и минимумовъ, показываетъ взаимное уравновѣшиваніе вытекающаго и притекающаго потоковъ у земной поверхности; на нѣкоторой высотѣ примѣрно до 14.000 ф. имѣетъ перевѣсъ вытекание, а выше этого уровня преобладаетъ притеканіе.

Бросивъ взглядъ на фиг. 107 и 108, мы можемъ замѣтить нѣкоторую, весьма естественную, компенсацію потоковъ между барометрическими минимумами и максимумами. На тѣхъ высотахъ, гдѣ для одной системы циркуляціи замѣчается притеканіе или вытекание, для другой системы имѣетъ мѣсто обратное движеніе.

Надо помнить, что эти интересные результаты были получены для окрестностей Берлина, т.-е. на континентѣ. Многого должно измѣниться на океанѣ. Очень вѣроятно тоже, что абсолютная высота облаковъ, полученная Феттиномъ, слишкомъ низка (по крайней мѣрѣ для нижнихъ облаковъ), такъ какъ наблюденія другихъ изслѣдователей показали, что притеканіе при барометрическихъ минимумахъ и вытекание при барометрическихъ максимумахъ, наблюдаемое вблизи земной поверхности, простирается до раіоновъ, лежащихъ выше, чѣмъ указано въ его выводахъ.

НАПРАВЛЕНІЕ И СКОРОСТЬ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНІЯ ЦИКЛОНОВЪ.

Карта Лумиса (рис. 94) весьма наглядно изображаетъ распредѣленіе путей центровъ циклоновъ въ сѣверномъ полушаріи. Направленіе стрѣлокъ указываетъ, что въ среднихъ широтахъ циклоны движутся вообще къ Востоку, а въ низшихъ — къ Западу. Пути, направленные къ Западу, вообще короче тѣхъ, которые направлены къ Востоку. Поясъ движенія циклоновъ не доходитъ до экватора на 6°, сѣверную же границу ихъ трудно указать.

Карта Лумиса показываетъ также, что существуютъ два главныхъ раіона тропическихъ циклоновъ въ сѣверномъ полушаріи, а именно: въ Атлантическомъ океанѣ, вблизи Антиль-

ских островов и къ югу, юго-западу и западу отъ материка Азіи. Нѣкоторые изъ этихъ тропическихъ циклоновъ образуются и исчезаютъ внутри тропиковъ, тогда какъ другіе, двигаясь нѣкоторое время къ западу, постепенно пріобрѣтаютъ сѣверное направленіе и, перейдя въ среднія широты, получаютъ господствующее въ этихъ областяхъ восточное направленіе.

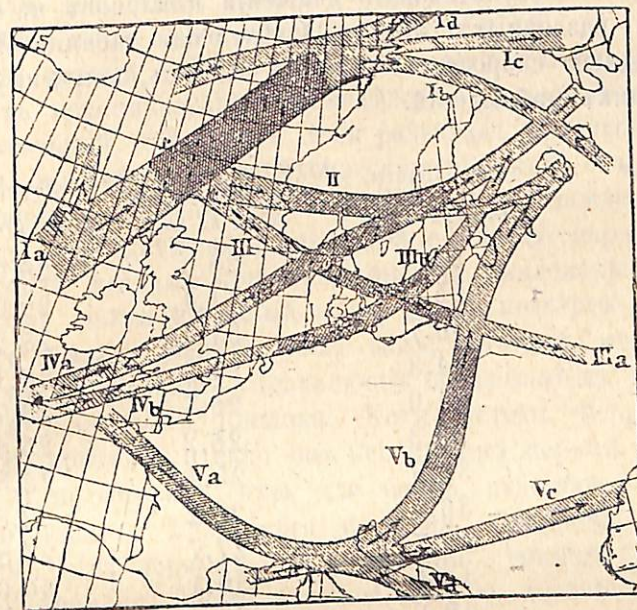
Въ первомъ районѣ—Американскихъ циклоновъ—направленіе движенія найдено равнымъ $W26\frac{1}{2}^{\circ}N$, скорость = 19 километровъ въ часъ, во второмъ районѣ—азиатскихъ циклоновъ— $W27\frac{1}{2}^{\circ}N$, скорость = 14.5 килом. въ часъ. Для циклоновъ, мѣняющихъ направленіе, въ Востъ-Индіи западное направленіе было почти то же, какъ и для первыхъ, но скорость равнялась 28 километровъ въ часъ, между тѣмъ какъ послѣ перемѣны направленія къ востоку (въ среднемъ $E38\frac{1}{2}^{\circ}N$) скорость возрастала до 33 километровъ въ часъ; для Остъ-Индскихъ циклоновъ въ ихъ западномъ теченіи среднее направленіе было $W38^{\circ}N$, скорость—13 килом. въ часъ, при сѣверномъ направленіи скорость оказывалась 15 километровъ въ часъ, а послѣ принятія восточнаго направленія (въ среднемъ $N35^{\circ}E$) она возрастала до 15,3 километровъ въ часъ.

Лумисъ принялъ въ расчетъ только незначительное количество тропическихъ циклоновъ, когда дѣлалъ свои средніе выводы, но числа, найденныя имъ, вѣроятно, не особенно отличаются отъ тѣхъ, какія могли бы получиться, если бы основываться на большемъ числѣ случаевъ.

Современные метеорологи болѣе всего изучали движеніе циклоновъ умѣренной зоны сѣвернаго полушарія. Лумисъ нашелъ среднее направленіе поступательнаго движенія циклоновъ въ Сѣверной Америкѣ равнымъ $N81^{\circ}E$, нѣсколько восточнѣе лѣтомъ и немного сѣвернѣе зимой. Въ центральной части направленіе слегка отклонено на юго-востокъ, а въ восточной части на сѣверо-востокъ. На сѣверѣ Атлантическаго океана направленіе будетъ $N67^{\circ}E$ въ западной части и $N80^{\circ}E$ въ восточной части.

Въ циклонахъ, которые приходятъ изъ однихъ и тѣхъ же мѣстъ и окружены одинаковыми условіями, замѣчается несом-

нѣнная тенденція двигаться по общему пути ¹⁾. Нанося на карту большое число путей циклоновъ, можно опредѣлить положеніе нѣкоторыхъ, наиболѣе часто посѣщаемыхъ дорогъ. На рис. 109 представлены пути, наиболѣе часто проходимые циклонами Европы, какъ указалъ Фанъ-Бейберъ. Ширина пути пропорціональна числу циклоновъ, прослѣдовавшихъ по этому пути.



Фиг. 109.

Путь I наиболѣе посѣщается циклонами осенью и зимой, но рѣдко весной. На сѣверѣ Норвегіи онъ переходитъ въ вѣтви I_b , I_c , I_d , и положенія сосѣднихъ циклоновъ и антициклоновъ съ достовѣрностью опредѣляютъ по какой вѣтви направится циклонъ, достигнувши раздѣленія дороги.

¹⁾ Повидимому у каждаго послѣдующаго циклона есть стремленіе двигаться не въ точности по пути предыдущаго, но отклоняясь отъ него въ право. Такимъ образомъ обыкновенно путь послѣдующаго циклона лежитъ южнѣе или юговосточнѣе предыдущаго. *Ред.*

Пути II, III, IV и V развѣтвляются подобнымъ же образомъ. Эти пути и развѣтвленія мѣстами пересѣкаются, кое-гдѣ сливаются, иногда же идутъ независимо одинъ отъ другого. Путь V представляетъ соединеніе двухъ отдѣльныхъ путей, которые, соединившись, вскорѣ вновь раздѣляются.

Кёппенъ и Финлей (Finley) такъ же обнародовали карты, показывающія повторяемость циклоновъ въ различныхъ мѣстахъ, начиная съ западной Америки и до Восточной Европы.

Скорость поступательнаго движенія циклоновъ не одинакова для различныхъ странъ. Слѣдующая таблица Лумиса даетъ среднюю скорость въ миляхъ въ часъ, полученную изъ многолѣтнихъ наблюденій.

Мѣсяцы	Соед. Штаты.	Атлантическій океанъ.	Европа.
	Кил. въ часъ.	Среднія широты. Кил. въ часъ.	Кил. въ часъ.
Январь	54.4	28.0	28.0
Февраль	55.0	31.4	29.0
Мартъ	50.7	31.7	28.2
Апрѣль	44.3	31.2	26.1
Май	41.0	26.7	23.7
Іюнь	39.3	28.2	25.4
Іюль	39.6	25.4	22.5
Августъ	36.4	26.2	22.8
Сентябрь	39.7	27.7	27.8
Октябрь	44.4	30.1	30.6
Ноябрь	48.1	32.2	29.9
Декабрь	54.8	29.4	28.8
Годъ	45.7	29.0	26.8

Для цѣлаго года среднія скорости поступательнаго движенія циклоновъ въ пяти упомянутыхъ районахъ суть слѣдующія:

Америка Соедин. Штаты	45.7 километра въ часъ
Сѣверная часть Атлант. Океана	29.0 " " "
Европа	26.8 " " "
Западная Индія	23.7 " " "
Южная и юго-западная Азія	13.7 " " "

§ 4 Составители теорій циклоновъ.

Наблюденія циклоническихъ явленій и теоріи, объясняющія ихъ, развивались въ первой четверти нынѣшняго столѣтія одновременно рука объ руку. Ранніе труды Дове, Редфильда, Пиддингтона, Эспи (Espru), Лумиса, Поей (Poeu) и друг. послужили основаніемъ для дальнѣйшихъ работъ Бейса, Баллота, Ферреля, Кеппена, Ханна, Гульдберга и Мона, Клемента Лея, Аббе, Эліота, Гилля, Мельдрума, Бланфорда, Гильдебрандсона, фанъ-Бейбера и Рейе и др.

Дове первый сдѣлалъ попытку отнести явленіе циклоновъ на счетъ механическаго взаимодѣйствія большихъ теченій и противотеченій, тогда какъ Эспи развивалъ противоположный взглядъ, выставляя чисто физическую причину; онъ исходилъ изъ законовъ динамическаго нагрѣванія и охлажденія и видѣлъ въ освободившемся, благодаря сгущенію паровъ, скрытомъ теплѣ главный источникъ энергіи циклоновъ. Феррелю оставалось найти истинный путь, и онъ подвергъ математическому анализу дѣйствія тѣхъ силъ, которыя могутъ быть разсматриваемы, какъ управляющія образованіемъ, поддержаніемъ и движеніемъ циклона. Хотя методы Ферреля подверглись критикѣ, однако онъ несомнѣнно первый поставилъ задачу и подготовилъ путь для болѣе изящнаго математическаго анализа Гульдберга и Мона, Обербека и Марки (Marchi). Два первыхъ къ сожалѣнію, вопреки взглядамъ нашего времени, ввели въ свою теорію вліяніе сгущенія, какъ условіе крайней важности; послѣдніе же воздержались отъ разбора физической стороны вопроса и трактовали динамику атмосферы, продолжая главнымъ образомъ математическіе труды Гульдберга и Мона.

Послѣднія современныя теоріи извѣстнѣйшихъ европейскихъ метеорологовъ и физиковъ сходятся большею частью въ признаніи той гипотезы, что динамическія дѣйствія представляютъ самую важную причину образованія циклоническихъ явленій. Напротивъ англійскіе метеорологи въ Индіи настаиваютъ на физической причинѣ (вліяніе сгущенія), какъ на первенствующей. Наконецъ, американскіе метеорологи, Лумисъ и Аббе, не пренебрегаютъ теоріей мѣстныхъ сгущеній;

по крайней мѣрѣ, взгляды Ферреля могутъ быть такъ поняты, что онъ считаетъ вліяніе сгущенія слабѣе вліянія первичныхъ воздушныхъ теченій. Сдѣланное Феррелемъ сравненіе между явленіемъ мѣстныхъ циклоновъ и явленіемъ большого циклона, окружающаго полюсъ (въ которомъ вліяніе сгущенія весьма ограничено), кажется, ясно свидѣлствуетъ о его взглядахъ на относительную маловажность сгущенія.

Весьма возможно, какъ утверждаетъ Ханнъ, что въ среднихъ широтахъ циклоническія возмущенія лучше всего объясняются при помощи динамической теоріи, а къ циклонамъ низшихъ широтъ, имѣющимъ меньшіе размѣры, чѣмъ первые, и вообще существенно отличающимся отъ нихъ, болѣе приложима теорія сгущенія. Если это такъ, то европейскіе метеорологи правы въ своихъ взглядахъ на происхожденіе и дѣйствіе циклоновъ въ среднихъ широтахъ, а американскіе теоретики вмѣстѣ съ индійскими останутся правы, ограничившись приложеніемъ своихъ объясненій къ циклонамъ низшихъ широтъ.

Что же касается теоріи сгущенія по отношенію къ бурнымъ циклонамъ, то нижеслѣдующая выдержка изъ сочиненія Аббе представитъ краткое изложеніе главнѣйшихъ современныхъ понятій по этому вопросу:

„Статистика американскихъ штормовъ, составленная Лумисомъ, и индійскихъ, сведенная Эліотомъ, подтверждаетъ тотъ взглядъ, что причины движенія штормовъ слѣдующія:

1) Паденіе давленія по направленію къ сѣверу, какъ показали Феррель.¹⁾

2) Движеніе главнаго потока атмосферы, который гонитъ вмѣстѣ воздухъ и штормъ.

¹⁾ Такъ какъ отклоняющая сила, зависящая отъ земного вращенія, возрастаетъ съ широтой, то она будетъ больше на полярной, чѣмъ на экваторіальной сторонѣ циклона, и такъ какъ эта сила должна была бы дѣйствовать вправо въ сѣверномъ полушаріи, то въ движущемся на западъ воздушномъ теченіи на сѣверной сторонѣ центра циклона она должна была бы вызвать полярное перемѣщеніе массы воздуха. Отклоняющая сила по скольку она зависитъ отъ широты, должна быть одинаковая же на западной и восточной сторонахъ циклона и, слѣдовательно, уравнивать одна другую.

3) Инсоляція, которая возбуждаетъ восходящій потокъ на солнечной сторонѣ.

4) Рельефъ поверхности земли, который вызываетъ появленіе облаковъ и дождя на подвѣтренной сторонѣ горъ и береговъ.

5) Океаны и озера, дающіе запасъ влаги.

6) Географическое распредѣленіе площадей высокаго давленія.

7) Выпаденіе дождя, которое оставляетъ освободившееся скрытое тепло въ облакахъ.

Изъ всѣхъ этихъ причинъ послѣдняя (7), когда она случается, является основнымъ факторомъ въ развитіи явленія.

Такъ какъ эта теорія въ приложеніи къ циклонамъ среднихъ широтъ не принята большинствомъ современныхъ ученыхъ въ этой области метеорологіи, то дальнѣйшее развитіе ея здѣсь можетъ быть опущено.

§ 5. Теорія циклоновъ по Феррелю.

Результаты своихъ 30-лѣтнихъ трудовъ по теоріи циклоновъ профессоръ Феррель опубликовалъ впервые въ 1858—60 г. Большинство его статей не приноровлены для средняго читателя и помѣщены въ специальныхъ журналахъ и изданіяхъ. Въ своемъ „Treatise on the Winds“ (1889) онъ посвятилъ около двухъ сотъ пятидесяти страницъ описанію циклоновъ и сопровождающихъ ихъ явленій и здѣсь въ первый разъ далъ очеркъ своей теоріи, который оказался полезнымъ и для публики. Этотъ очеркъ, помимо общаго интереса, представляетъ большія научныя достоинства, и такъ какъ въ немъ хорошо выражены послѣдніе выводы Ферреля, то я приведу здѣсь главнѣйшія положенія теоріи циклоновъ, передавая подлинными словами автора наиболѣе замѣчательныя мѣста.

Если надъ какой нибудь мѣстностью масса воздуха, занимающая извѣстную высоту, становится теплѣе, чѣмъ окружающій воздухъ, то въ этой теплой массѣ воздуха появляется восходящій токъ, и вверху воздухъ начинаетъ стекать по сторонамъ. Это вызываетъ уменьшеніе воздушнаго давленія

въ теплой области и возрастаніе его въ той сосѣдней мѣстности, въ которую перетекаетъ воздухъ. Появляется градиентъ давленія на земной поверхности, и минимумъ давленія обнаруживается тамъ, гдѣ произошло нагрѣваніе. Къ разрѣженію начинаетъ притекать воздухъ, и этотъ потокъ у земной поверхности или вблизи нея питаетъ собою восходящее теченіе надъ теплой областью. Такая циркуляція продолжается до тѣхъ поръ, пока существуетъ причина, вызвавшая ее—нагрѣваніе.

Обыкновенно внутренний восходящій токъ вверху имѣетъ гораздо меньшее поперечное сѣченіе, чѣмъ внѣшній—нисходящій токъ, но за то онъ болѣе интенсивенъ, чѣмъ нисходящій токъ, который можно разсматривать какъ осѣданіе воздуха внизъ.

Если по близости отъ восходящаго тока гдѣ-нибудь находится масса воздуха въ состояніи неустойчиваго равновѣсія сравнительно съ окружающимъ воздухомъ, то эта часть воздуха, вслѣдствіе динамическаго охлажденія поднимающихся массъ воздуха, становится теплѣе послѣднихъ; такимъ образомъ неустойчивое равновѣсіе продолжается нѣкоторое время, и циркуляція воздуха поддерживается, пока не возстановится устойчивое или безразличное равновѣсіе. Въ случаѣ, если воздухъ влаженъ, прибавляется еще одинъ источникъ энергіи, именно, освобожденіе скрытаго тепла изъ водяного пара путемъ сгущенія, которое происходитъ въ восходящемъ потокѣ. Продолжительное питаніе восходящаго тока внѣшнимъ, болѣе сухимъ и болѣе холоднымъ воздухомъ скоро ведетъ къ уничтоженію вертикальнаго температурнаго градиента и, слѣдовательно, вертикальной циркуляціи, поддерживаемой имъ.

Общая циркуляція между внутреннимъ теплымъ и внѣшнимъ холоднымъ районами во многихъ отношеніяхъ можетъ быть приравнена къ циркуляціи, существующей между теплымъ экваторіальнымъ райономъ и холоднымъ полярнымъ; но совершается она въ обратномъ порядкѣ, такъ какъ обыкновенно середина циклона бываетъ болѣе теплою, чѣмъ периферія; условія же сохраненія площадей и непрерывности движенія, о которыхъ упоминалось при объясненіи общей циркуляціи атмосферы, остаются въ силѣ и при этомъ болѣе ограниченномъ обмѣнѣ воздуха.

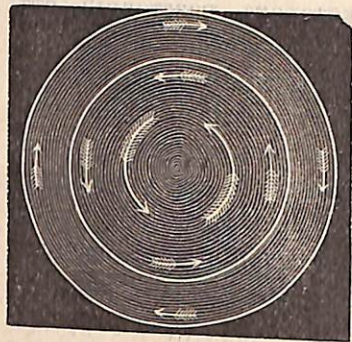
Если-бы земля не обращалась вокругъ своей оси, то воздухъ, движущійся по направленію къ болѣе теплому центру, гдѣ воздушное давленіе меньше, двигался бы прямо къ центру, но отклоняющая сила, зависящая отъ вращенія земли, заставляетъ его отклоняться вправо отъ центра въ сѣверномъ полушаріи и влѣво—въ южномъ, и результатомъ этого является вращательное (вихревое) движеніе вокругъ центра. Направленіе этого вихря противоположно направленію часовой стрѣлки и видно почти на каждой картѣ распределенія вѣтровъ въ области барометрической депрессіи или циклона въ сѣверномъ полушаріи.

Скорость вращенія возрастаетъ отъ периферіи къ центру и становится очень большой на нѣкоторомъ разстояніи отъ центра; но у самаго центра горизонтальное движеніе исчезаетъ.

Воздухъ, текущій вверху, прочь отъ теплаго центра, также уклоняется вправо въ сѣверномъ полушаріи, но сначала эта отклоняющая сила идетъ на преодоленіе угловой скорости, приобрѣтенной воздухомъ внизу. Феррель говоритъ такъ:

„Когда система вертикальной циркуляціи и вращательнаго движенія прочно устанавливается, и воздухъ, который вытекаетъ вверху, возвращается внизу опять къ центру, то первоначальное вихревое движеніе слѣва направо побѣждается отклоняющей силой, пока не явится вращательное движеніе справа налѣво; такимъ образомъ въ связи съ вертикальной системой циркуляціи порождается чрезъ отклоняющую силу земного вращенія два рода вихревыхъ движеній: одно—главнымъ образомъ во внутренней части, справа налѣво, въ сѣверномъ полушаріи, а другое—главнымъ образомъ во внѣшней части,—съ обратнымъ направленіемъ. Внутренняя, наиболѣе энергичная часть, называется циклономъ, а внѣшняя и сравнительно слабая называется антициклономъ; оба всегда идутъ вмѣстѣ (Фиг. 110 представляетъ первую діаграму Ферреля, изображающую эту циркуляцію). Вихревое движеніе первой части называется собственно циклоническимъ вращеніемъ, а движеніе второй—антициклоническимъ; разумѣется, направленія обоихъ движеній будутъ противоположны въ южномъ полушаріи.

„Отклоняющія силы, отъ которыхъ зависятъ эти движенія, на полюсахъ оказываются наибольшими и уменьшаются съ синусомъ широты по направленію къ экватору; слѣдовательно, вихревыя движенія, происходящія отъ данной перемены температуры или вертикальной циркуляціи, при тождествѣ всѣхъ окружающихъ условій, являются наиболѣе интенсивными въ полярныхъ странахъ, ослабѣваютъ съ уменьшеніемъ широты и на экваторѣ исчезаютъ, причемъ здѣсь (на экваторѣ) движенія идутъ по прямой линіи по направленію къ центру и отъ него, какъ было бы и въ томъ случаѣ, еслибы земля не обращалась вокругъ своей оси“.



Фиг. 110.

Еслибы не было сопротивленія отъ тренія, то воздухъ имѣлъ бы это циклоническое движеніе внутри и антициклоническое снаружи на всѣхъ высотахъ, и поверхность раздѣла между тѣмъ и другимъ движеніемъ была бы на одинаковомъ разстояніи отъ центра на всѣхъ высотахъ. Но вліяніе тренія таково, что заставляетъ угловую скорость внизу уменьшаться, а вверху относительно увеличиваться на одномъ и томъ же разстояніи отъ центра, такъ что въ дѣйствительности, чѣмъ больше высота слоя воздуха съ нарушеннымъ равновѣсіемъ, тѣмъ ближе будетъ находиться къ центру поверхность раздѣла циклоническаго и антициклоническаго движенія. Сравнивая эти явленія въ мѣстныхъ циклонахъ и въ большомъ полярномъ циклонѣ, имѣющемъ холодный центръ, видимъ: „что они очень похожи между собою, за исключеніемъ того, что въ общей циркуляціи полушарія вихревое движеніе или составляющія скорости, направленные къ Востоку, вверху наибольшія, тогда какъ въ циклонической циркуляціи они вверху наименьшія; въ общей циркуляціи движеніе къ Востоку исчезаетъ и переходитъ въ движеніе къ Западу на нѣкоторомъ разстояніи отъ полюса, возрастающемъ съ возрастаніемъ высоты, тогда какъ въ циклонахъ

разстояніе отъ центра, въ которомъ вращательныя движенія исчезаютъ и превращаются изъ циклоническихъ въ антициклоническія, уменьшается съ увеличеніемъ высоты; это происходитъ отъ разницы въ распредѣленіи температуры и температурныхъ горизонтальныхъ градіентовъ; при общей циркуляціи полушарія полярный или центральный районъ холоднѣе, а въ циклонѣ центральная часть теплѣе, слѣдовательно, направленія вертикальныхъ циркуляцій въ обоихъ случаяхъ обратны“.

Не останавливаясь на дальнѣйшихъ подробностяхъ касательно механизма циклоническихъ и антициклоническихъ теченій, приводимыхъ Феррелемъ въ его „Treatise on the Winds“, прибавимъ еще только, что центростремительное движеніе нижняго воздуха развиваетъ силу, которая обуславливаетъ характерное вращеніе циклона, а центробѣжное движеніе въ верхнемъ воздухѣ развиваетъ силу, противодѣйствующую ему.

Воздушное давленіе въ циклонахъ.

Наблюдаемое барометрическое давленіе въ циклонахъ обнаруживаетъ рѣзкій градіентъ въ нѣкоторомъ разстояніи отъ центра, уменьшающійся по направленію къ периферіи; Феррель объясняетъ это тѣмъ, что градіентъ пропорціоналенъ силѣ, которая его вызываетъ, и именно зависитъ почти всецѣло отъ угловыхъ скоростей, которыя малы на периферіи и сравнительно велики близъ центра.

Кольцо высокаго давленія, соответствующее тому, которое находится въ большихъ полярныхъ циклонахъ обоихъ полушарій земли на 30^0 широты, имѣется и въ меньшихъ частныхъ циклонахъ. Относительно этого Феррель говоритъ:

„Такъ какъ отклоняющія силы циклоническаго и антициклоническаго движенія направлены отъ центра въ первомъ и къ центру во второмъ, то наибольшее давленіе находится въ томъ разстояніи отъ центра, гдѣ они переходятъ одно въ другое по крайней мѣрѣ постольку, поскольку давленіе и его градіентъ зависятъ отъ этихъ силъ. Разница давленія между наинизшимъ въ центрѣ и наивысшимъ тамъ, гдѣ вращенія

исчезаютъ, зависить отъ суммы градиентовъ давленія, и такъ какъ они сравнительно круты въ циклонической части, то разница между наивысшимъ давленіемъ и давленіемъ въ центрѣ обыкновенно гораздо больше, чѣмъ въ антициклонической части между наивысшимъ давленіемъ и общимъ ненарушеннымъ давленіемъ вокругъ антициклона.

„То, что сейчасъ установлено по отношенію къ давленію на земной поверхности, остается правильнымъ и для любой высоты надъ землей. Атмосфера на какомъ-нибудь данномъ уровнѣ можетъ быть разсматриваема, какъ отдѣльная атмосфера, и угловыя скорости воздуха на этомъ уровнѣ, какъ скорости у основанія атмосферы, лежащей выше этого уровня. На какой-нибудь данной высотѣ, слѣдовательно, наивысшее давленіе находится въ томъ мѣстѣ плоскости этой высоты или вблизи его, гдѣ вращеніе исчезаетъ и циклоническое движеніе переходитъ въ антициклоническое. Но чѣмъ больше высота, тѣмъ ближе къ центру, какъ мы видѣли, должна произойти эта перемѣна, и на значительныхъ высотахъ движенія должны быть антициклоническія на всѣхъ разстояніяхъ отъ центра; въ этомъ случаѣ нѣтъ центральной области низкаго давленія (на этой высотѣ), но въ центрѣ будетъ наибольшее давленіе и всѣ движенія будутъ антициклоническими; разсматривая часть атмосферы, лежащую надъ этимъ уровнемъ, мы найдемъ тамъ только антициклонъ безъ сопровождающаго циклона, тогда какъ на низшихъ уровняхъ движенія суть отчасти циклоническія, отчасти же антициклоническія. — первыя увеличивающіяся, а послѣднія — уменьшающіяся въ площади, захватываемой ими, причемъ барометрическое пониженіе въ центрѣ становится интенсивнѣе, по мѣрѣ того, какъ высота уменьшается; наибольшій градиентъ замѣчается при земной поверхности.

„Тогда какъ горизонтальная составляющая движенія воздуха въ его вертикальной циркуляціи постепенно уменьшается по мѣрѣ приближенія къ центру циклона, и равняется нулю въ центрѣ его, и весьма мала на значительномъ разстояніи отъ центра, хотя угловая составляющая скорости движенія здѣсь обыкновенно велика, уголъ отклоненія отъ изобары дѣйствительнаго циклоническаго движенія вблизи центра малъ въ сравненіи съ угломъ отклоненія во

внѣшней болѣе энергичной части циклона, и такимъ образомъ движеніе очень близко къ круговому.

„Вблизи и у самой земной поверхности, на внѣшней сторонѣ кольца наивысшаго давленія, имѣется одно исключеніе касательно отклоненія къ центру. Вслѣдствіе замедленія антициклоническаго вращательнаго движенія, зависящаго отъ тренія, сила отклоняющая къ центру такъ слабѣетъ, что не равняется силѣ градиента давленія, и воздухъ, вмѣсто того, чтобы течъ къ центру, уходитъ по противоположному направленію отъ области высокаго давленія; отсюда получаются движеніе антициклоническое т.-е. центробѣжное и уголъ отклоненія отъ изобары отрицательный, подобно тому, какъ въ верхней части атмосферы.

„На другой сторонѣ кольца высокаго давленія, вслѣдствіе той же причины, замѣчается то же стремленіе воздуха притекать внизу къ центру; эта сила комбинируется съ силой общаго градиента вблизи земной поверхности, являющагося слѣдствіемъ разницы температуръ. Такимъ образомъ эта составляющая движенія растетъ сильно и вызываетъ отклоненіе, гораздо большее, чѣмъ можно было бы ожидать, и большее, чѣмъ отклоненіе въ высшихъ слояхъ, непосредственно за нимъ слѣдующихъ.

„На обѣихъ сторонахъ кольца высшаго давленія вращенія усиливаются черезъ вытеканіе воздуха внизу на каждой сторонѣ, которое отъ отклоняющей силы вращенія земли принимаетъ въ обоихъ случаяхъ направленіе вправо. Дѣйствительно, еслибы не было этой силы, то на внѣшней сторонѣ кольца не было бы антициклоническаго вращенія“.

Область затишья въ циклонахъ.

Въ циклонахъ есть два района затишья. Въ самомъ центрѣ циклона горизонтальнаго движенія нѣтъ, или существуетъ лишь слабое горизонтальное движеніе, такъ какъ сила, которая поддерживаетъ вращательное движеніе, становится слишкомъ малой. Далѣе говоримъ словами Ферреля:

„Въ кольцѣ наивысшаго давленія, какъ мы знаемъ, угловыя скорости должны исчезнуть и перемѣнить знакъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ центра, именно тамъ, гдѣ лежитъ полоса

наивысшаго давленія; такъ какъ воздухъ вытекаетъ изъ этой области высшаго давленія, съ одной стороны внутрь, а съ другой наружу, то очевидно, что здѣсь нѣтъ ни вращательнаго, ни радіальнаго движенія, и слѣдовательно должно быть кольцо затишья“.

Постепенное расширеніе циклоновъ.

„Разсматривая циклоны, мы предполагали, что вихревая система имѣетъ предѣлъ и заключаетъ постоянно одно и то же количество воздуха, который, при помощи вертикальной циркуляціи, непрерывно обмѣнивается между внутренней и внѣшней частями внутри этихъ предѣловъ. Однако, это предположеніе далеко отъ истиннаго положенія вещей въ природѣ. Пока поддерживается вертикальная циркуляція, обладающая достаточной энергіей, циклоны стремятся увеличиваться въ объемѣ, вихревое движеніе постепенно расширяется и вихрь охватываетъ все большее и большее пространство. Но если поддерживающая движеніе энергія не возрастаетъ подобнымъ же образомъ, то движеніе наконецъ достигаетъ предѣла, при которомъ температурный градіентъ и силы, обуславливающіе вертикальную циркуляцію, становятся достаточными только для того, чтобы бороться съ сопротивленіемъ отъ тренія, и затѣмъ распространеніе въ ширь прекращается; тогда, если энергія вихря начинаетъ падать, вслѣдствіе уменьшенія запаса водяного пара или вслѣдствіе уменьшенія разности температуръ нижнихъ и верхнихъ слоевъ, то цѣлая система циркуляціи должна постепенно слабѣть и въ концѣ концовъ исчезнуть.

Циклоны большою частью начинаются съ малой площади и постепенно расширяются. Но это не всегда такъ бываетъ. Если атмосфера находится въ состояніи неустойчиваго равновѣсія и температурныя условія таковы, что первоначальное движеніе вверхъ охватываетъ сразу большую площадь, то вертикальная и вихревая циркуляція начинается сразу надъ большой площадью и постепенно растетъ въ силѣ, пока сопротивленіе отъ тренія при возрастаніи скорости не станетъ равнымъ движущей силѣ; тогда дальнѣйшее увеличеніе интен-

сивности вихря и расширеніе его предѣловъ, должны прекратиться. Есть извѣстный предѣлъ расширенія и усиленія циклона, почти пропорціональный запасу энергіи, и если первоначальныя температурныя условія таковы, что онъ можетъ возникнуть только на малой площади, то онъ начинаетъ возрастать постепенно и въ объемѣ и въ интенсивности, пока не достигнетъ упомянутаго предѣла“.

Поступательныя движенія циклоновъ.

Что касается поступательныхъ движеній циклоновъ, то Феррель говоритъ слѣдующее:

„Циклоны никогда не бываютъ стаціонарны, и направленіе, въ которомъ движутся ихъ центры, и ихъ скорость различны не только въ разныхъ широтахъ и въ различныхъ мѣстахъ земного шара, но и въ одномъ и томъ же мѣстѣ въ разное время. Вообще направляются они въ нижнихъ широтахъ къ западу, а въ среднихъ и высшихъ къ востоку. Различныя обстоятельства обуславливаютъ въ большей или меньшей степени поступательныя движенія циклоновъ. Важнѣйшимъ изъ нихъ является несомнѣнно общее движеніе атмосферы, но не то, которое наблюдается вблизи земной поверхности, а то, которое свойственно большимъ высотамъ, гдѣ находится центръ энергіи. Атмосфера въ своемъ общемъ движеніи увлекаетъ ихъ съ собой, какъ струя воды влечетъ за собой образующіеся въ ней небольшіе водовороты. Эта мысль явилась впервые у автора (Ферреля) болѣе чѣмъ четверть столѣтія тому назадъ. (Рисунокъ 111 представляетъ первую діаграмму, на которой Феррель изобразилъ пути циклоновъ, а также направленіе воздушныхъ теченій циклона). Тропическіе циклоны движутся къ западу, или по крайней мѣрѣ имѣютъ значительную составляющую движенія къ западу, потому что общее движеніе атмосферы здѣсь до извѣстной высоты направлено къ западу, напротивъ въ высшихъ широтахъ циклоны принимаютъ направленіе къ востоку, притомъ съ гораздо большими скоростями, потому что тамъ общее движеніе на всѣхъ высотахъ направлено къ востоку, и скорость, особенно на большой высотѣ, сравнительно большая.

Если бы общія движенія атмосферы имѣли первенствующее значеніе въ поступательныхъ движеніяхъ циклоновъ, то мы должны были бы ожидать, что не только эти движенія будутъ направляться къ западу въ низшихъ широтахъ и къ востоку въ высшихъ, но также, если замѣчается годовое неравенство въ однихъ, то оно будетъ замѣтно и въ другихъ. Найдено, что скорость движенія воздуха къ востоку въ среднихъ широтахъ слишкомъ вдвое больше въ январѣ, чѣмъ въ іюлѣ, а среднія скорости для зимняго и лѣтняго полугодій находятся одна къ другой въ отношеніи 29 къ 23. Такія же отношенія найдены и между зимней и лѣтней скоростями вышеуказанныхъ поступательныхъ движеній циклоновъ. Однако скорость поступательнаго движенія циклоновъ гораздо большая, чѣмъ скорость общаго движенія атмосферы къ востоку. Правда, энергія циклона наибольшая вверху, гдѣ происходитъ сгущеніе водяного пара и гдѣ температура воздуха въ циклонѣ сильно отличается отъ температуры окружающей атмосферы, и вслѣдствіе этого поступательное движеніе обуславливается главнымъ образомъ движеніемъ атмосферы на этой высотѣ. Теоретическое вычисленіе показываетъ, что на высотѣ 4,000 метровъ въ Соединенныхъ Штатахъ восточная составляющая общаго движенія воздуха составляетъ около 42 километровъ въ часъ, т.-е. такая же, какъ скорость циклоновъ.

„Такъ какъ энергія циклона содержится преимущественно въ сгущенномъ водяномъ парѣ, то безъ него мы рѣдко наблюдаемъ разростаніе начальнаго циклоническаго движенія; скорость и направленіе поступательнаго движенія циклона зависятъ, по крайней мѣрѣ до извѣстной степени, отъ распредѣленія этого пара въ районѣ, въ которомъ циклонъ существуетъ, причемъ циклонъ какъ бы стремится по направленію туда, гдѣ больше пара, и проходитъ мимо той области, гдѣ меньше пара. Вслѣдствіе этого, вѣроятно, цѣпь озеръ между Канадой и Соединенными Штатами оказывается большой дорогой циклоновъ.

„При циклонахъ замѣчается большая разница температуры и крутой температурный градіентъ въ направленіи съ востока на западъ, какихъ безъ циклоническаго возмущенія

не бываетъ. Холодный и сухой воздухъ западной стороны циклона стремится оттѣснить болѣе теплый и болѣе влажный воздухъ восточной стороны еще далѣе на востокъ, послѣдній постепенно образуетъ новый центръ температурнаго возмущенія нѣсколько впереди, и этотъ центр становится новымъ центромъ циклона. Такимъ образомъ видимое поступательное движеніе совершается вслѣдствіе постояннаго образованія новаго циклона нѣсколько впереди стараго. Такое явленіе очевидно имѣло бы мѣсто въ атмосферѣ безъ присутствія ей поступательнаго движенія, но указанное вліяніе температуры все-таки занимаетъ второе мѣсто послѣ вліянія поступательнаго движенія атмосферы, потому что въ противномъ случаѣ циклоны въ тропическихъ широтахъ двигались бы не къ западу, а къ востоку, т.-е. въ направленіи, которому благопріятствуетъ это второстепенное вліяніе температуры“.

§ 6. Теорія циклоновъ и антициклоновъ Ханна.

Синоптическія карты погоды показываютъ распредѣленіе метеорологическихъ „элементовъ“ въ циклонахъ и антициклонахъ вблизи поверхности земли, но не даютъ съ такою же точностью представленія о ихъ распредѣленіи вверху. Много разногласій породило между метеорологами различное толкованіе выводовъ изъ наблюденій, сдѣланныхъ на немногихъ изолированныхъ горныхъ станціяхъ при прохожденіи циклоновъ или антициклоновъ. Это является результатомъ весьма сбивчивыхъ понятій относительно условій, которыя господствуютъ въ свободномъ воздухѣ на большихъ высотахъ. Въ недавнее время Ханнъ оказалъ большую услугу метеорологіи своими изслѣдованіями въ этой области, опубликованными въ Sitzungsberichte d. k. Akademie d. Wissenschaften въ Вѣнѣ, и въ Meteorolog. Zeitschrift.

Пользуясь наблюденіями, сдѣланными на Альпійской обсерваторіи на Зоннбликѣ и окружающихъ станціяхъ, и удачно примѣняя прочно установленныя теоремы, касательно динамическихъ измѣненій въ циркулирующемъ воздухѣ, Ханнъ могъ такимъ образомъ сильно подвинуть впередъ наши представленія о дѣйствительно существующихъ усло-

віяхъ и измѣненіяхъ, происходящихъ высоко надъ поверхностью земли. Между прочими выводами, которые онъ изложилъ въ своемъ послѣднемъ докладѣ въ Вѣнской Академіи, онъ доказываетъ, что циклоны состоятъ изъ массы холоднаго воздуха, а антициклоны изъ массы сравнительно теплаго, что зависитъ отъ динамическихъ причинъ, являющихся слѣдствіемъ общей циркуляціи атмосферы, а не всецѣло отъ термическихъ причинъ, какъ обыкновенно предполагалось.

Ханнъ напелъ, что на большихъ высотахъ въ Альпахъ барометрическій максимумъ сопровождается относительно высокою температурой, малою относительно влажностью и малымъ количествомъ облаковъ. На болѣе низкихъ уровняхъ въ то же время бываетъ относительно болѣе низкая температура, болѣе влажный воздухъ и болѣе облачность, и теченіе воздуха направляется внизъ.

Барометрическіе максимумы зимой сопровождаются максимумами у земной поверхности, при чемъ амплитуда отклоненія почти та же самая; лѣтомъ же амплитуда вверху вдвое болѣе, чѣмъ внизу, но имѣетъ то же направленіе. Температурная аномалія положительная и вверху, и внизу (одинаковая, какъ на вершинѣ Зоннблика, такъ и въ Ишлѣ, станціи у подошвы горы). Воздухъ относительно тепелъ до высоты 3 километровъ. И въ тѣхъ случаяхъ, которые изслѣдовалъ Ханнъ, не было открыто никакого присутствія обыкновенно считаемаго существующимъ холоднаго центра въ антициклонѣ.

Если разсматривать относительно временъ года, то окажется, что мѣсячные минимумы воздушнаго давленія на Зоннбликѣ сопровождаются относительно низкими температурами и зимой, и лѣтомъ, какъ вверху, такъ и внизу, но съ большими отступленіями вверху; относительная влажность велика вверху и доходитъ почти до насыщенія, при этомъ наблюдается большая густота облаковъ. При большой массѣ воздуха въ циклонѣ находится холодный центръ, а не теплый, какъ обыкновенно полагаютъ. Ханнъ думаетъ, что явленіе циклона заходитъ гораздо выше, чѣмъ принято предполагать.

Очевидно, что отношенія, наблюдаемыя у земной поверхности, не могутъ служить критеріумомъ при разсмотрѣніи большихъ массъ воздуха: у поверхности земли при антициклонахъ въ ясную зимнюю погоду замѣчается въ центрѣ низкая температура, а лѣтомъ—высокая: наоборотъ при циклонахъ температура зимой выше, а лѣтомъ—ниже нормальной.

На высотѣ обсерваторіи Зоннблика температура повышается и падаетъ вмѣстѣ съ воздушнымъ давленіемъ круглый годъ. Но время появленія максимума и минимума температуры отстаетъ на одинъ день отъ времени появленія максимума и минимума давленія. Это совершенно противоположно явленіямъ, наблюдаемымъ у земной поверхности при прохожденіи антициклона въ зимнюю пору. Вліяніе облачности на температуру вверху совершенно обратное тому, которое замѣчается въ это время года внизу; наивысшая температура внизу сопровождается наибольшимъ количествомъ облаковъ, а наивысшая температура вверху сопровождается наименьшимъ количествомъ облаковъ. Эти явленія Ханнъ приписываетъ вліянію движенія внизъ воздушныхъ массъ антициклона. Нижеслѣдующая таблица ясно показываетъ измѣненіе температуры сообразно съ высотой при различныхъ условіяхъ распредѣленія воздушнаго давленія въ Восточныхъ Альпахъ:

Въ столбцѣ I этой таблицы помѣщены названія наблюдательныхъ станцій; въ столбцѣ 2-мъ—высота этихъ станцій надъ уровнемъ моря въ метрахъ; столбцы 3, 4, 5, 6 даютъ температуру въ градусахъ Цельзія въ восточной, южной, западной и сѣверной частяхъ области высокаго давленія или антициклона; столбцы 7 и 8—температуру, когда область максимума и минимума давленія занимаетъ центральную Европу; столбцы 9 и 10—температуру, когда область максимума или минимума воздушнаго давленія имѣетъ свой центръ на Зоннбликѣ. Эта таблица Ханна достойна серьезнаго изученія.

Ханнъ полагаетъ, что на основаніи результатовъ, полученныхъ имъ изъ наблюденій въ районѣ континентальныхъ Альпъ надъ теплыми антициклонами и холодными циклонами, мы не можемъ приписывать происхожденіе теплыхъ

антициклоновъ и холодныхъ циклоновъ термическимъ причинамъ. Эти атмосферные вихри зависятъ отъ динамическихъ причинъ и переносятся главными атмосферными теченіями, которыя идутъ отъ экватора къ полюсамъ и отъ полюсовъ къ экватору. Этотъ взглядъ подтверждается часто наблюдаемыми случаями, при которыхъ вѣтеръ направляется противъ градіента воздушнаго давленія и вверху, и внизу, чего чисто термической причиной нельзя было бы объяснить.

Ханнъ нашелъ также невозможнымъ принять конвекціонную теорію (приписываемую между прочими Феррелю) циклоновъ въ приложеніи къ такимъ обширнымъ пространствамъ воздуха, какія охватываются циклонами и антициклонами въ среднихъ широтахъ, и въ которыхъ отношеніе высоты къ діаметру такъ мало. Обыкновенно приводимый примѣръ тяги въ трубѣ можетъ быть примѣненъ только къ случаямъ малыхъ атмосферныхъ вихрей, но имѣетъ весьма мало общаго съ большими циклоническими пертурбаціями. Другой убѣдительной аргументъ, выставляемый имъ на видъ, состоитъ въ томъ, что годовая періодическая повторяемость и интенсивность циклоновъ доказываетъ, что лѣтомъ они дѣйствительно слабѣе, тогда какъ конвективное дѣйствіе естественно должно быть наибольшимъ въ это время. Уже одинъ тотъ фактъ, что циклоны слѣдуютъ одинъ за другимъ почти по одному и тому же пути, кажется, долженъ бы доказать, что равновѣсіе между верхнимъ и нижнимъ слоями воздуха, которое они стремятся возстановить, постоянно нарушается той же самой виѣшней причиной. Теоретическіе выводы Гельмгольца подтверждаютъ положенія Ханна.

§ 7. Попытка Бецоляда пересоздать существующія теоріи циклоновъ.

Главныя разногласія въ старыхъ теоріяхъ циклоновъ.

Старыя теоріи, видящія въ пассатахъ причину почти всѣхъ движеній атмосферы, имѣютъ значеніе лишь для объясненія явленій въ низшихъ широтахъ; позднѣйшія изслѣдованія циклоновъ и антициклоновъ среднихъ широтъ указываютъ на болѣе мѣстныя причины—нагрѣваніе, охлаж-

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНІЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЪ ВОСТОЧНЫХЪ АЗІАХЪ ЗИМОЙ, НАБЛЮДЕННОЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХЪ УСЛОВІЯХЪ ВОЗДУШНАГО ДАВЛЕНІА.

МѢСЯЦЪ.	Высота.	Температура въ различныхъ направленіяхъ антициклоновъ или бар. максимумовъ.				Температура въ барометрическихъ:		Температура въ центръ барометрическихъ:	
		3. E.	4. S.	5. W.	6. N.	7. Макс.	8. Мин.	9. Макс.	10. Мин.
1. Зондлингъ	2. метр.	—18.9° C.	—18.1° C.	—11.0° C.	—11.8° C.	—9.8° C.	—17.5° C.	—7.8° C.	—13.4° C.
Сенгисъ	2500	—12.2 "	—11.7 "	—6.5 "	—7.3 "	—4.3 "	—13.4 "	—2.3 "	—10.4 "
Обиръ	2046	—11.0 "	—12.5 "	—5.0 "	—5.9 "	—4.8 "	—10.2 "	—3.1 "	—6.8 "
Шинтенте	1974	—11.9 "	—12.0 "	—3.9 "	—5.0 "	—3.6 "	—10.6 "	—2.0 "	—6.6 "
Кольмъ	1600	—8.5 "	—10.0 "	—0.9 "	—3.2 "	—3.1 "	—7.7 "	—1.5 "	—3.3 "
Ладгеръ-Вальдбергъ . .	1490	—7.1 "	—9.0 "	—1.0 "	—1.9 "	—1.5 "	—7.1 "	—0.2 "	—3.5 "
Штедлингъ	1410	—6.5 "	—8.1 "	—2.4 "	—2.6 "	—1.7 "	—6.3 "	—0.3 "	—2.4 "
Раурихъ	940	—4.7 "	—7.5 "	—3.0 "	—3.0 "	—5.7 "	—4.5 "	—5.6 "	—0.2 "
Zell am See	766	—3.9 "	—7.1 "	—4.1 "	—3.8 "	—6.9 "	—4.9 "	—7.1 "	+ 0.3 "
Линцъ	680	—3.1 "	—6.0 "	—3.3 "	—3.4 "	—5.9 "	—3.6 "	—5.3 "	+ 0.2 "
Оберъ-Драубургъ . . .	610	—3.6 "	—5.7 "	—3.1 "	—3.3 "	—6.5 "	—4.0 "	—6.3 "	+ 0.3 "

деніе и наличное состояніе влажности, какъ на обстоятельстве, обуславливающія разницы давленія и вслѣдъ за ними вихревое движеніе воздуха.

Бецольдъ думаетъ, что въ своемъ стремленіи дать объясненіе явленію изслѣдователи впадаютъ то въ одну крайность, то въ другую, а защитники послѣдняго взгляда заходятъ слишкомъ далеко, отдѣляя мѣстныя отъ общихъ атмосферныхъ движеній. Онъ обращаетъ вниманіе своихъ читателей на почти забытое и видимо мало замѣченное сочиненіе Ханна ¹⁾, въ которомъ, какъ онъ полагаетъ, излагаются взгляды, имѣющіе громадное значеніе для успѣшнаго разрѣшенія даннаго вопроса. Подобные же результаты теоретически получилъ Гельмгольцъ ²⁾, и здѣсь всего удобнѣе дать мѣсто его выводу, гласящему, что черезъ непрерывное дѣйствіе силъ въ воздухѣ могутъ образоваться поверхности разрыва движенія, причемъ антициклоническое движеніе низшихъ широтъ, и большой циклонъ высшихъ широтъ, окружающій полюсъ, разобьются на многочисленные, неправильно движущіеся, циклоны и антициклоны, преимущественно первые. Главное отличіе этой идеи отъ высказанной много лѣтъ ранѣе Феррелемъ заключается въ томъ, что Феррель придавалъ слишкомъ большое значеніе мѣстнымъ условіямъ, необходимымъ для образованія этихъ второстепенныхъ вихрей внутри большого вихря; но надо помнить, что онъ первый формулировалъ теорію и не могъ пользоваться всѣми современными изслѣдованіями вихрей и разрывныхъ движеній при выясненіи этого, столь сложнаго, вопроса. Изъ работъ Лумиса стало извѣстно, что скрытое тепло, получаемое при образованіи дождя, не необходимо для образованія слабыхъ циклоновъ, но Гельмгольцъ въ своей теоріи идетъ дальше въ желаніи согласовать новое объясненіе этого явленія и другихъ, подобныхъ ему, съ старой конденсаціонной теоріей образованія циклона.

Недавнія изслѣдованія Ханна, касающіяся воздушнаго

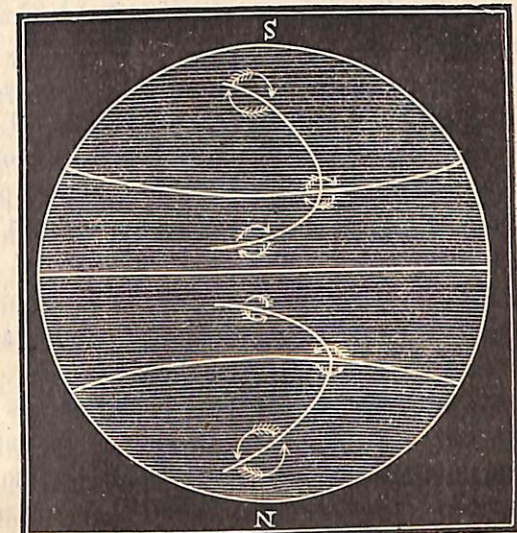
¹⁾ Einige Bemerkungen zur Lehre von den allgemeinen atmosphärischen Strömungen. Von J. Hann. Oster. Zeit. F. Meteorologie, 1879.

²⁾ Ueber atmosphärische Bewegungen. Von Helmholtz Sitzungsber. d. Preuss. Akad. 1888.

давленія и температуры во время прохожденія циклона или антициклона на вершинахъ Альпъ, убѣдили его въ томъ, что, по крайней мѣрѣ въ нѣкоторыхъ случаяхъ, они не зависятъ отъ мѣстныхъ нарушеній равновѣсія массъ воздуха, составляющаго ихъ, и Ханнъ усматриваетъ въ нихъ вліяніе общей атмосферной циркуляціи.

На полярной сторонѣ кольца высокаго давленія, о которомъ упоминалось, когда шла рѣчь объ общей воздушной циркуляціи, на большихъ высотахъ существуютъ условія, которыя, по мнѣнію Гельмгольца, представляютъ достаточную причину для образованія циклоновъ, слѣдующихъ другъ за другомъ въ ихъ восточномъ теченіи, при чемъ рядъ ихъ прерывается гребнями сравнительно высокаго давленія.

Антициклоны или области высокаго давленія суть только части большого кольца высокаго давленія, отдѣляющіяся отъ главной системы въ видѣ неправильныхъ вихревыхъ системъ, центры которыхъ располагаются въ зависимости главнымъ образомъ отъ распредѣленія температуры; области наибольшаго холода наиболѣе благопріятствуютъ ихъ существованію. Они особенно часты и велики въ сѣверномъ полушаріи вслѣдствіе большихъ разностей температуры, обуславливаемыхъ преобладаніемъ суши; соотвѣтственно этому въ южномъ полушаріи замѣчается большая устойчивость кольца высокаго давленія. Въ сѣверномъ полушаріи главный центръ наивысшаго давленія находится въ центральной Азіи на 25° къ сѣверу отъ средней широты кольца высокаго давленія (35° сѣв. шир.), или на разстояніи 60° отъ экватора.



Фиг. 111. (Къ стр. 313).

Взглядъ Бецоляда на центрированные циклоны.

Тогда какъ Ханнъ изучалъ циклоны главнымъ образомъ по тѣмъ даннымъ, которыя получались изъ непосредственныхъ наблюдений, и специально въ отношеніи къ вертикальному распредѣленію температуры, фонъ-Бецольдъ старается поставить вопросъ теоретически, причемъ главное вниманіе обращаетъ на вліяніе воздушнаго давленія и вѣтра.

Прежде всего можно поставить вопросъ, въ чемъ заключается причина и въ чемъ слѣдствіе? Зависятъ ли циклоническія движенія воздуха отъ минимума давленія въ центрѣ, или послѣднее является результатомъ первыхъ? Простѣйшій примѣръ циклона тотъ, въ которомъ изобары представляютъ собой окружности, а вѣтеръ дуетъ по касательнымъ къ нимъ, т.-е. составляетъ уголъ въ 90° съ радіусомъ кривой въ какой-нибудь точкѣ. Такіе циклоны Бецольдъ называетъ „Centrirte Cyclonen“ или „центрированными циклонами.“ Предположивъ, что „центрированный“ циклонъ существуетъ въ дѣйствительности, мы найдемъ въ немъ три дѣйствующихъ силы: центробѣжную силу— P_c , происходящую отъ вращательнаго движенія циклона, отклоняющую— P_i , зависящую отъ обращенія земли вокругъ оси, и силу градиента— T , являющуюся вслѣдствіе разницы въ воздушномъ давленіи. Чтобы наше первоначальное условіе сохранилось, сумма этихъ силъ должна быть равна нулю или, выразивъ это въ видѣ простой алгебраической формулы, будемъ имѣть:

$$P_c + P_i + T = 0.$$

Это условіе предполагаетъ четыре комбинаціи, или отдѣльныхъ случаевъ. Ихъ необходимо рассмотреть отдѣльно:

1) Когда имѣется дѣйствительный циклоническій градиентъ, т.-е. направленный внутрь, по направленію къ центру, такой, какой существуетъ вблизи земной поверхности при барометрической депрессіи, тогда T противоположно двумъ другимъ силамъ, и уравненіе получаетъ такой видъ:

$$P_c + P_i - T = 0.$$

2) Когда градиентъ направленъ наружу, т.-е. такъ, какъ въ области высокаго барометрическаго давленія, и это условіе

имѣетъ мѣсто въ воздухѣ надъ циклономъ съ теплымъ центромъ (въ которомъ циклоническое движеніе зависитъ отъ момента вращенія, приобрѣтеннаго массами воздуха въ низшихъ слояхъ и не могущаго сразу исчезнуть). Въ такомъ случаѣ условіе разсматриваемаго нами „центрированного“ вихря не выполнено.

3) Когда антициклоническое вращеніе существуетъ при градиентѣ, направленномъ наружу, на примѣръ въ области высокаго давленія, находящейся у земной поверхности. Въ этомъ случаѣ формула преобразуется такъ:

$$P_c - P_i + T = 0.$$

Это можетъ случиться въ верхней части циклона (съ теплымъ центромъ) тамъ, гдѣ моментъ вращенія, приобрѣтаемый воздушными массами, приходящими снизу, цѣликомъ уходитъ на преодоленіе сопротивленій.

4) Существуетъ, по крайней мѣрѣ въ теоріи, еще одна комбинація, именно, когда имѣется антициклоническое вращеніе съ градиентомъ, направленнымъ внутрь, т.-е. съ областью низкаго давленія въ центрѣ.

Уравненіе въ этомъ случаѣ приметъ видъ такой:

$$P_c - P_i - T = 0.$$

Это, конечно, не можетъ случиться у земной поверхности, но предполагается осуществимымъ надъ областью высокаго давленія. Чтобы дать себѣ отчетъ относительно нисходящаго теченія, необходимаго для питанія вытекающаго изъ антициклона потока воздуха, теорія помѣщаетъ надъ нимъ циклонъ, или область низкаго давленія въ верхнихъ слояхъ атмосферы, но фонъ-Бецольдъ замѣчаетъ, что для подтвержденія этой гипотезы необходимы еще наблюденія, и онъ вообще думаетъ, что это положеніе невѣрно.

Совершенно невѣроятно, чтобы въ циклонахъ, въ которыхъ наблюдается холодный центръ, этотъ относительный холодъ простирался очень далеко вверхъ отъ поверхности земли. Верхнее втеканіе воздуха въ антициклонъ зависитъ вѣроятно отъ динамическихъ причинъ и скорѣе является результатомъ сгущенія или скопленія воздуха вверху, чѣмъ результатомъ

внутри направленного градиента. Моментъ вращенія въ антициклонѣ такъ слабъ въ сравненіи съ моментомъ вращенія въ циклонѣ, что не можетъ вызвать тѣхъ ненормальныхъ условий, которыя только что разсмотрѣны для циклоническаго вращенія, въ которомъ первоначальное движеніе распространяется на значительныя разстоянія тамъ, гдѣ мы могли бы ожидать противоположнаго движенія.

Строеніе центрированнаго циклона.

Изъ вышеупомянутыхъ четырехъ случаевъ, установленныхъ чисто теоретически, наиболѣе важенъ первый, такъ какъ онъ подтверждается нашими постоянными наблюденіями у земной поверхности, наносимыми на синоптическія карты погоды. Мы имѣемъ еще слишкомъ мало данныхъ относительно движеній воздуха даже на незначительномъ разстояніи отъ земной поверхности, чтобы можно было составить себѣ о нихъ хоть приблизительно вѣрное понятіе. Возьмемъ обыкновенный примѣръ вихря съ центромъ низкаго давленія и, слѣдовательно, съ градиентомъ, направленнымъ внутрь, но при упрощающемъ дѣло предположеніи, что изобары представляютъ окружности, и что въ циркуляціи циклона вѣтры направлены по касательнымъ къ изобарѣ. Ускореніе воздуха, зависящее отъ силы градиента, равно тому, какое сообщилось бы частицѣ, скользящей безъ тренія по наклонной плоскости, съ наклономъ равнымъ наклону изобарной поверхности (допускаемъ, что этотъ наклонъ такъ малъ, что синусъ и тангенсъ угла практически равны). Это положеніе было высказано впервые Мёллеромъ ¹⁾. Сила, сообщающая ускореніе при нисхожденіи, равна силѣ тяжести, помноженной на синусъ угла, тогда какъ сопротивленіе опусканію измѣняется силою тяжести, помноженной на тангенсъ угла. Примѣръ изъ дѣйствительныхъ наблюденій покажетъ, насколько малъ въ дѣйствительности наклонъ этихъ поверхностей равнаго давленія; исключительный случай, взятый изъ наблюденій, сдѣланныхъ въ Англіи 14 октября

¹⁾ Max Möller: „Der Kreislauf d. atmosph. Luft“. Archiv der Deutschen Seewarte, B. X. 1887.

1881 г., даетъ уголъ только въ $0^{\circ}1'36''$ для изобарной поверхности въ 730 мм. Этотъ градиентъ такъ малъ по абсолютной величинѣ, что на разстояніи въ 3 километра изобарическая поверхность измѣняетъ свой абсолютный уровень только на 2 метра, и тѣмъ не менѣе онъ достаточенъ, чтобы вызвать жестокіе вѣтры.

Теоретически разсуждая, между распредѣленіемъ давленія и скоростями вѣтра должно существовать извѣстное соотношеніе, и, дѣйствительно, мы находимъ, что въ одномъ случаѣ вѣтеръ, движущійся по окружности вокругъ центра, поддерживаетъ „центрированный“ циклоническій вихрь, и, обратно, симметрическое круговое распредѣленіе давленія поддерживаетъ такія скорости вѣтра. На практикѣ воздушные слои имѣютъ разныя скорости, и причину этого надо видѣть гдѣ нибудь внѣ разсматриваемой системы; сила, которая преодолеваетъ треніе (и которую мы сначала не приняли во вниманіе), должна получаться извнѣ системы. Относительно этого фонъ Бецольдъ говоритъ такъ: „ни въ какомъ случаѣ сопротивленіе внутри „центрированнаго“ вихря не можетъ быть побѣждено силами, которыя являются результатомъ распредѣленія давленія“.

Является вопросъ: всегда ли выполняется это идеальное условіе въ атмосферѣ вблизи земной поверхности? И въ случаѣ если это такъ, то простираются ли тѣ же соотношенія вверхъ сквозь слой воздуха значительной толщины? Если вѣрно, что „центрированный“ циклонъ въ природѣ не встрѣчается въ идеальномъ видѣ, то необходимо разсмотрѣть, какія особенности замѣчаются въ циклонахъ, представляющихъ характерные признаки.

Съ приближеніемъ къ центру циклона наклонъ изобарныхъ поверхностей (или градиентъ) долженъ возрастать, хотя бы скорость вѣтра и уменьшалась, если же вѣтеръ не ослабѣваетъ, а, наоборотъ, усиливается, то этотъ наклонъ долженъ увеличиваться болѣе быстро. Даже въ случаѣ неизмѣняющейся скорости вѣтра градиентъ долженъ былъ бы сдѣлаться безконечнымъ, еслибы не было компенсирующаго воздѣйствія. И мы находимъ, что скорость вѣтра, а съ нею вмѣстѣ и центробѣжная сила, по мѣрѣ приближенія къ центру, настолько

уменьшаются, что уменьшается и градиентъ въ районѣ, лежащемъ непосредственно вблизи центра.

Для иллюстраціи этого рода явленія лучше всего взять примѣръ изъ дѣйствительности. Шпрунгъ (Lehrbuch d. Meteorologie S. 150), взявъ среднее распределение давленія въ нѣсколькихъ циклонахъ, сдѣлалъ числовой подсчетъ скоростей, исходя изъ произвольнаго предположенія, что циклоны центрированы.

Расстояніе отъ центра ци- клоновъ въ километрахъ . . .	} 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000.
---	--

Соотвѣтствующія скорости вѣ- тра въ метрахъ въ секунду на этихъ расстояніяхъ	} 10·8, 20·7, 21·4, 23·0, 18·0, 13·3, 10·4.
--	--

Эти скорости не настолько велики, чтобы противорѣчить наблюдаемымъ въ дѣйствительности.

Фонъ-Бецольдъ вычислилъ, что въ центрированномъ циклонѣ въ широтѣ 45° при давленіи въ 730 мм. и температурѣ 10° С. скорость вѣтра должна быть 10 метровъ въ секунду въ разстояніи 100, 10, 1 километръ отъ центра при градиентахъ соотвѣтственно равныхъ въ 2 мм., 11 мм., 101 мм. давленія на градусъ дуги меридіана.

Для скорости вѣтра въ 20 метровъ въ секунду градиенты должны быть почти въ четыре раза больше, но эти громадные градиенты не наблюдаются вслѣдствіе того, что центробѣжныя движенія переходятъ въ центростремительныя. Между тѣмъ въ наблюдаемыхъ случаяхъ скорость вѣтра и градиенты обыкновенно уменьшаются въ непосредственной близости къ центру циклона, какъ было вычислено для центрированнаго циклона. Весьма возможно, что на значительной высотѣ имѣетъ мѣсто переходъ центростремительнаго движенія въ центробѣжное, и что центральный потокъ, восходящій внизу, дѣлается нисходящимъ вверху; на это указываетъ часто наблюдаемое проясненіе въ центрѣ циклоновъ (тропическихъ), извѣстное подъ названіемъ „глаза“ бури.

Мы нашли, что скорости вѣтра близъ земной поверхности приблизительно таковы, какія должны были бы развиваться въ центрированномъ циклонѣ, а теперь рассмотримъ тѣ же отношенія въ высшихъ слояхъ атмосферы. Фонъ-Бецольдъ даетъ

математическое доказательство того положенія, что въ случаѣ какого бы то ни было симметрическаго круговаго распределения воздушнаго давленія система скоростей должна быть такая, какая сдѣлаетъ существующій вихрь — центрированнымъ вихремъ, и обратно, что въ случаѣ существованія какой-нибудь системы однообразныхъ круговыхъ движеній (вокругъ общей оси), причѣмъ одно движеніе постепенно переходитъ въ слѣдующее, явится опредѣленное распределение воздушнаго давленія, характеризующее „центрированный вихрь“, которое будетъ способствовать сохраненію этого движенія, если оставить безъ вниманія треніе.

Если мы предположимъ такое распределение воздушнаго давленія, какое находится въ „центрированномъ“ вихрѣ, и вообразимъ, что изобарныя поверхности плавны, а воздухъ можетъ скользить безъ тренія по нимъ внизъ, то этотъ воздухъ будетъ двигаться по горизонтальнымъ кругамъ и будетъ продолжать движеніе вслѣдствіе того, что, какъ мы видѣли, сила, направленная внутрь, уравнивается горизонтальной составляющей ($G \times \tan \alpha$) силы, которая стремится поднять воздухъ вверхъ по изобарной поверхности, причѣмъ уголъ наклона изобарной поверхности, а въ дѣйствительности такъ малъ, что косинусъ его почти равенъ единицѣ. Когда же скорость вѣтра на какомъ-нибудь кругѣ или, слишкомъ велика, или слишкомъ мала, то для того, чтобы сохранить первоначальное равновѣсіе, является восходящее или нисходящее движеніе вдоль предположенной плавно опускающейся изобарной поверхности.

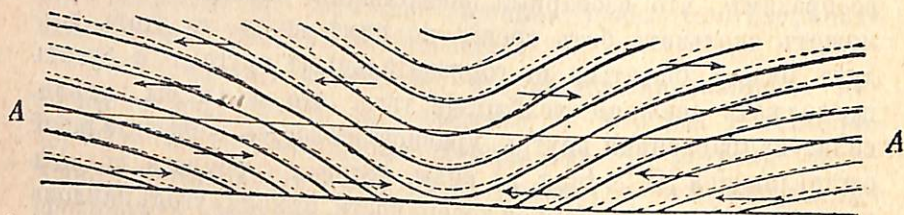
Бецольдъ предлагаетъ назвать скорости, которыя необходимы въ теоріи для поддержанія даннаго распределения давленія, „критическими скоростями“, а поверхности равнаго давленія, которыя являются результатомъ сохраненія данныхъ скоростей вѣтра, „критическими поверхностями“.

Дѣйствующему градиенту дано названіе „эффективнаго градиента“, а градиентъ для „критической поверхности“ названъ „критическимъ градиентомъ“. Пользуясь этими терминами Бецольдъ даетъ слѣдующую теорему:

„въ центрированныхъ вихряхъ поверхности равнаго давленія должны совпадать съ критическими поверхностями, а эффективные градиенты должны быть равны критическимъ градиентамъ“.

Весьма вѣроятно, что если это условіе существуетъ на земной поверхности, то тѣ же отношенія могутъ простираться и вверху на большомъ разстояніи отъ нея.

Такъ какъ вообще разстояніе между двумя изобарными поверхностями пропорціонально абсолютной температурѣ, то измѣненія этихъ разстояній должны быть очень малы, и какія-нибудь двѣ изобарныя поверхности будутъ почти параллельны другъ другу. Въ виду пониженія температуры съ удаленіемъ отъ теплаго центра, а также вслѣдствіе возрастанія давленія изобарныя поверхности въ циклонѣ будутъ тѣснѣе сближаться по мѣрѣ возрастанія разстоянія отъ центральной оси. Критическія же поверхности поднимаются выше съ возрастаніемъ разстоянія отъ центра, а скорости возрастаютъ съ высотой.



Фиг. 112.

Теорія показываетъ, что наклонъ изобарическихъ поверхностей (градиентъ) почти пропорціоналенъ корню квадратному изъ скорости. На прилагаемомъ 112-мъ рисункѣ мы видимъ вертикальный разрѣзъ циклона, нижняя горизонтальная черта представляетъ земную поверхность, а пунктирныя кривыя — критическія поверхности. Предположимъ, что на извѣстной высотѣ надъ земной поверхностью въ плоскости *АА* циклонъ будетъ „центрированный циклонъ“, но ни подъ, ни надъ этой линіей этого условія нѣтъ, скорости же возрастаютъ съ высотой. Легко видѣть, что критическія поверхности и поверхности давленія пересекаются по кривымъ, лежащимъ въ плоскости *АА*; выше этой плоскости наклонъ критическихъ поверхностей болѣе крутъ, а ниже ея болѣе пологъ; вверху центробѣжная сила больше, чѣмъ сила градиента, направленнаго къ оси, а, слѣдовательно, должны существовать движенія, противоположныя градиенту, т.е. центробѣжныя движенія. Нижнія центро-

стремительныя движенія обозначены стрѣлками, обращенными внутрь, а верхнія центробѣжныя движенія — стрѣлками, направленными наружу. Граница, которая раздѣляетъ эти два района, не должна быть непременно плоскостью, но можетъ быть и криволинейною поверхностью.

Въ случаѣ, подобномъ только что описанному, мы имѣемъ измѣненіе направленія вѣтровъ безъ соотвѣтствующей перемѣны знака градиента, причемъ движенія у земной поверхности почти круговыя. Скорости возрастаютъ очень быстро съ высотой надъ земной поверхностью, тогда какъ наклонъ поверхностей равнаго давленія (градиентъ) уменьшается; отъ этого легкое центростремительное движеніе самыхъ нижнихъ слоевъ становится круговымъ нѣсколько выше и центробѣжнымъ еще выше, какъ это показано на діаграммѣ. Такимъ образомъ условія центрированнаго циклона существуютъ въ слое, имѣющемъ небольшое протяженіе по вертикали.

Такъ какъ наклономъ поверхностей равнаго давленія измѣняется сила градиента и наклономъ критическихъ поверхностей измѣняется величина, получающаяся отъ сложенія центробѣжной силы и отклоняющей силы вращенія земли, дѣйствующихъ наружу отъ центра, то, если наклонъ критической поверхности меньше, чѣмъ наклонъ поверхности равнаго давленія, — въ результатѣ получится центростремительное движеніе, т.е. направленное внутрь, къ оси, а если наклонъ критической поверхности больше, то въ результатѣ получится движеніе наружу; или центробѣжное. Между прочимъ надо замѣтить, что критическія поверхности при симметрическомъ круговомъ распредѣленіи давленія становятся поверхностями вращенія только тогда, когда воздухъ движется по кругамъ, перпендикулярнымъ къ оси, и когда центры этихъ круговъ совпадаютъ съ осью; при этихъ условіяхъ состояніе устойчиваго равновѣсія наступаетъ только тогда, когда критическія поверхности и поверхности давленія совпадаютъ совершенно.

Дѣйствительные случаи центрированныхъ циклоновъ.

Бецольдъ считаетъ весьма вѣроятнымъ, что торнадо и другіе смерчи имѣютъ вблизи оси приблизительно круговое

движеніе воздуха. Если выводы, относящіеся къ центрированнымъ циклонамъ, приложить къ торнадо, то окажется, что съ приближеніемъ къ оси торнадо критическія поверхности становятся очень наклоненными, а градіентъ — весьма большимъ, чтобы удержать круговыя движенія отъ обращенія ихъ въ центробѣжныя. Бецольдъ высчиталъ, что на разстояніи 10 метровъ отъ центра, при скорости вѣтра 30 метровъ въ секунду, должно произойти уменьшеніе давленія на 0.81 мм. въ разстояніи 1 метръ по горизонтали; наклонъ критической поверхности долженъ равняться 84° . Если теперь это движеніе поддерживается притокомъ внѣшней энергіи, то мы будемъ имѣть замѣтное уменьшеніе давленія атмосферы въ районѣ, лежащемъ вблизи и вокругъ оси, которое можетъ быть вычислено, если мы знаемъ ходъ уменьшенія скорости съ разстояніемъ отъ оси. Феррель сдѣлалъ это вычисленіе на основаніи предположенія, что торнадо дѣйствительно представляетъ собой центрированный вихрь, въ которомъ форма поверхностей давленія та же, что и у критическихъ поверхностей Бецольда; но, по мнѣнію послѣдняго, громадныя градіенты, которые должны существовать вблизи оси, въ случаѣ отсутствія центробѣжнаго движенія, дѣлаютъ совершенно невѣроятнымъ то предположеніе, что внѣшній воздухъ входитъ въ этотъ внутренній районъ въ качествѣ питающаго потока, и что онъ имѣетъ движеніе по направленію къ оси, т.-е. центро-стремительное, потому что, дабы это стало возможнымъ, дѣйствующій градіентъ, получающійся вслѣдствіе наклону существующихъ поверхностей равнаго давленія, долженъ быть еще больше, чѣмъ критическій градіентъ, который такъ страшно великъ. Но если нѣтъ постоянного притеканія воздуха, то, слѣдовательно, не можетъ быть на оси восходящаго потока. Бецольдъ полагаетъ, что на оси вихря нѣтъ значительнаго вертикальнаго потока, что ось представляетъ собою столбъ, въ которомъ давленіе перемѣщающагося воздуха сильно понижено, и въ который вслѣдствіе перемѣщенія вихря постоянно поступаетъ новый воздухъ. Вычисленія Ферреля показали, что уменьшеніе воздушнаго давленія, происходящее отъ центробѣжной силы, вполне достаточно, чтобы произошло сгущеніе паровъ безъ переноса тепла. Видимое выходеніе смерча изъ обла-

ковъ или ростъ смерча внизъ объясняется тѣмъ фактомъ, что это разрѣженіе воздуха начинается сверху, гдѣ скорости наибольшія и гдѣ воздухъ болѣе насыщенъ парами. Но нельзя видѣть причину всего явленія въ этомъ процессѣ. Если состояніе неустойчиваго равновѣсія является результатомъ нагрѣванія поверхности земли и, слѣдовательно, нижнихъ слоевъ воздуха, то вѣтеръ развиваетъ большую скорость вверху раньше, чѣмъ близъ земной поверхности. Такъ какъ при возстановленіи устойчиваго равновѣсія ускоряющія силы возрастаютъ съ высотой, то не только вообще распредѣлительныя вертикальныя теченія, но и горизонтальныя должны возрастать въ скорости, такъ какъ съ возрастаніемъ высоты сопротивленіе движенію уменьшается. То, что облако сначала видно вверху, а затѣмъ внизу (оно опускается), не можетъ служить само по себѣ доказательствомъ того, что первопричина должна находиться вверху, и не указываетъ направленія вертикальныхъ потоковъ.

Образованіе облаковъ путемъ сгущенія пара уже свидѣтельствуетъ о томъ, что не существуетъ большого нисходящаго потока, такъ какъ адиабатическое сжатіе не допустило бы сгущенія пара.

Что касается большихъ циклоновъ, то Бецольдъ думаетъ, что если они начинаются въ среднихъ слояхъ воздуха, будучи вызваны общей циркуляціей атмосферы такъ же, какъ и мѣстными причинами, то можетъ появиться вверху нисходящій потокъ, которымъ и объясняется явленіе, называемое „глазомъ бури“, и въ отдѣльныхъ случаяхъ онъ можетъ доходить до земной поверхности. Бецольдъ объясняетъ большію сухость въ центрѣ урагана въ Манилѣ (22-го октября 1882 года, упоминаемаго Шпрунгомъ въ его „Meteorologie“, какъ результатъ такого движенія.

Это разсужденіе, кажется, можетъ быть приложено къ описаннымъ Ханномъ циклонамъ съ холоднымъ центромъ и антициклонамъ съ теплымъ центромъ, которые породили столько разногласія на счетъ того, нормальныя или ненормальныя эти явленія? Фонъ Бецольдъ утверждаетъ, что онъ до извѣстной степени объяснилъ явленія, которыя заставили Фая (Faye) сдѣлать заключеніе, что въ центрахъ всѣхъ циклоновъ находится нисходящій воздушный потокъ.

На этомъ мы должны покончить съ вопросомъ о воздушномъ движеніи, хотя сдѣланъ только бѣглый очеркъ большого ряда явленій, преимущественно мѣстнаго характера, куда входятъ торнадо, всѣ смерчи, грозы, шквалы, *derechos* (прямолінейныя бури) и другія интенсивныя, но ограниченныя атмосферныя пертурбаціи. Въ штормахъ замѣчается такое разнообразіе фазъ, что какое-нибудь удовлетворительное представление о нихъ не можетъ быть дано въ одной короткой главѣ.

ГЛАВА VI.

Прикладная метеорологія.

§ 1. Приложение многолѣтнихъ наблюденій къ опредѣленію измѣненій климата.

Вѣковыя колебанія климата представляютъ собою вопросъ еще весьма недавно подвергнутый изученію; за недостаткомъ разностороннихъ изслѣдованій, вопросъ этотъ не былъ затронутъ въ такихъ руководствахъ и элементарныхъ сочиненіяхъ по метеорологіи, каковы нѣмецкій *Lehrbuch der Meteorologie* фантъ-Биббера и англійская *Meteorologie* Скотта.

Профессору Брюкнеру (*Brückner*), изъ Берна, принадлежитъ весьма полная разработка большого количества сырого матеріала и частныхъ изслѣдованій, сдѣланныхъ другими ¹⁾. Мы здѣсь вкратцѣ изложимъ главные выводы, полученные имъ при тщательномъ выборѣ данныхъ изъ общей массы, собранныхъ въ различныхъ частяхъ земного шара съ самаго начала существованія метеорологическихъ учреждений. Эти выводы имѣютъ весьма большую важность, такъ какъ получены изъ суммъ долгихъ цѣнныхъ и обработанныхъ рядовъ наблюденій, тщательно и постоянно продолжаемыхъ. Монографія Брюкнера, несомнѣнно, замѣчательная книга, которая должна быть прочтена каждымъ, кто дѣйствительно интересуется вопросомъ разнообразія и измѣненія климата. Хотя результаты, къ которымъ пришелъ Брюкнеръ, имѣютъ большое научное значеніе, но

¹⁾ *Klimaschwankungen*, Вѣна 1891, 406 стр.

способъ изложенія ихъ такъ простъ, что всякій, кто мало-мальски привыкъ читать метеорологическія сочиненія, не встрѣтитъ затрудненій въ пониманіи не только результатовъ, но и самаго метода ихъ полученія. На ряду со своими собственными изслѣдованіями Брюкнеръ помѣщаетъ разборъ наиболѣе важныхъ сочиненій, трактующихъ о колебаніяхъ климата, и, рассматривая книгу эту, мы должны признать, что она должна занимать первое мѣсто среди сочиненій, посвященныхъ общей обработкѣ собранныхъ данныхъ.

Колебанія количества осадковъ.

Брюкнеръ воспользовался наблюденіями, сдѣланными въ 321 пунктѣхъ земного шара, распределенныхъ слѣдующимъ образомъ: въ Европѣ — 198; въ Азіи — 39; въ Сѣверной Америкѣ — 50, Центральной и Южной Америкѣ — 16; въ Австраліи — 12; въ Африкѣ — 6. Видно, что большинство ихъ приходится на сѣверное полушаріе; это потому, что только тѣ станціи принимались въ расчетъ, на которыхъ наблюденія велись въ теченіе долгаго времени. Для большинства станцій данныя взяты за періодъ отъ 1830—85 г., однако, для многихъ онѣ заходятъ въ болѣе отдаленныя времена, такъ въ Парижѣ начинаются съ 1691 г. Имѣя дѣло съ громадной массой данныхъ, было бы обременительно отмѣчать отдѣльные года, поэтому взяты средніе выводы за пятилѣтніе періоды или люстры, такимъ образомъ: 1691—95, 1696—1700, 1701—1705 и т. д. Слѣдующая таблица представляетъ средніе выводы изъ данныхъ, начиная съ 1831 г., касающіеся излишка и недостатка осадковъ.

	Недостатокъ.	Излишекъ.	Недостатокъ.	Излишекъ.	Недостатокъ.
Европа	1831—40	1841—55	1856—70	1871—85	
Азія	1831—40	1841—55	1856—70	1871—85	
Австралія . . .	—45	1846—55	1856—65	1866—75	1876—85
С. Америка . .	1831—40	1841—55	1856—65(71—75)	1866—70(76—85)	
Средняя и Юж. Америка . . .	1831—45	1846—60	1861—75	1876—85	
Всѣ страны въѣсть . .	1831—40	1846—55	1861—65	1876—85	

Дѣйствительные минимумы и максимумы въ текущемъ столѣтіи имѣютъ мѣсто:

Минимумы.	Максимумы.
	1815 г.
въ 1831—1835 гг.	1846—1850 „
1861—1865 „	1876—1880 „

Обращаясь къ болѣе давнимъ временамъ, мы находимъ.

Недостатокъ.	Избытокъ.
въ — г.	1691—1715 гг.
1716—1735 „	1736—1755 „
1756—1770 „	1771—1780 „
1781—1805 „	1806—1825 „
1826—1840 „	1841—1855 „
1856—1870 „	1871—1885 „

Средняя амплитуда колебаній выраженная въ процен-
тахъ средняго количества осадковъ, слѣдующая: Европа—16⁰%,
Азія—30⁰%, Австралія—22⁰%, Сѣверная Америка—26⁰%,
Центральная и Южная Америка—28⁰%. Среднее для всѣхъ
вмѣстѣ—24⁰%. Это значитъ, что въ сухой періодъ осадки
составляютъ $\frac{3}{4}$ количества осадковъ выпадающихъ въ дождли-
вый періодъ. Кажется, что эти періодическія колебанія на-
блюдаются на всей сушѣ одновременно, и что недостатокъ дож-
дей въ одномъ районѣ не уравнивается излишкомъ въ
другомъ. Что совершается на водной поверхности земного
шара, намъ достовѣрно неизвѣстно, такъ какъ наблюденія
осадковъ, производимыя на морѣ, недостаточны для выво-
довъ, хотя прибрежныя станціи, повидимому, и даютъ хоро-
шіе результаты для открытаго океана.

Предполагали, что существуетъ постепенное замедленіе
во времени наступленія максимума или минимума колебаній
по мѣрѣ удаленія къ востоку; но Брюкнеръ доказалъ, что
такого отношенія ни къ долготѣ, ни къ широтѣ мѣста не суще-
ствуетъ. Что касается амплитуды колебаній количества осад-
ковъ, то надо сказать, что она, хотя и не измѣняется сильно
для одного и того же мѣста, но въ различныхъ мѣстностяхъ

на земной поверхности она отнюдь не бываетъ одинакова,
причемъ найдено какъ общее правило, что эта амплитуда
возрастаетъ съ континентальностью мѣста: среднее отноше-
ніе максимума къ минимуму и среднее количество дождей
въ максимумѣ и минимумѣ за періодъ отъ 1830 до 1880 г.,
согласно съ распредѣленіемъ суши, и расположенныя по
возрастающимъ долготамъ, будутъ слѣдующія:

	Отношеніе макс. миним.	Среднее миним. mm.	Среднее максим. mm.
Восточная часть Англіи	1:18	599	744
Сѣверная Германія	1:23	573	705
Юго-Западная Россія	1:26	447	570
Юго-Восточная Россія	1:40	273	384
Районъ Уральскаго хребта	1:36	350	480
Западная Сибирь	2:31	149	347
Восточная Сибирь	1:59	355	564
Деканскій полуостровъ	1:24	—	—
Амер. Соед. Шт. Западный берегъ	1:38	379	517
„ „ „ Западная часть материка	1:42	483	684
„ „ „ Южная часть материка	1:36	—	—
„ „ „ Восточная часть материка (Огіо, и т. д.)	1:20	890	1059

Такимъ образомъ мы видимъ, что въ Западной Сибири
въ дождливый періодъ выпадаетъ дождей въ 2—3 раза бо-
лѣе, чѣмъ въ сухой, тогда какъ въ Англіи это отношеніе
составляетъ всего 1:2. Наблюденія вдоль восточнаго берега
Сѣверной Америки, на нѣкоторыхъ островахъ Атлантиче-
скаго океана и на берегу Ирландіи дали минимумъ почти
одновременно съ максимумомъ внутри страны; если основы-
ваться на этихъ наблюденіяхъ, то на Атлантическомъ океанѣ
должны происходить колебанія количества осадковъ въ обрат-
номъ порядкѣ, чѣмъ на сушѣ и такимъ образомъ на сушѣ
и морѣ колебанія должны компенсироваться. Въ дѣйстви-
тельности за долгіе промежутки времени мы замѣчаемъ чередую-
щееся перемѣщенія изогіетъ (линій равныхъ осадковъ) вне-
редъ и назадъ. Величина перемѣщеній для различныхъ
изогіетъ представлена на слѣдующей таблицѣ; въ столбцахъ
а за періодъ между минимумомъ 1861—65 и максимумомъ

1881—85, а въ столбцахъ *b* за среднее время максимума и минимума:

ПЕРЕМѢЩЕНІЕ ВЪ КИЛОМЕТРАХЪ.

(+ означаетъ движеніе внутрь материка).

Изогіеты.	Е в р о п а.		Сѣверная Америка.	
	<i>a.</i>	<i>b.</i>	<i>a.</i>	<i>b.</i>
1,000 mm.	— 1,000	— 600	200	700
900	— 500	— 200	300	500
800	— 100	100	400	600
700	+ 300	1,000	500	500
600	+ 1,500	1,600	1,200	1,100
500	+ 400	1,000	2,000	2,000
400	+ 600	800	Исчезаютъ.	Исчезаютъ.
300	Исчезаютъ	Исчезаютъ.		

Очевидно, что эти перемѣщенія представляютъ важный факторъ при сужденіи относительно возрастанія и уменьшенія осадковъ.

КОЛЕБАНІЯ УРОВНЯ ВОДЪ.

Косвенной мѣрой измѣненій въ количествѣ выпаденія осадковъ за долгіе періоды можетъ служить колебаніе уровня воды во внутреннихъ моряхъ, озерахъ и рѣкахъ, и Брюкнеръ основательно изучилъ этотъ вопросъ. Изъ внутреннихъ морей Каспійское море наблюдалось болѣе всего, и записи велись, съ перерывами, начиная съ десятаго столѣтія, а постоянныя полныя записи начинаются съ первой половины XVIII вѣка.

Максимумъ для Каспійскаго моря относится къ 1743 г., затѣмъ между 1780—1809, 1847 и 1879; а минимумъ около 1715, 1766, 1845 и 1856—60.

Брюкнеръ одѣливаетъ среднюю продолжительность одного колебанія въ 34—36 лѣтъ. Что эти отклоненія зависятъ отъ большихъ отдѣльныхъ климатическихъ вліяній, кажется совершенно яснымъ, а сравненія ихъ съ измѣненіями количества дождей и температуры показываютъ, что, начиная съ 1840 г., всѣ эти измѣненія шли почти параллельно.

Просмотръ таблицы высоты уровня моря показываетъ, что

повышеніе уровня совпадаетъ съ холодными сырыми періодами, а пониженіе уровня—съ сухими теплыми періодами.

Для западной и сѣверной частей Каспійскаго моря сырые холодные періоды приурочиваются къ 1745, 1775, 1810, 1845 и 1880 г.; а сухие и теплые приходятся на 1715, 1760, 1795, 1825, 1860 г. Эти измѣненія вліяютъ на количество воды во впадающихъ въ море рѣкахъ и причиняютъ въ нихъ измѣненія расхода воды, которыя въ свою очередь измѣняютъ уровень моря.

Такимъ образомъ кромѣ кратковременныхъ періодическихъ отклоненій найдены и долгіе періоды колебаній.

Результатомъ изслѣдованія озеръ, предпринятаго Брюкнеромъ, являются слѣдующіе выводы:

- 1) Колебанія уровня настоящихъ рѣчныхъ озеръ малы и слѣдуютъ безъ замедленія вслѣдъ за измѣненіемъ уровня рѣкъ.
- 2) Измѣненія уровня озеръ, неимѣющихъ истока, велики и нѣсколько запаздываютъ сравнительно съ соответствующимъ временемъ повышенія уровня воды въ притокахъ, и максимальная высота уровня озера можетъ быть достигнута въ то время, когда уровень въ притокахъ будетъ близокъ къ среднему.
- 3) Озера, неимѣющія истока, отличаются меньшей степенью запаздыванія въ томъ случаѣ, когда ихъ притоки выказываютъ большія измѣненія уровня, чѣмъ въ томъ, когда измѣненія эти малы; то же самое относится и къ озерамъ съ низкими берегами въ противоположность къ озерамъ съ берегами высокими.
- 4) Незначительныя второстепенныя колебанія прибывающей воды въ озерахъ, неимѣющихъ истока, проходятъ незамѣтно, когда разница прибыли и убыли удерживаетъ одинъ и тотъ же знакъ. Единственное дѣйствіе состоитъ въ ускореніи или замедленіи подъема и паденія воды.
- 5) Есть озера, которые по своимъ особенностямъ стоятъ между собственно-рѣчными озерами и озерами, неимѣющими истока.

Брюкнеръ даетъ перечень временъ наступленія максимума и минимума до 1800 г. для альпійскихъ ледниковъ и 7 озеръ, а за текущее столѣтіе для Альпійскихъ ледниковъ и 10 озеръ Европы, Кавказскихъ ледниковъ и 12 озеръ Азіи,

10 озеръ Сѣверной Америки, 2 озеръ Южной Америки, 6 озеръ Африки и 3 озеръ Австраліи. Результатомъ строгаго изученія этихъ данныхъ является тотъ выводъ, что нѣтъ закона, связывающаго наступленіе времени максимума и минимума (фазы) съ долготой и широтой, но что вообще періоды высокой и низкой воды наступаютъ одновременно на всемъ земномъ шарѣ. Промежутокъ отъ максимума до максимума или отъ минимума до минимума колеблется между 30 и 40 годами, а въ среднемъ равняется 35·6 год. Если дѣлать заключенія о періодическихъ измѣненіяхъ климата на основаніи колебаній уровня озеръ, неимѣющихъ истока, то получится слѣдующая небольшая таблица:

Періодъ сухой или теплый, или сухой и теплый.		Періодъ сырой или холодный, или сырой и холодный.	
До и около.	1720	До и около.	1740
"	1760	"	1780
"	1800	"	1820
"	1835	"	1850
"	1865	"	1880

Соотвѣтствующая таблица времени максимума и минимума воды въ тридцати рѣкахъ и тридцати рѣчныхъ озерахъ слѣдующая:

Минимумъ.		Максимумъ.	
Около.	1760	Около.	1740
"	1795	"	1820
"	1831—35	"	1850
"	1861—65	"	1876—80

Очевидно, что эти періоды почти одинаковы для всѣхъ трехъ видовъ водныхъ бассейновъ, и естественный выводъ отсюда тотъ, что на всемъ континентѣ ихъ обуславливаютъ общія климатическія причины.

Колебанія атмосфернаго давленія.

Выводы Брюкнера опираются главнымъ образомъ на матеріалахъ, приведенныхъ Ханномъ въ его большомъ трудѣ „Luftdruck in Central Europa“, котораго недавнее появленіе освободило Брюкнера отъ огромной затраты времени и труда,

такъ какъ Ханнъ употребилъ два года на обработку матеріала и еще болѣе на собраніе его для одной только Европы.

Колебанія воздушнаго давленія разобраны у Брюкнера подъ двумя названіями: среднихъ годовыхъ и среднихъ сезонныхъ. Таблица, приведенная ниже, представляетъ среднія отклоненія воздушнаго давленія въ миллиметрахъ отъ средняго давленія въ 1851—1880, за каждыя 5 лѣтъ (люстръ), а также аномаліи дождевыхъ осадковъ въ процентахъ ихъ количества.

		1826—1830	1831—1835	1836—1840	1841—1845	1846—1850	1851—1855	1856—1860	1861—1865	1866—1870	1871—1875	1876—1880	1881—1885
Центр. Европа.	Давленіе.	+·08	·92	·02	—·29	—·19	—·35	·17	42	—02	10	—·33	·34
	Осадки.	—1	—10	—1	4	1	4	—4	—10	0	0	10	6
С. Англит.	Давленіе.				—·08	—·18	·54	·51	—·78	—·12	—·13	·32	—·73
	Осадки.				1	2	0	0	3	5	2	—6	—10
З. Сп. брѣ.	Давленіе.				—·23	00	—·90	—·04	—·46	—·49	—·08	·09	·24
	Осадки.				24	31	1	—13	—34	—24	14	54	74
В. Сп. брѣ.	Давленіе.					·45	—·06	—·04	—·10	—·45	·29	·36	·21
	Осадки.				26	15	0	—20	—10	—5	·9	23	28

Мы видимъ здѣсь, что для сѣвера Атлантическаго океана существуетъ отношеніе обратное центральной Европѣ. Ниже слѣдующіе столбцы показываютъ измѣненія давленія зимой и лѣтомъ, въ сухой и влажный періоды:

Относительное барометрическое давленіе.

Сѣверн. Атлант. океанъ.		Зап. и Цент. Европа.		Вост. Европа и Сѣв. Азія.	
Зима.	Лѣто.	Зима.	Лѣто.	Зима.	Лѣто.
Сухой періодъ. . .	Низкое. Высокое.	Высокое. Высокое.	Высокое. Высокое.	Высокое. Низкое.	Низкое. Высокое.
Влажный періодъ.	Высокое. Низкое.	Низкое. Низкое.	Низкое. Низкое.	Низкое. Высокое.	Высокое. Низкое.

Разборъ этихъ измѣненій приводитъ къ заключенію, что въ сухой періодъ, при сравненіи его съ влажнымъ періодомъ, замѣчаются слѣдующія отклоненія: 1) Углубленіе постоянного циклона, обнаруживаемаго годовыми средними величинами давленія на сѣверѣ Атлантическаго океана; 2) возрастаніе высокаго давленія, которое начинается у Азорскихъ острововъ и простирается въ глубь Россіи; 3) уменьшеніе давленія въ минимумѣ сѣверной части Индійскаго океана и Китайскаго моря; 4) ослабленіе годового максимума давленія въ Сибири; 5) общее возрастаніе амплитуды годовыхъ колебаній, причиняемыхъ зимой, въ сухой періодъ, высокимъ давленіемъ въ Европѣ и Сибири и лѣтомъ низкимъ давленіемъ въ сѣверной части Атлантическаго океана.

Каждый дождливый періодъ сопровождается уменьшеніемъ разностей воздушнаго давленія, а сухой періодъ увеличеніемъ ихъ, не только для годовыхъ среднихъ въ разныхъ мѣстностяхъ, но и для сезонныхъ среднихъ одной и той же мѣстности. Вообще величина и направленіе градіентовъ воздушнаго давленія являются факторами обуславливающими большее или меньшее выпаденіе дождя, и отъ вѣковыхъ колебаній этого давленія зависятъ общія вѣковыя измѣненія количества осадковъ. Необходимо, однако, сдѣлать подобное сравнительное изслѣдованіе и для другихъ частей земнаго шара, чтобы можно было существованіе такой зависимости считать вполне доказаннымъ.

КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ.

Между воздушнымъ давленіемъ и температурой существуетъ связь, еще болѣе тѣсная, чѣмъ между давленіемъ и выпаденіемъ осадковъ. Для колебаній температуры Брюкнеръ вычислилъ среднія пятилѣтнія (люстровыя) величины для многихъ пунктовъ, разбросанныхъ въ двадцати двухъ районахъ, а также воспользовался данными, которые собралъ Кёппенъ въ двадцати девяти районахъ. Наблюденія, о которыхъ идетъ рѣчь, не восходятъ далѣе начала настоящаго столѣтія, за исключеніемъ очень ограниченнаго числа мѣстностей, и въ большинствѣ случаевъ относятся къ сѣверному полушарію.

На основаніи этихъ изслѣдованій можно отмѣтить слѣдующіе теплые и холодные періоды:

По Кёппену.		По Брюкнеру.	
Тепло	1791—1805	Тепло	1791—1805
Холодъ	1806—1820	Холодъ	1806—1820
Тепло	1821—1835	Тепло	1821—1835
Холодъ	1836—1850	Холодъ	1836—1850
Тепло	1851—1870	Тепло	1851—1870
		Холодъ	1871—1885

Только 5% изъ матеріала, собраннаго Кёппеномъ, и 8% изъ данныхъ Брюкнера противорѣчатъ этимъ выводамъ, и около 15% приходится на сомнительные результаты, говорящіе въ пользу ни того, ни другого положенія. Нижеслѣдующая таблица даетъ численныя величины избытка (+) и недостатка (—) температуры относительно средней температуры, опредѣленной путемъ многолѣтнихъ наблюденій.

Пояса:	Года:					
	1821—1825	1826—1830	1831—1835	1836—1840	1841—1845	1846—1850
Тропическій	+ 34° С.	— 37°	— 03°	+ 20°	— 05°	— 09°
Субтропическій	+ 66	— 40	+ 10	+ 59	— 26	+ 03
Теплый умеренный	+ 49	— 56	+ 21	+ 37	— 35	+ 16
Холодный умеренный	+ 47	— 33	+ 20	+ 40	— 17	+ 14
Холодный или субарктическій	+ 81	— 20	+ 37	+ 69	— 23	19

Въ первой половинѣ таблицы даны дѣйствительныя отклоненія люстровыхъ среднихъ отъ общей средней температуры. Если сгладить ихъ ряды, принявъ во вниманіе люстровыя величины по обѣ стороны этихъ максимумовъ и минимумовъ, то получатся нѣсколько меньшія числа, данныя во второй половинѣ таблицы. Въ среднихъ для цѣлой земли (на основаніи различныхъ наблюденій) сроки и относительные размѣры максимумовъ и минимумовъ будутъ слѣдующіе:

1736—40	— 0.43° C.	1746—50	+ 0.45° C.
1766—70	— 0.42	1791—95	+ 0.46
1811—15	— 0.46	1821—25	+ 0.56
1836—40	— 0.39	1851—55	+ 0.11
1831—85	— 0.08	1866—70	+ 0.11

И такъ, мы видимъ, что величина измѣненія температуры въ продолженіе тридцатилѣтняго періода колебанія составляетъ около 1° C. Для центральной Европы эта пере-
мѣна температуры соотвѣтствуетъ перемѣщенію изотермъ на
разстояніе 3° широты, т.-е. около 300 верстъ; и это клима-
тическое измѣненіе не можетъ назваться незначительнымъ,
коль скоро, напримѣръ, температура самой теплой части пе-
ріода въ Ригѣ равняется температурѣ самой холодной части
періода въ Кенигсбергѣ.

Колебания продолжительности ледяного покрова.

Теперь прослѣдимъ колебанія климата, данныя Брюкне-
ромъ для сѣвера Европы и Азии, по времени, въ продолженіе
котораго рѣки свободны ото льда, по времени вскрытія
ихъ, по вѣковымъ колебаніямъ времени сбора винограда для
центральной Европы и по періодамъ замѣчательно холодныхъ
зимъ, о которыхъ мы имѣемъ записи. Слѣдующая таблица
показываетъ, на сколько дней отклонялось число дней, свобод-
ныхъ отъ льда съ 1816 по 1880 годъ, отъ средняго, причемъ
числа приведены только въ среднихъ пятилѣтнихъ выводахъ,
относящихся до тѣхъ лѣтствъ, которые соотвѣтствуютъ мак-
симумамъ и минимумамъ. Ходъ ихъ сглаженъ, знакъ + указы-
ваетъ на болѣе теплые, а знакъ — на болѣе холодные періоды:

	Дни.		Дни.
1736—40	— 9.6	1811—15	— 8.6
1766—70	+ 4.0	1821—25	+ 4.5
1781—85	— 3.6	1836—40	— 5.0
1791—95	+ 0.6	1876—80	+ 3.0

Эти данныя взяты изъ среднихъ выводовъ по наблюде-
ніямъ въ Европейской Россіи и Сибири, и за короткое время
наблюденій на Гудсоновой рѣкѣ.

Брюкнеръ даетъ поправки въ дняхъ, чтобы привести дан-

ныя о вскрытіи льда на рѣкахъ къ среднему за періодъ съ
1815 по 1880 г. для отдѣльныхъ районовъ, но, какъ ка-
жется, онъ былъ не въ состояніи соединить ихъ въ общее
среднее, которое умѣстно было бы воспроизвести здѣсь; чи-
татель найдетъ эти данныя въ оригинальномъ мемуарѣ. Въ
среднемъ разниа въ количествѣ дней свободныхъ отъ льда
между холоднымъ и теплымъ періодами равняется 16 днямъ
для Сибири, 18 днямъ для центральной Россіи, 25—32 для
Западной и Южной Россіи и 24 днямъ для Гудсоновой рѣки.
Времена ледохода измѣняются въ предѣлахъ равныхъ поло-
винѣ приведенныхъ чиселъ для тѣхъ же Европейско-Азиат-
скихъ районовъ. Капитальный трудъ М. А. Рыкачева о вскрытіи
и замерзаніи рѣкъ въ Россіи и Сибири служитъ главнымъ
основаніемъ для изслѣдованія состоянія льда.

Колебания времени сбора винограда.

Записи о времени наступленія сбора винограда во Франціи,
Южной Германіи и Швейцаріи ведутся уже нѣсколько сто-
лѣтій, и матеріаломъ этимъ пользовались для сужденія объ
уменьшеніи и увеличеніи потребнаго для созрѣванія времени,
которое до извѣстной степени можетъ характеризовать цѣлый
годъ. Въ этомъ случаѣ Брюкнеръ имѣлъ возможность вос-
пользоваться данными, восходящими до 1496 года. Здѣсь
замѣчаются регулярныя колебанія отъ раннихъ до позднихъ
сборовъ.

Числовыя данныя, приведенныя въ нижеслѣдующей таб-
лицѣ, взяты по сглаженнымъ кривымъ наступленія сбора
винограда:

Ранній сборъ.	Поздній сборъ.	Ранній сборъ.	Поздній сборъ.
1501—05	1511—15	1681—85	1696—1700
1521—25	1546—50	1725—30	1741—45
1556—60	1566—70	1756—60	1766—70
1586—90	1591—95	1781—85	1816—20
1601—05	1626—30	1826—30	1851—55
1636—40	1646—50	1866—70	1886—88
1656—60	1671—75		

Въ отдѣльные года перемѣщеніе времени наступленія сбора винограда отличается на много дней, для пятилѣтняго періода оно достигаетъ трехъ недѣль; въ сглаженномъ ходѣ пятилѣтнихъ среднихъ наибольшія отклоненія въ ту и другую сторону отъ средняго составляютъ недѣлю. Сравненіе этихъ періодовъ съ подобными же періодами выпаденія дождей и измѣненія температуры доказываетъ, что вообще раннее наступленіе сбора совпадаетъ съ періодомъ высокой температуры и малаго количества дождей, и наоборотъ: поздній сборъ, низкая температура и обильные дожди сопровождаютъ другъ друга.

При помощи записей времени сбора винограда возможно, начиная приблизительно съ 1400, возстановить для центральной Европы періоды крайняго холода и влажности, а также годы чрезвычайной жары и засухи.

Періоды суровыхъ зимъ.

Записи періодовъ суровыхъ зимъ начаты еще давнѣе: Брюкнеръ ведетъ свой списокъ (пользуясь матеріаломъ Пильграма) съ 800-го года, хотя впрочемъ считаетъ записи, введенныя ранѣе 1000 года, малоцѣнными. Онъ нашелъ, что для промежутка съ 1020 до 1190 года періодъ колебанія равенъ тридцати четыремъ годамъ; отъ 1100 до 1370 г. — періодъ тридцатипятилѣтній; отъ 1370 до 1545 г. — тридцатипятилѣтній; отъ 1545 до 1715 г. — тридцатичетырехлѣтній, а отъ 1715 до 1890 г. — тридцатипятилѣтній періодъ.

Измѣненія, претерпѣваемыя ледниками, также послужили предметомъ изслѣдованія, и для нихъ установлена тѣсная связь съ періодами ненормальнаго тепла и холода.

И такъ, судя по всѣмъ даннымъ, средній промежутокъ въ 35 лѣтъ раздѣляетъ періоды сухости и избытка тепла отъ періодовъ сырости и недостатка тепла; это ясно вытекаетъ изъ различныхъ данныхъ, приведенныхъ Брюкнеромъ.

§ 2. Метеорологія въ приложеніи къ сельскому хозяйству.

Предварительныя замѣчанія по сельскохозяйственной метеорологіи.

Въ этомъ отдѣлѣ метеорологіи существуютъ два направленія изслѣдованій: старое и новое. Результаты, достигнутые при старомъ способѣ изслѣдованія, собраны для Англіи въ премированномъ изслѣдованіи Nicholas Whitley, озаглавленномъ такъ: „О климатѣ Британскихъ острововъ и его вліяніи на земледѣліе“, и напечатанномъ въ журналѣ Королевскаго Агрономическаго Общества въ Англіи, въ 1850 году. Въ Америкѣ старая школа представлена въ нѣсколькихъ главахъ большого сочиненія Lorin-Blodgett'a, „Климатологія Соединенныхъ Штатовъ“ (1857), въ которыхъ трактуется объ отношеніи растительности къ климату, и въ недавнемъ цѣнномъ трудѣ лейтенанта Dunwoody, № 10 Professional Paper Сигнальн. Бюро Соединен. Штатовъ, носящемъ названіе: „Таблицы отношеній осадковъ и температуры къ урожаю за 1875—80 г.“ (Издано въ 1882 г.).

Общій методъ, употребляемый въ этихъ сочиненіяхъ, состоитъ въ сравненіи среднихъ выводовъ о климатѣ на обширныхъ территоріяхъ, полученныхъ за значительный промежутокъ времени, съ результатомъ урожая на тѣхъ же территоріяхъ за тотъ же періодъ времени.

Новое направленіе состоитъ въ сравненіи постепеннаго роста растений съ ходомъ метеорологическихъ явленій въ то же самое время на возможно широко раскинутой и густой сѣти опытныхъ полей, и затѣмъ, въ обобщеніи частныхъ результатовъ. Въмѣсто того, чтобы, какъ при первомъ методѣ, считать температуру, дождевые осадки и до извѣстной степени влажность единственными факторами, отъ которыхъ зависитъ ростъ экономическихъ растений, новый методъ признаетъ большое значеніе за энергіею солнечныхъ лучей, обмѣномъ влаги и транспираціею, какъ это доказано позднѣйшими изслѣдованіями въ области физиологіи растений.

Соединеніе обоихъ методовъ поведетъ къ гораздо большей точности при разсмотрѣніи условій созрѣванія растений, чѣмъ

какой возможно достигнуть, руководствуясь только первым методом, а потому съ новѣйшими ученіями необходимо спеціально познакомить практиковъ-агрономовъ.

Въ новѣйшихъ школахъ агрономіи прикладная метеорологія, пользуясь новѣйшимъ методомъ, введена подъ общимъ названіемъ агрономической физики, и главнѣйшіе результаты, сдѣланные въ этомъ направленіи, какіе по крайней мѣрѣ мнѣ извѣстны, помѣщены въ послѣдовательныхъ томахъ Wolny „Forschungen auf dem Gebiete der Agricultur Physik“ и Dehérain's „Annales Agronomiques“. Въ статьяхъ, помѣщенныхъ въ этихъ и другихъ журналахъ, сообщается больше свѣдѣній, чѣмъ необходимо для практики сельскаго хозяйства, но во многихъ случаяхъ результаты еще не вышли изъ стадіи лабораторныхъ работъ и требуютъ еще изученія со стороны практиковъ-метеорологовъ и агрономовъ, прежде чѣмъ приобрести экономическое значеніе.

Въ настоящемъ краткомъ очеркѣ могутъ быть перечислены только немногіе результаты, къ тому же я долженъ упомянуть, что къ сожалѣнію, при составленіи этой главы я не имѣлъ возможности пользоваться большимъ трудомъ, изданнымъ Lawes'омъ и Gilbert'омъ въ Англіи.

Производя метеорологическія наблюденія, метеорологи обыкновенно имѣютъ ясное понятіе о томъ, какая цѣль имѣется въ виду, и согласно съ этимъ могутъ установить способъ наблюденія, дабы привести свой трудъ къ желанному результату. Въ приложеніи метеорологіи къ агрономіи и вообще къ ученію о жизни растений специалисты по этимъ наукамъ, кажется, въ большинствѣ случаевъ ожидаютъ отъ метеорологовъ, чтобы они сами рѣшили, какого рода наблюденія должны быть предприняты съ цѣлью доказать связь, существующую между метеорологическими явленіями и жизнью растений. Этимъ, болѣе чѣмъ какой-нибудь иной причиной, объясняется запоздалое появленіе крайне важной отрасли прикладной метеорологіи.

Рѣдко случается, чтобы метеорологъ былъ въ то же время специалистомъ по ботаникѣ, микологіи, орнитологіи, помологіи, энтомологіи, древовѣдѣнію, біологіи и физиологіи растений, а всѣ эти отрасли агрономіи (въ широкомъ смыслѣ слова) имѣютъ

непосредственное отношеніе къ метеорологіи и нуждаются въ метеорологическихъ данныхъ.

Очевидно, что такъ какъ метеорологъ не можетъ знать всѣхъ нуждъ этихъ многообразныхъ спеціальныхъ наукъ, то необходимо, чтобы каждая изъ нихъ предъявляла свои вопросы, разрѣшенія которыхъ она ожидаетъ отъ метеоролога, причемъ послѣдній, ознакомившись съ ними, пользуясь успѣшно аппаратами и методами своей спеціальности, сможетъ дать толковый и точный отвѣтъ на запросъ каждой отрасли агрономіи. До сихъ поръ же метеорологъ ждетъ запросовъ отъ агронома, а послѣдній, повидимому, ожидаетъ, что метеорологъ самъ придетъ къ нему. Проектъ взаимопомощи между обоими состоитъ въ томъ, чтобы агрономы формулировали свои нужды, а метеорологи разбирали ихъ и доставляли желанныя данныя.

Послѣ того, какъ наблюденія сдѣланы, слѣдующій шагъ состоитъ въ томъ, чтобы сдѣлать сводку и группировку ихъ, и здѣсь опять метеорологъ нуждается въ указаніяхъ специалиста-агронома, потому что только тотъ можетъ опредѣлить точно отдѣльныя стадіи развитія растений. Для того, чтобы сравнительными наблюденіями могло воспользоваться большинство, необходимо вести ихъ такъ, чтобы они удовлетворяли текущимъ потребностямъ, и если каждый шагъ въ ростѣ растений сопоставляется во время наблюденія съ дѣйствіемъ факторовъ, управляющихъ этимъ ростомъ (по методу физиологіи растений), то получаютъ гораздо болѣе точныя свѣдѣнія, чѣмъ если обработка результатовъ производится не раньше накопленія данныхъ за цѣлый сезонъ или годъ. Разсмотримъ теперь нѣкоторые отдѣльные случаи, которые доказываютъ значеніе метеорологіи для земледѣлія.

Фенологическія наблюденія.

Фенологія животныхъ. Земледѣльцы часто замѣчали, что время появленія нѣкоторыхъ породъ животныхъ опредѣляетъ характеръ предстоящаго вегетаціоннаго сезона, и что время ихъ исчезновенія въ свою очередь указываетъ на предстоящую мягкую или суровую зиму. Подобныя наблюденія способство-

вали возникновению среди земледельческой части населения большого числа примѣтъ, касающихся обихода птицъ, животныхъ и насѣкомыхъ. Вѣроятно, только немногія изъ нихъ основаны на дѣйствительно наблюденныхъ фактахъ, большинство же представляетъ просто продуктъ непровѣренныхъ обобщеній народа, который привыкли считать знатокомъ въ этомъ вопросѣ. Вотъ примѣры такихъ примѣтъ: „Журавли летятъ, — морозъ кончается“, „журавли рано улетѣли, — ожидай холодной зимы“, „густыя перья на гусяхъ — зима суровая“, „куница появилась, — зима кончилась“, „рано куликъ прилетѣлъ, — зима тяжелая“, и т. д. Очень обширное собраніе этихъ поговорокъ издано Маріоттомъ и Сигнальнымъ Бюро Сѣверо-Американскихъ Штатовъ подъ названіемъ „Примѣты о погодѣ“. Дѣлая наблюденія надъ временемъ прилета и отлета птицъ и насѣкомыхъ, мы можемъ сравнивать ихъ съ метеорологическими записями и, продолжая дѣлать это въ теченіе многихъ лѣтъ, можно прійти къ выводу о дѣйствительномъ существованіи соотношенія между періодическими измѣненіями климата и фенологіей животныхъ, и такимъ образомъ убѣдиться, что многія пословицы, касающіяся погоды, должны быть оставлены безъ вниманія, какъ неимѣющія никакого реального значенія. Наблюденія такого рода дѣлаются во множествѣ въ Старомъ Свѣтѣ, въ Новомъ же Свѣтѣ и въ некультурныхъ странахъ они составляютъ лишь задачу будущаго.

Фенологія растений. Практическая польза отъ изученія фенологіи растений въ связи съ метеорологіей болѣе очевидна для всякаго, чѣмъ значеніе аналогичныхъ наблюденій надъ жизнью животныхъ. Вся жизнь растений проходитъ подъ непосредственнымъ вліяніемъ метеорологическихъ условій; отъ атмосферныхъ условій, очевидно, зависитъ время болѣе или менѣе удачнаго посѣва, а также болѣе ранняго или поздняго цвѣтенія, созрѣванія плода и пр. Теперь только путемъ сопоставленія этихъ всѣхъ явленій съ наблюдаемыми метеорологическими условіями нашли возможность устанавливать законы, которые, конечно, нѣсколько различны для разныхъ видовъ растений. Тщательное изученіе параллельныхъ наблюденій несомнѣнно дастъ возможность вычислить въ процентахъ нормальные урожаи изъ общаго числа урожаевъ, тогда

какъ еще и теперь такіа вычисленія производятся приближительнымъ путемъ. Сверхъ того очень вѣроятно, что многолѣтніе ряды сравненій сроковъ различныхъ фазъ роста хлѣба съ метеорологическими явленіями, позволятъ мѣстнымъ агрономическимъ станціямъ давать знать мѣстнымъ земледѣльцамъ, какое время лучшее для посѣва въ различныхъ мѣстностяхъ и на разной почвѣ. Въ настоящее время такіе вопросы подлежатъ всецѣло вѣдѣнію земледѣльцевъ, основывающихся на воспоминаніяхъ прежнихъ лѣтъ, но несомнѣнно, что записанные результаты сравнительныхъ наблюденій заслуживаютъ болѣе довѣрія, чѣмъ отрывочныя воспоминанія.

Весьма важно для насъ имѣть свѣдѣнія о вліяніи различнаго наклона почвы въ одной и той же мѣстности особенно въ гористыхъ областяхъ, а также въ различныхъ частяхъ страны на фенологію однихъ и тѣхъ же растений. Абсолютно необходимо, чтобы данныя записывались много лѣтъ подъ рядъ, для опредѣленія возможнаго максимума площади, пригодной для культуры цѣнныхъ растительныхъ продуктовъ. Въ „Reitermann's Geographische Mittheilungen“ за январь 1881 г. проф. Гофманъ приложилъ сравнительную фенологическую карту апрѣльскаго цвѣтенія растений для центральной Европы, причемъ время пригнано ко времени цвѣтенія въ Гиссенѣ (широта $50\frac{1}{2}^{\circ}$ С, долгота $6\frac{1}{2}^{\circ}$ В). Раіоны же, въ которыхъ растения цвѣтутъ раньше или позже, чѣмъ въ Гиссенѣ обозначены на картѣ различными красками, причемъ краски мѣняются для послѣдовательныхъ пяти-дневныхъ промежутковъ. Отъ широты Адриатики до широты южнаго берега Балтійскаго моря время цвѣтенія въ долинахъ колеблется между двадцатью днями раньше и двадцатью днями позже, чѣмъ въ Гиссенѣ; но между этими пунктами рельефъ страны иногда является причиной запозданія на пятьдесятъ дней и ускоренія на сорокъ сравнительно съ Гиссеномъ. Такія карты съ пояснительными таблицами, какую составилъ Гофманъ для Европы, было бы желательно имѣть и для другихъ странъ, и сравненіе ихъ данныхъ съ соотвѣтствующими метеорологическими данными принесло бы величайшую пользу земледѣльцу, научая его, какой хлѣбъ въ данной мѣстности можетъ удался лучше.

Въ новой прекрасной небольшой книжкѣ Эгона Ине (Egon Ihne) по исторіи фенологическихъ наблюдений мы находимъ лучшее руководство по фенологіи для Европы. Авторъ даетъ не только полную и подробную исторію развитія этой важной отрасли естественныхъ наукъ въ Швеціи и послѣдующаго распространения ея въ другихъ странахъ, но и очень цѣнный перечень справочныхъ книгъ по фенологіи съ разборомъ болѣе важныхъ работъ, сверхъ того полный списокъ всѣхъ европейскихъ станцій, на которыхъ производятся растительно-фенологическія наблюдения.

Сравнительная фенологія животныхъ и растений. Сравненіе фактовъ фенологіи животныхъ, какъ, на примѣръ, появленіе перелетныхъ птицъ, съ фактами фенологіи растений, на примѣръ, сроки разныхъ фазъ роста, представляетъ высокій интересъ для изучающихъ фенологическія явленія. Такого рода сравнительныя наблюденія, произведенныя фонъ-Рейхенау для областей средняго Рейна, показываютъ, чего можно ожидать отъ болѣе обширной постановки вопроса.

Весну можно раздѣлить на пять періодовъ:

- 1) Ранняя весна, когда цвѣтутъ слѣдующія растения: подснежникъ (*leucoium*), *hepatica*, *daphne*, *pulsatilla* и другія.
- 2) Періодъ цвѣтенія плодовъ съ косточками: абрикосовъ, персиковъ, вишенъ, сливъ и др.
- 3) Время цвѣтенія плодовъ съ сѣменами, какъ-то—грушъ и яблокъ.
- 4) Полная весна, отмѣчаемая цвѣтеніемъ *Sambucus nigra* (бузины), *Robinia pseudoacacia*.
- 5) Конецъ весны, знаменуемый цвѣтеніемъ розъ, липъ и винограда.

Наблюденія за 1878—88 года показали крайніе предѣлы перемѣщенія этихъ періодовъ.

1-й періодъ, судя по цвѣтенію вяза.	39 дней
2-й " " " " абрикоса	39 "
3-й " " " " груши	34 дня
4-й " " " " акаціи	24 "
5-й " " " " винограда.	19 дней.

Для семи породъ птицъ крайніе предѣлы прилета были: для трясогузки или сѣмянки—27 дней, для чернаго дрозда—24 дня,

для домовой ласточки—11 дней, для морскихъ птицъ—16 дней, для соловья—17 дней, для горлицы—16 дней и для *oriole*—10 дней.

Если крайніе предѣлы для прилета птицъ гораздо меньше, чѣмъ для цвѣтенія растений, то это объясняется, повидимому тѣмъ, что птицы, руководствуются болѣе астрономической весной, а растения слѣдуютъ въ своемъ развитіи за дѣйствительнымъ состояніемъ погоды.

ТЕМПЕРАТУРА.

Хотя дѣйствіе тепла весьма важно для всякой органической жизни, однако растения и животныя съ холодной кровью болѣе подвергаются его непосредственному вліянію, чѣмъ животныя съ теплой кровью, на которыхъ оно оказываетъ лишь косвенное вліяніе.

Мы рассмотримъ теперь значеніе тепла для растений. Саксъ (Sachs) первый доказалъ, что проростаніе, а также, вѣроятно, и другія фазы развитія растений совершаются всего быстрѣе при нѣкоторой опредѣленной температурѣ, и что ростъ замедляется пропорціонально излишку или недостатку имѣющагося тепла сравнительно съ нормальнымъ, причемъ растение можетъ остановиться въ ростѣ или даже совсѣмъ погибнуть, если случится значительный излишекъ или недочетъ въ теплѣ сравнительно съ нормальнымъ тепломъ.

Французскій ботаникъ Адамонъ давно уже доказалъ, что развитіе почекъ обусловливается суммою среднихъ суточныхъ температуръ за всѣ дни, считая съ начала года. Буссенго (Boussingault) не принимая въ расчетъ времени, когда ростъ не подвигается, считаетъ сумму тепла только за періодъ вегетаціонный и вычисляетъ, что длина такого растительнаго періода произрастанія стоитъ въ обратномъ отношеніи къ средней температурѣ. Линсеръ (Linsser) нашелъ между тѣмъ, что температуры выше нуля, необходимыя для опредѣленнаго развитія двухъ подобныхъ растений въ двухъ разныхъ мѣстахъ прямо пропорціональны суммамъ всѣхъ температуръ выше нуля, наблюдающихся въ этихъ мѣстахъ. Саксъ,

величайшій знатокъ фізіологіи растений, изучивъ вопросъ путемъ непосредственныхъ опытовъ надъ растеніями, напелъ, что для каждой стадіи растительной жизни существуетъ свой *minimum*, свой *optimum* и свой *maximum* температуры.

Многіе изъ европейскихъ метеорологовъ дѣлали попытки вывести количественную формулу вліянія тепла (или температуры) на скорость развитія растенія. Sonee утверждаетъ, что „фаза развитія“ пропорціональна квадрату или квадратному корню изъ существующей температуры высшей точки замерзанія; другіе же полагаютъ, что произведение, полученное отъ умноженія времени, протекшаго отъ избраннаго срока, на излишекъ температуры выше извѣстнаго предполагаемаго минимума, лучше опредѣляетъ фазы роста. Еще одинъ и, быть можетъ, болѣе удовлетворительный методъ состоитъ въ томъ, чтобы принимать во вниманіе продолжительность времени, въ теченіе котораго температура выше опредѣленнаго минимума или въ теченіе котораго она колеблется между извѣстными предѣлами; ростъ отдѣльныхъ растений прекращается тогда, когда промежутокъ времени меньше необходимаго для полнаго развитія растений.

Но какой бы методъ мы ни приняли для вычисленія, очевидно, что тепло, необходимое для максимальнаго развитія (*optimum* Сакса), а также избытокъ и недостатокъ тепла, которые еще допускаютъ развитіе растенія, могутъ быть опредѣлены путемъ опыта; хотя растенія обладаютъ огромною способностью приспособляться настолько, что, размножаясь и посѣвомъ, и пересадкой, могутъ распространяться на очень большой области, однако долженъ существовать законъ соотношенія между тепломъ и ростомъ; отсюда ясно, что никакой хлѣбъ не можетъ вызрѣть въ мѣстностяхъ, получающихъ необходимаго для созрѣванія минимума тепла. Такъ въ гористыхъ мѣстностяхъ тепла, получаемого одной долиной, совершенно достаточно для созрѣванія извѣстнаго растенія, тогда какъ въ сосѣдней долинѣ, расположенной на большей высотѣ, имѣется столько тепла, что можно культивировать лишь болѣе сѣверныя растенія.

МИНИМУМЪ ТЕМПЕРАТУРЫ.

Продолжительностью теплаго времени года и количествомъ получаемого тепла не исчерпываются термическіе элементы, обуславливающіе ростъ растений. Надо взять во вниманіе также минимумъ температуры, который могутъ переносить растенія, не замедляясь и не останавливаясь въ ростѣ. Это особенно важно знать въ тѣхъ странахъ, гдѣ господствуютъ рѣзкія перемены температуры въ періодъ произрастанія растений.

De Blanchis занимался изслѣдованіемъ дѣйствія низкихъ температуръ на разные виды растительнаго царства. Онъ же, какъ и другіе, указываетъ, что температура прозябанія отлична отъ температуры воздуха, и предлагаетъ опредѣлять её посредствомъ вегетаціоннаго термографа, который состоитъ изъ ртутнаго минимума-термометра съ шарикомъ, покрытымъ зеленой кисеей, свѣшивающейся въ сосудъ съ чистой водой. Нормальная установка опредѣляется высотой въ полтора метра надъ поверхностью земли. Этотъ термометръ показываетъ на нѣсколько градусовъ меньше, чѣмъ обыкновенный минимумъ-термометръ съ сухимъ шарикомъ. Методъ этотъ весьма важенъ, такъ какъ даетъ возможность опредѣлить минимумъ температуры, который растеніе безъ особаго для себя вреда можетъ переносить. De Blanchis напелъ также, что способность противустоять холоду возрастаетъ съ возрастомъ растенія, и чѣмъ больше оно содержитъ воды, тѣмъ хуже переноситъ холодъ.

Такія задачи, какъ вышеуказанныя, требуютъ совмѣстной работы ботаника и метеоролога, чтобы можно было точно объяснить причины и слѣдствія.

ТЕПЛОВЫЯ ПОСТОЯННЫЯ РАСТЕНІЙ.

Никто не посвятилъ столько труда опредѣленію тепловыхъ постоянныхъ для растений, какъ профессоръ Гофманъ въ Гиссенѣ, въ Германіи. Онъ издавалъ почти каждый годъ обширныя сравнительныя изслѣдованія, и его результаты согласуются между собой настолько, насколько это вообще возможно. Возьмемъ для примѣра его сравнительныя наблюденія въ Гиссенѣ и Упсалѣ надъ сиренью (*Syringa vulgaris*).

Мѣсто.	Первое цвѣтеніе.	Сумма инсоляцій.
Упсала	Іюня 17	1433°
Гиссенъ	Апрѣля 29	1482°

Эту „сумму инсоляцій“ Гофманъ находитъ посредствомъ сложенія ежедневныхъ отчетовъ по максимумъ-термометру, выставленному прямо на солнце. Полученные результаты своимъ согласованіемъ въ столь различныхъ мѣстностяхъ свидѣлствуютъ объ успѣшности этихъ опредѣленій. Въ данномъ случаѣ сумма температуръ въ Упсалѣ составляетъ 97% такой же суммы въ Гиссенѣ. Сравненіе двѣнадцати различныхъ растений дало отношеніе для Упсалы 88%. Сумма температуръ для начала созрѣванія плодовъ ста семнадцати сортовъ дала такіа отношенія: 82% въ интервалѣ между началомъ цвѣтенія и началомъ созрѣванія плода; отношеніе суммъ температуръ было 93%. Профессоръ Гофманъ дѣлаетъ интересное сопоставленіе своихъ результатовъ съ выводами, полученными по методу, которому слѣдуетъ профессоръ Фричъ (Fritsch). Послѣдній складываетъ всѣ положительныя среднія величины температуры въ тѣни за каждый день и надъ суммою ихъ производитъ тѣ же выкладки, какъ Гофманъ надъ суммою инсоляцій. Въ слѣдующей таблицѣ даются относительныя количества суммъ температуры, необходимыя для начала цвѣтенія въ Упсалѣ, сравнительно съ суммою температуръ въ Гиссенѣ, причемъ послѣдняя принимается за 100.

Растенія.	Относительная средняя сумма темпер. въ тѣни.	Относительная сумма инсоляцій.
<i>Betula alba</i>	63	96
<i>Crataegus oxyacantha</i>	91	100
<i>Lonicera alpigena</i>	59	89
<i>Lonicera tartarica</i>	81	94
<i>Prunus avium</i>	71	103
<i>Prunus padus</i>	76	102
<i>Ribes aureum</i>	69	102
<i>Rosa alpina</i>	106	104
<i>Syringa vulgaris</i>	94	102

Гофманъ утверждаетъ, что такъ какъ его выводы, данные въ послѣднемъ столбцѣ, оказываются болѣе согласными другъ съ другомъ, то его методъ единственно пригоденъ къ употребленію.

Для опредѣленія инсоляціи Гофманъ пользовался не

только обыкновеннымъ свѣтлымъ термометромъ, но и термометромъ съ закопченнымъ шарикомъ (въ пустотѣ). Двухъ-лѣтнее сравненіе того и другого показало, что черный шарикъ такъ чувствителенъ, что указываетъ даже тѣ измѣненія температуры, которыя не успѣваютъ повліять на растенія, вслѣдствіе краткости своего воздѣйствія. Поэтому Гофманъ даетъ предпочтеніе обыкновенному блестящему термометру; но эти сравнительныя наблюденія отнюдь не должны служить поводомъ къ оставленію закопченного шарика, такъ какъ недавнія изслѣдованія указали новые способы для пользованія термометромъ съ закопченнымъ шарикомъ, которые не были извѣстны Гофману. Этотъ приборъ несомнѣнно будетъ имѣть большое значеніе въ дальнѣйшемъ развитіи нашихъ знаній о вліяніи солнечнаго тепла на жизнь растеній.

Мы должны сдѣлать замѣчанія еще относительно перенесенія растеній съ одного мѣста, имѣющаго въ среднемъ низкую температуру, на другое, гдѣ температура выше, или наоборотъ. Линсеръ и позже, болѣе полно, Гофманъ доказали, что если сѣмена растеній, произрастающихъ на сѣверѣ, перенести на югъ, то они вызрѣютъ тамъ скорѣе, чѣмъ мѣстныя растенія, и наоборотъ, если южное растеніе пересадить на сѣверъ, то ростъ его окажется запоздалымъ сравнительно съ мѣстными; то же самое оказывается и при обмѣнѣ сѣмянъ растеній, растущихъ на горахъ и въ прилежащихъ долинахъ; это доказываетъ, что разниа температуры есть главная причина наблюдаемыхъ различій растительности. Нѣкоторые виды требуютъ разной суммы общаго тепла на различныхъ широтахъ, а тогда и разныя фазы роста растеній требуютъ пропорціональнаго количества тепла. Предположимъ, что извѣстное растеніе требуетъ для созрѣванія всего 4000° тепла въ Венеціи, въ Петербургѣ же только 2000°. Въ такомъ случаѣ для цвѣтенія потребуется, быть можетъ, только 1000° въ первой мѣстности и 500° во второй; но нельзя думать, чтобы растеніе могло достигъ полнаго развитія при обѣихъ столь различныхъ температурахъ, и должна существовать температура, благоприятствующая максимуму роста и плодovitости, которые являются слѣдствіемъ отношенія получаемого тепла ко времени, въ какое оно получается.

Средняя температура и ростъ растений.

Найдено, что средняя температура дня въ тѣни должна считаться вверхъ отъ 4° С. для сахарной свекловицы и отъ 8° С. для картофеля при наблюденіи вліянія тепла на проростаніе сѣмянъ, то-есть, что температуры ниже этихъ предѣловъ не имѣютъ никакого значенія. Чѣмъ выше температура, тѣмъ скорѣе идетъ проростаніе; такъ, напримѣръ, Губерландъ нашелъ, что при температурѣ 9·4° С. полагается 22 дня для проростанія свекловичныхъ сѣмянъ, тогда какъ при 15·8° С. необходимо для того же только 3¾ дня.

Въ Австро-Венгріи произведены были опыты для выясненія отношеній между наблюдаемой температурой, ростомъ растенія и качествомъ урожая. Крайне важные результаты этихъ опытовъ приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Время Посѣва.	Средній вѣсъ въ граммахъ.		Число дней отъ посадки до 20 Октяб.	Сумма тем- пературъ °С.	Средняя тем- пература.	Дождливые дни.	Общее коли- чество дождя.
	Свекло- вица.	Карто- фель.					
Мартъ 1 . . .	298	196	234	3271°	14°·0	108	м.м.
16 . . .	231	222	219	3209	14°·7	108	506
Апрѣль 1 . . .	207	272	203	3151	15°·5	102	496
16 . . .	304	257	138	3020	16°·0	94	453
Май 1 . . .	306	302	173	2381	16°·6	87	417
16 . . .	266	228	158	2726	17°·3	80	373
Іюнь 1 . . .	211	217	142	2469	17°·3	68	294
16 . . .	82	173	127	2197	17°·3	55	169
Іюль 1 . . .	75	158	112	1890	16°·8	48	154
16 . . .	52	86	97	1627	16°·7	37	122
Августъ 1 . . .	14	47	81	1331	16°·4	31	99
16 . . .	13	22	66	1026	15°·5	35	76

Благодаря этимъ и нѣкоторымъ другимъ опытамъ, Бриемъ (Briem) установилъ слѣдующія положенія: 1) слишкомъ ранній посѣвъ свекловицы и картофеля не рекомендуется, потому что

появленіе всходовъ, цвѣтеніе и созрѣваніе такого ранняго посѣва наблюдается не раньше, чѣмъ при посѣвѣ, произведенномъ въ то время, когда температура почвы превзошла минимумъ температуры, необходимой для прозябанія разсматриваемаго растенія, 2) можно сѣять съ надеждой на хорошій урожай только послѣ того, когда почва пріобрѣла необходимую температуру; 3) слишкомъ поздній посѣвъ уменьшаетъ урожай.

Изъ этихъ положеній видно, какъ необходимо для каждаго земледѣльца узнать точно, когда почва достаточно тепла, а чтобы узнать это, нужны наблюденія надъ температурой почвы.

Дожди.

Дожди, въ отношеніи количества ихъ и повторяемости, также являются важными климатическими факторами, вліяющими на растительность. Для большинства цивилизованныхъ странъ собираются и издаются данныя, касающіяся мѣсячнаго и годичнаго количества осадковъ; эти данныя могутъ быть легко сопоставлены съ различными состояніями урожая за соотвѣтственное время, какъ-то и было сдѣлано многими изслѣдователями; но этого мало, — необходимо знаніе не только количества выпадающихъ дождей, но и повторяемости ихъ и средней силы отдѣльныхъ дождей. Допустимъ, что въ продолженіе мѣсяца въ двухъ различныхъ мѣстностяхъ выпало 60 миллиметровъ дождя, очевидно, что мѣстность, въ которой количество это распредѣляется поровну чрезъ извѣстные промежутки въ теченіе мѣсяца, получить оттого больше пользы, чѣмъ та мѣстность, гдѣ весь дождь обрушится сразу въ два дня. Существуютъ также другіе пункты, которые намъ слѣдовало бы знать, относительно, напримѣръ, выбора удобнаго мѣста для посѣва или предсказаній вѣроятныхъ результатовъ урожая на основаніи изслѣдованія растеній, проходящихъ чрезъ разныя фазы роста. Между прочимъ должна быть отмѣчена и абсолютная вѣроятность дождя, вѣроятная продолжительность дождя въ теченіе дождливыхъ дней, среднее количество осадковъ въ продолженіе дождливыхъ дней и среднее количество осадковъ въ теченіе часа. Всѣ эти свѣдѣнія необходимы для того, чтобы можно было опредѣлить значеніе

дождя для продуктивности растений и сдѣлать выводы о состояніи почвы въ отношеніи количества находящейся въ ней влаги. Для Сѣверныхъ Штатовъ мѣсячное и годовое количество осадковъ вычислено, но очень мало сдѣлано въ смыслѣ разъясненія вопроса о повторяемости дождей. Для нѣкоторыхъ раіоновъ Европы это опредѣлено; но даже тамъ, гдѣ произведены наиболѣе полныя изслѣдованія, остается еще многое сдѣлать въ этомъ направленіи.

Количество и повторяемость осадковъ весьма измѣнчивы въ умѣренномъ поясѣ, и мы никогда не придемъ къ такимъ же точнымъ выводамъ относительно ихъ, къ какимъ пришли относительно температуры. Кромѣ того, если даже количество осадковъ извѣстно, то никогда нельзя съ точностью сказать, былъ ли дождь полезенъ (за исключеніемъ областей скудныхъ дождей), если не принять въ расчетъ состояніе почвы. Въ тѣхъ мѣстностяхъ, гдѣ лѣто умѣренно-влажное или сухое, какъ, на примѣръ, въ нѣкоторыхъ частяхъ Калифорніи, и вообще въ странахъ, гдѣ дождя выпадаетъ меньше, чѣмъ необходимо для хорошаго урожая и гдѣ является потребность въ ирригаціи, увеличеніе количества влаги почти всегда способствуетъ улучшенію урожая. Въ Швеціи время созрѣванія плодовъ совпадаетъ съ временемъ обильнѣйшихъ осадковъ. Возможно, что въ странахъ, гдѣ осадки не такъ малы, чтобы задержать ростъ растений, и не такъ велики, чтобы повредить ему, время созрѣванія зависитъ отъ количества дождя въ каждой отдѣльной мѣстности.

Послѣ осадковъ первенствующее значеніе имѣютъ для растений качество и состояніе почвы, а потому о нихъ мы поговоримъ подробнѣе въ особой главѣ.

Испареніе.

Такъ же важно изслѣдовать испареніе выпавшей влаги, но, къ сожалѣнію, лишь въ очень немногихъ мѣстахъ оно было предметомъ наблюденія.

Чтобы хотя отчасти показать отношеніе, существующее между дождемъ и испареніемъ съ земли, и изъ сосуда съ водою, приведемъ результаты опытовъ, произведенныхъ въ Парижѣ въ 1877 г.

За періодъ.		Осадки.	Испареніе:	
			съ земли.	изъ сосуда.
14 Августа	— 14 Сентября.	. . . 61.9	41.66	81.71
15 Сентября	— 15 Октября . . .	10.1	31.52	80.18
Итого . . .		72.0	73.18	161.89

Потеря черезъ испареніе изъ сосуда въ оба мѣсяца была одинаковая, но не такъ было на землѣ: непосредственно вслѣдъ за каждымъ дождемъ испареніе съ земной поверхности происходитъ очень быстро и въ нѣкоторыхъ случаяхъ превосходитъ испареніе, совершающееся со свободной поверхности воды, но затѣмъ скоро уменьшается, когда верхніе слои становятся сухими. Въ итогѣ съ почвы испарилось почти столько же влаги, сколько ею воспринималось, и въ концѣ двухъ мѣсяцевъ земля пришла въ то же состояніе, въ какомъ была въ началѣ. Время максимума испаренія съ затѣненной поверхности почвы приходится между 9 часами утра и полднемъ, съ растений въ полдень или нѣсколько позже, по эвапориметру Пича (Piche)—между полуднемъ и 3 часами, для свободной водной поверхности — около трехъ часовъ пополудни.

Съ этихъ различныхъ поверхностей, обладающихъ разными свойствами, испареніе совершается разными путями, такъ на примѣръ: въ почвѣ, благодаря капиллярности, вода пересачивается изъ одного слоя въ другой, влияніе свѣта чувствуется въ первыхъ двухъ случаяхъ, а влияніе температуры сказывается во всѣхъ случаяхъ.

Однако едва ли можно сдѣлать очень точное вычисленіе количества воды, потребляемой растеніями, такъ какъ процессъ опредѣленія сопряженъ съ большими трудностями, а обыкновенно производимые грубые опыты могутъ дать только приблизительные выводы. Количество воды, содержащееся въ растеніяхъ въ какой-нибудь данный моментъ времени, или количество водорода, которое находятъ въ образовавшихся тканяхъ растеній, вовсе не даетъ указанія на количество потребляемой растеніемъ воды. Методъ изолированія растенія и измѣренія воды, поглощаемой этимъ растеніемъ, тоже неточенъ, хотя онъ обыкновенно и практикуется.

Метеорологія почвы.

Метеорологію почвы можно раздѣлить на два отдѣла: одинъ о температурѣ и другой о влажности почвы, и въ обоихъ затроуто множество интересныхъ вопросовъ, такъ что спеціальныхъ задачъ предстоитъ рѣшить множество.

Температура почвы. Въ Европѣ особенно много было сдѣлано рядовъ измѣреній температуры почвы, и теперь важной отличительной чертой большихъ метеорологическихъ обсерваторій служить веденіе такихъ наблюдений. Въ Америкѣ, къ сожалѣнію, было сдѣлано мало такихъ наблюдений, не смотря на ихъ несомнѣнную важность. Трудность этихъ наблюдений возрастаетъ съ глубиной. Но, чтобы удовлетворить требованіямъ земледѣлія, нѣтъ надобности опускать термометръ глубже, чѣмъ на 50 сантиметровъ или 1 метръ; наиболѣе важны указанія температуры на глубинѣ около 5 сантиметровъ.

Температура вблизи поверхности земли зависитъ въ большой степени отъ свойствъ почвы: какъ отъ ея наклона, такъ и отъ состава и цвѣта земляныхъ частицъ, потому что эти свойства вліяютъ на количество поглощаемого ею солнечнаго тепла.

Много также зависитъ отъ короткихъ періодическихъ измѣненій внѣшней температуры. Является вопросъ, на какую глубину проникаетъ въ землю морозъ? Среднее дневное измѣненіе температуры почвы наибольшимъ оказывается на поверхности, около половины этого количества будетъ на малой глубинѣ въ 0.02 метра, четверть его — на глубинѣ 0.10 метра, очень незначительное количество на 0.30 м. и едва замѣтное на глубинѣ 1.00 м.

Средняя мѣсячная температура измѣняется значительно, сообразно съ измѣненіями временъ года, и даже на глубинѣ въ 1 метръ годовыя колебанія достигаютъ 10° С. — Съ возрастаніемъ глубины время дневныхъ и мѣсячныхъ максимумовъ и минимумовъ все болѣе и болѣе опаздываетъ сравнительно съ временемъ ихъ на поверхности или въ воздухѣ.

Приведенныя здѣсь относительныя величины принадлежатъ умѣренному поясу. Ростъ растений при колеблю-

щейся умѣренной температурѣ и различныхъ постоянныхъ температурахъ почвы показанъ на нижеслѣдующей таблицѣ, составленной для ячменя:

Температура почвы	{ Колеблующаяся умѣренная температура. }	10°С. 20°С. 30°С. 40°С.				
Вѣсъ растенія въ миллиграммахъ		8142	7638	8221	3854	928

Это растеніе, произрастающее при колеблющейся умѣренной температурѣ, отличается сильнымъ ростомъ и хорошимъ цвѣтомъ. При 20° С. растенія такъ же хорошо развиваются и почти съ той же быстротой, но при 10° С. развитіе идетъ гораздо медленнѣе, хотя растеніе и имѣетъ здоровый ростъ. При 30° С. сначала замѣчается усиленный ростъ, но затѣмъ температура эта оказывается гораздо менѣе полезной, и растенія не остаются здоровыми. При температурѣ въ 40° С. растенія хотя еще живутъ, но растутъ они медленно и остаются карликами, корни и стебли имѣютъ болѣзненный видъ.

Найдено, что ячмень можетъ быть подверженъ температурѣ въ 40° С. на короткое время (напримѣръ въ серединѣ мая) безъ особаго вреда для развитія и даже можетъ перенести жару въ 57° С., причемъ растеніе не гибнетъ, но оказывается значительно поврежденнымъ.

Вольни (Wollny), изслѣдовавшій вопросъ о вліяніи строенія почвы на ея температуру, напелъ:

1) Температура сухой почвы въ теченіе теплой части года возрастаетъ съ величиной земляныхъ частицъ и ихъ рыхлости до извѣстнаго предѣла, а затѣмъ уменьшается.

2) Колебанія температуры возрастаютъ и уменьшаются вообще въ той же степени.

3) Температура почвы, представляющей смѣсь земляныхъ частицъ различной величины, будетъ равна средней температурѣ между температурами, свойственными почвамъ, состоящимъ изъ самыхъ крупныхъ и самыхъ мелкихъ частицъ.

4) Разница между 1 и 2 условіями вообще очень мала. Если почва *влажна* въ *теплое* время года, то:

1) температура почвы возрастаетъ сообразно съ величиной

земляныхъ частицъ до извѣстнаго діаметра, но по достиженіи его она снова уменьшается;

2) вязкая почва теплѣе, чѣмъ рыхлая;

3) измѣненія температуры возрастаютъ и уменьшаются въ томъ же направленіи, какъ и среднія температуры;

4) смѣсь изъ различныхъ частицъ имѣетъ температуру, среднюю между температурами частицъ крайнихъ величинъ (большой и малой);

5) характерныя различія, указанныя въ 1 и 2 параграфахъ, значительно больше для влажной почвы, чѣмъ для сухой.

Въ холодное время года устанавливаются слѣдующія отношенія: чѣмъ крупнѣе частицы земли, тѣмъ почва въ среднемъ холоднѣе, тѣмъ скорѣе и глубже промерзаетъ и тѣмъ скорѣе нагрѣвается во время оттепели.

Влажность почвы. Вопросъ о влажности почвы одинъ изъ наиболѣе трудныхъ, съ которыми метеорологамъ приходится имѣть дѣло, такъ какъ влажность зависитъ отъ слишкомъ многихъ разнообразныхъ условий. У насъ имѣется менѣе наблюдений этого рода, чѣмъ какихъ бы то ни было другихъ, вслѣдствіе большой трудности полученія такихъ данныхъ. Если нѣкоторые опыты доставили цѣнныя данныя, то это опыты, относящіеся къ области физики почвы, которая лежитъ внѣ границъ метеорологіи. Изслѣдованію подлежатъ слѣдующіе вопросы: глубина, до которой проникаетъ дождь, влажность на различной глубинѣ въ различныхъ почвахъ съ разнымъ наклономъ, относительная испарительная способность почвы сравнительно съ свободной водной поверхностью (эта послѣдняя при сравненіи всегда принимается за нормальную) въ различныхъ частяхъ свѣта. Нѣкоторыя немногочисленныя наблюденія были сдѣланы въ Америкѣ, а также въ Европѣ учеными агрономами, и условія оказались не одинаковыми для различныхъ климатовъ, поэтому требуется продѣлать опыты въ разныхъ пунктахъ; изъ которыхъ каждый представлялъ бы характерныя климатическія особенности.

Влажность почвы зависитъ такъ же сильно отъ повторности дождливыхъ дней, какъ и отъ количества выпадающаго дождя, за исключеніемъ тѣхъ мѣстностей, гдѣ ощущается уже крайній недостатокъ въ дождѣ; влажность воздуха надъ почвой

также очень важный факторъ въ сужденіи о подпочвенной влажности.

Количество влаги въ почвѣ, насколько можно судить, имѣетъ огромную практическую важность для роста растений.

Вотъ опыты, произведенные съ ячменемъ въ песчаной почвѣ. Таблица даетъ относительную влажность и послѣдовавшій урожай:

Влажность въ процентахъ насыщенья.	Солома и мякина въ миллиграмахъ.	Зерна въ миллиграммахъ.
80 — 60	6941	6143
60 — 40	6053	6130
40 — 20	4671	5245
20 — 10	3156	696

При 5% влажности растеніе вовсе не проростало, а при 10—20% не давало всходовъ въ теченіе шести недѣль. Относительное развитіе и постепенный ростъ явствуютъ изъ результатовъ урожая.

Весьма интересны также слѣдующіе результаты опытовъ надъ отношеніемъ почвенной влаги къ состоянію урожая для различныхъ растений:

Названіе растений.	Влажность почвы, дающая наивысшій урожай.
Яровая рожь	Для числа колосьевъ и зеренъ и вѣсового количества соломы, мякны и сѣмянъ 60—80%, для средняго вѣса зеренъ 40—60%.
Горохъ	Для всѣхъ вышеозначенныхъ статей 40—60%.
Зимняя рѣпа	Для всѣхъ вышеозначенныхъ статей 40—60%, кромѣ зелени, для которой благоприятна влажность 60—80%, такимъ образомъ для максимума общаго вѣса растенія 60—80%.
Конскій бобъ	Для всѣхъ вышеозначенныхъ статей, 80% кромѣ вѣса зеренъ, которымъ благоприятствуютъ 60%.
Смѣшанныя травы	60—80%.

Вольни (Wolny) даетъ слѣдующія зависимости, существующія между физическими свойствами почвы и ея влажностью:

1) способность почвы удерживать воду возрастаетъ вообще съ измельченностью частицъ земли и для сыпучей почвы она гораздо больше, чѣмъ для вязкой, потому что, съ уменьше-

ніемъ величины крупинокъ черезъ измельченіе, поверхность смачивается водой скорѣй и увеличивается число капиллярно-дѣйствующихъ скважинъ, а утеканіе воды вглубь съ поверхности значительно замедляется;

2) съ почвы испаряется тѣмъ большее количество воды, чѣмъ мельче частицы земли, такъ какъ водоемкость и просачиваніе (капиллярная кондукція) воды у поверхности увеличивается съ измельченіемъ;

3) количество воды, которая можетъ проникнуть сквозь почву, прямо пропорціонально величинѣ частицъ земли, потому что сопротивление движенію воды внизъ (прилипаніе, треніе и капиллярность) становится тѣмъ меньше, чѣмъ крупнѣе частицы земли;

4) дѣйствіе испаренія, объясненное выше въ пунктѣ 2, особенно замѣтно во время продолжительной засухи, высокой температуры и сильныхъ вѣтровъ, причемъ (согласно 1-му пункту) разница въ количествѣ воды для разныхъ состояній почвы становится меньше и въ нѣкоторыхъ случаяхъ совсѣмъ исчезаетъ или распредѣляется въ обратномъ порядкѣ;

5) проницаемость и испареніе часто (особенно когда почва составлена изъ разныхъ величинъ земляныхъ частицъ) обратно пропорціональны другъ другу, такъ что въ разныхъ почвахъ иногда содержится равное количество влаги, не смотря на различіе физическихъ свойствъ ихъ.

Солнечный свѣтъ.

Количество солнечной энергіи обыкновенно опредѣляется косвеннымъ образомъ, — путемъ наблюденія облачности черезъ опредѣленные интервалы въ теченіе дня, а въ сравнительно недавнее время стали употребляться непосредственные методы измѣренія, описанные нами выше. Записи, полученные такимъ образомъ, навѣрное окажутся въ будущемъ очень важными для ученія о вліяніи свѣта и тепла на растенія, но теперь пока нѣтъ сочиненій, въ которыхъ бы приводились сравнительныя наблюденія. Въ Англіи уже нѣсколько лѣтъ дѣйствуетъ довольно много станцій, наблюдающихъ солнечное сіяніе, но этихъ наблюденій оказалось недостаточно, чтобы

можно было начертать карту, показывающую географическое распредѣленіе количества солнечной энергіи для какого-нибудь обширнаго района, и мы хорошо знаемъ только относительную облачность многихъ странъ.

Для жизни растений не только очень важно вообще присутствіе солнечнаго свѣта, но и различныя свойства его, особенно важны активныя дѣйствія. Если для развитія растенія тепло необходимо должно сопровождать дѣйствіе свѣта, то этотъ послѣдній и самъ по себѣ приноситъ громадную пользу.

Чтобы выяснитъ его воздѣйствіе, было сдѣлано въ Парижѣ нѣсколько лѣтъ тому назадъ нѣкоторое, впрочемъ, ограниченное число опытовъ. Четыре кустика турецкаго боба были пересажены въ горшки; около нихъ были установлены шкалы и растенія подвержены солнечному свѣту и укрыты отъ дождя; опыты производились въ іюль; орошеніе было искусственное; количество испаряющейся воды тщательно сравнивалось каждый день съ средней температурой, максимумомъ температуры, степенью интенсивности солнечнаго свѣта и испареніемъ по эвапориметру Пипе. Между испареніемъ и инсоляціею обнаружилась тѣсная зависимость. Количество испаряющейся воды каждый день было очень велико и, кажется, зависѣло прямо отъ количества солнечнаго свѣта: максимумъ приходился въ полдень. Количество испаряющейся воды за 24 часа было 1·27 килограм., тогда какъ количество, испаряющееся съ свободной водной поверхности, равнялось только 0·26 килограм., а съ поверхности земли, 0·10 килогр.

Это доказываетъ, какое большое количество воды необходимо, чтобы доставить растеніямъ тѣ ничтожныя частицы вещества, которыя заимствуются ими отъ почвы и входятъ въ составъ растительныхъ тканей, такъ какъ большая часть воды служитъ именно для этой цѣли.

Слѣдующая маленькая табличка, составленная для Парижа, представляетъ résumé нѣсколькихъ лѣтъ наблюденій за періодъ съ марта по іюль, т.-е. за тѣ 5 мѣсяцевъ, когда растеніе развивается. Года расположены въ порядкѣ успѣшности роста, при чемъ были приняты въ расчетъ и количество, и качество урожая.

	1874.	1876.	1875.	1877.	1873.
Дождь	166 мм.	197 мм.	207 мм.	320 мм.	307 мм.
Испарение	582 "	558 "	508 "	448 "	537 "
Сумма температур . .	2096°	1995°	2053°	2007°	2029°
Сумма солнечного свѣта.	6621°	6450°	6249°	6008°	6201°

Отсюда мы видимъ, что возрастаніе инсоляціи сопровождалось увеличеніемъ урожайности посѣва, за исключеніемъ 1873 года, потому что въ этомъ году случилась неблагоприятная погода въ концѣ періода; іюнь отличался особенно дурной погодой, такъ какъ въ этомъ мѣсяцѣ выпало дождя больше, чѣмъ въ какой-либо другой за всѣ пять лѣтъ.

ВѢТРЫ.

Земледѣльцы наблюдали многоразличныя вліянія, оказываемыя вѣтромъ на растительность, но всегда лишь съ качественной точки зрѣнія, теперь же метеорологи собрали много данныхъ, касающихся направленія и количества вѣтровъ, и нынѣ настало время примѣнить ихъ съ пользой для практики земледѣлія. Для извѣстнаго времени года направленіе, откуда дуютъ вѣтры, опредѣляется съ большой вѣроятностью; но сила вѣтра—вопросъ столь же, если еще не болѣе, важный, чѣмъ направленіе вѣтра, и тѣмъ не менѣе метеорологами ему было удѣлено меньше вниманія; вліяніе его въ количественномъ отношеніи не было предметомъ изслѣдованія также и среди лицъ практически заинтересованныхъ земледѣліемъ. Существуетъ большая разница въ силѣ и количествахъ вѣтра въ различныхъ мѣстностяхъ и при различномъ рельефѣ почвы; очевидно, что растенія, которыя не могутъ переносить сильнаго вѣтра, не будутъ успѣшно расти въ открытыхъ мѣстностяхъ; особенно надо заботиться о посадкѣ плодовыхъ деревьевъ подъ защитой отъ вѣтра тамъ, гдѣ свирѣпствуютъ жестокіе вѣтры, которые навѣрное обобьютъ большинство фруктовъ именно тогда, когда они созрѣютъ, потому что они тогда легче падаютъ.

Карты вѣтровъ, составленныя Керновскимъ и Вальдо показываютъ, что вообще можно отмѣтить области, въ которыхъ растенія болѣе или менѣе защищены отъ вліянія вѣт-

ровъ. Изучалось также значеніе различнаго расположенія относительно вѣтра мѣстъ въ одной и той же области, а это позволить вѣроятно находить соотвѣтственную поправку къ изодинамамъ вѣтра и, слѣдовательно, предсказать среднюю силу вѣтровъ, въ интересующихъ насъ мѣстностяхъ т.-е. на холмахъ и въ долинахъ Россіи и Американскихъ Соединенныхъ Штатовъ, какъ странъ располагающихъ картами изодинамъ, поправку, необходимую не только въ смыслѣ опредѣленія степени урожая, но также при выборѣ мѣста для эксплуатаціи силы вѣгра посредствомъ вѣтряныхъ мельницъ и иныхъ вѣтровыхъ двигателей; послѣднее особенно важно для ирригаціонныхъ цѣлей. Очень важно знать точно, на какой высотѣ должно быть помѣщено въ данной мѣстности вѣтряное колесо, чтобы гарантировать извѣстное количество энергіи ежемѣсячно. Это можетъ быть вычислено съ значительной вѣроятностью для нѣкоторыхъ странъ на основаніи имѣющихся данныхъ относительно силы вѣтра. Вѣроятное количество вѣтра не можетъ быть установлено для каждаго отдѣльнаго дня, или недѣли, но для такого долгаго періода, какъ мѣсяцъ, минимумъ ожидаемаго количества можетъ быть очень точно предсказанъ тамъ, гдѣ наблюденія надъ силой вѣтра ведутся уже нѣсколько лѣтъ подъ рядъ. При помощи этого минимума дѣйствительное количество работы можетъ быть опредѣлено для каждаго мѣсяца съ большой степенью вѣроятности; если изъ опыта извѣстна затрата энергіи при движеніи какого-нибудь вида вѣтряной турбины, то можно опредѣлить количество работы въ килограммометрахъ, развиваемой вѣтромъ въ продолженіе мѣсяца или года. Напримеръ, въ Dodge City, въ Сѣверо-Американскомъ штатѣ Канзасъ на высотѣ около 50 футовъ надъ поверхностью земли вѣтеръ давитъ въ среднемъ на площадь въ одинъ квадратный футъ, помѣщенную перпендикулярно къ его направленію, съ силой, выраженной въ фунтахъ, какъ показано на этой табличкѣ:

Январь.	Февраль.	Мартъ.	Апрѣль.	Май.	Іюнь.
0·6,	0·7,	1·0,	1·1,	1·0,	0·8,
Іюль.	Августъ.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.
0·8,	0·6,	0·7,	0·7,	0·5,	0·5.

Эти количества надо умножить на количество квадратных футов поверхности, представляемой вѣтрянымъ крыломъ, а также на множитель, показывающій отношеніе силы, дѣйствующей на квадратный футъ крыла, къ силѣ, дѣйствующей на площадь въ одинъ квадратный футъ, помещенную перпендикулярно къ вѣтру и показывающую его давление. Этотъ множитель долженъ быть данъ мастеромъ, дѣлавшимъ вѣтряное колесо. Такимъ образомъ мы вычислимъ всю силу, развиваемую вѣтровымъ двигателемъ.

Что касается нерегулярныхъ сильныхъ вѣтровъ, то о нихъ можно сказать, что они приносятъ очень большой уронъ хозяйству и, вѣроятно, вскорѣ войдетъ въ употребленіе страхование въ страховыхъ обществахъ полей и садовъ отъ бурь, какъ нынѣ страхуютъ имущество отъ огня. Въ настоящее время въ Американскихъ Соединенныхъ Штатахъ существуетъ страхование отъ торнадо. Еще много однако остается собирать вспомогательныхъ данныхъ, касающихся штормовъ и печальныхъ послѣдствій ихъ, пока возможно будетъ сдѣлать полную расцѣнку такой страховки.

Энтомологія.

Громадный вредъ, причиняемый насѣкомыми урожаю, когда они являются въ своемъ ли нормальномъ количествѣ, или въ такомъ множествѣ, что опустошаютъ цѣлую страну, требуетъ изученія ихъ привычекъ и жизни, а также изысканія возможныхъ средствъ для борьбы съ ними. Но такое изученіе не можетъ быть полнымъ, пока не изучены метеорологическія условія воздуха и почвы, а это возможно только, какъ мы замѣтили, при знакомствѣ съ климатологіей. Несомнѣнно, что жизнь животныхъ и развитіе ея обуславливаются климатическими причинами и условіями, и единственный путь, по которому энтомологъ долженъ слѣдовать въ своихъ сравнительныхъ изслѣдованіяхъ,—это путь метеорологическихъ изслѣдованій для тѣхъ же періодовъ и раіоновъ, въ которыхъ изслѣдуется жизнь животныхъ. Если же энтомологъ оказывается вынужденнымъ выполнить задачу самостоятельно, то весьма возможно, что онъ ее не сможетъ кончить, такъ какъ слиш-

комъ много времени требуется для сводки первичныхъ метеорологическихъ данныхъ въ одно цѣлое.

Особенно при изученіи миграціи насѣкомыхъ надо имѣть въ виду метеорологическія записи, чтобы найти причины, обуславливающія и вызывающія это движеніе. Напримѣръ, теорія, объясняющая исчезновеніе со Скалистыхъ Горъ стрекозъ или саранчи, основывается на чисто метеорологическихъ соображеніяхъ.

Микологія.

Въ большинствѣ микологическихъ ученій, въ которыхъ принимаются въ расчетъ климатическія вліянія, очень мало вниманія удѣляется метеорологическимъ даннымъ, представленнымъ въ цифровыхъ величинахъ; такія, напримѣръ, выраженія, какъ „сырая погода“, или „засуха“ считаются достаточными для того, чтобы дать понятіе о состояніи погоды.

Несомнѣнно, что многія болѣзни, которымъ подвергаются растения, совершаются при строго опредѣленныхъ климатическихъ условіяхъ, которыя могутъ быть даны въ цифрахъ, долженствующихъ показывать степень влажности, тепла, солнечнаго свѣта и другихъ элементовъ, находящихся въ тѣсной связи съ этими болѣзнями. При тщательномъ изученіи всѣхъ условій явится возможность извѣщать земледѣльцевъ о началѣ періодовъ, когда метеорологическія условія будутъ благоприятны для развитія всевозможныхъ болѣзней. Въ болѣзняхъ, происходящихъ отъ перенесенія болѣзнетворныхъ зародышей съ одного растенія на другое, вѣтры и дожди являются главными виновниками. Тщательное сравнительное изученіе такихъ явленій несомнѣнно дастъ возможность выяснитъ причины болѣзней, теперь не вполне понимаемыхъ.

Я долженъ прибавить, что существуютъ еще два очень важныхъ примѣненія метеорологическихъ данныхъ, о которыхъ, къ сожалѣнію, я не имѣю вовсе возможности говорить здѣсь,—это содѣйствіе, оказываемое метеорологією торговымъ сообщеніямъ путемъ предсказаній погоды, штормовыхъ предупрежденій и съ помощью картъ океаническихъ вѣтровъ, а

также помощь, приносимая метеорологіей практической медицины.

Первое подробно описано въ разныхъ книгахъ, трактующихъ о буряхъ, штормахъ и погодѣ, а второе представляетъ собой почти непечатое поле для работъ, и только масса собраннаго матеріала, въ видѣ статистическихъ данныхъ, указываетъ на сильную зависимость, существующую между болѣзнями и климатомъ и погодою; этотъ матеріалъ ожидаетъ нынѣ терпѣливаго и опытнаго работника; труды его въ этой области, навѣрное, не будутъ безплодны.

ПЕРЕЧЕНЬ ИЛЛЮСТРАЦІЙ.

СОДЕРЖАНІЕ:	Источники:
1. Воздушный термометръ Галилея.	Аббе „Метеорологическіе аппараты и методы“ („Meteorological Apparatus and Methods“). „Отчетъ главнаго Сигнальнаго Бюро 1887 г. Вальдо 21
2. Первый флорентійскій термометръ.	„Небо и земля“ („Himmel und Erde“) т. II Гельманъ 22
3. Нормальные термометры.	„Термометрія“ („Thermometrie“) Гилльомъ (ст. 5) Готье-Виларъ. Парижъ 1889 г. 25
4. Аппаратъ для сравненія термометровъ въ водяной ваннѣ.	Гилльомъ „Термометрія“ (ст. 125). 26
5. Верхняя часть термометра, гдѣ находится калибровочная камера.	Гилльомъ „Термометрія“ (ст. 7). 27
6. Аппаратъ для калибраціи термометровъ.	Гилльомъ „Термометрія“ (ст. 45) 29
7. Приборъ Шапюи для опредѣленія точки кипѣнія. Термометръ Т; зрительная труба L; помещеніе для пара А.	Гилльомъ „Термометрія“ (ст. 113). 30
8. Приборъ для опредѣленія точки замерзанія. Термометръ Т; помещеніе для льда А.	Гилльомъ „Термометрія“ (ст. 117). 32
9. Термографъ Ришара.	Ришаръ „Каталогъ“ (Парижъ) 38
10. Термометрическая клѣтка Стевенсона (англійская).	Meteorological Instructions (Лондонъ) 40
11. Французская защита для термометра.	Meteorological Instructions (Парижъ) 41
12. Вильдова клѣтка для термометра (русская).	Вильдъ „Repertorium für Meteorologie“, т. VI 42
13. Вильдова клѣтка для термометра изъ цинковой жести.	Вильдъ „Repertorium für Meteorologie“ 43
14. Защита для термометра, употребляемая въ Кью (Англія).	Снято съ фотографіи —
15. Термометрическая защита Кеплена.	Van Beber's „Meteorologie“ Ferd. Enke, Штутгартъ 1890 г. 44
16. Старинный барометръ.	Гельманъ „Himmel und Erde“ 49
17. Сифонный барометръ.	Гельманъ „Himmel und Erde“ —

18. Новѣйшій стеклянный барометръ Бодена съ прикрѣпленной цистерной и дѣлениями, нанесенными на самую барометрическую трубку.	Гильомъ „Термометрія“ (ст. 62)	50
19. Сифонно-резервуарный барометръ конструкціи Кеппена—Фусса.	Изъ каталога Фусса (Берлинъ)	51
20. Сифонно-резервуарный барометръ Вильда-Фусса.	Изъ записокъ С.-Петербургской Академіи Наукъ. (1883 г.)	52
21 и 22. Переносный барометръ Сунделя съ приспособленіемъ для наполненія трубокъ ртутью.	Сундель „Barometer Vergleichen“ (Гельсингфорсъ). Acta Soc. Fennicae—Tome XVI	55
23. Нормальный барометръ Реньо.	Proc. Roy. Soc. 1856	59
24. Нормальный барометръ въ Кью.	Копія со снимка изъ сочиненія Аббе	60
25. Нормальный барометръ Вильда въ Петербургѣ.	Копія со снимка изъ сочиненія Аббе	61
26. Нормальный барометръ Фусса.	Копія со снимка изъ сочиненія Аббе	62
27. Нормальный барометръ Марека.	Изъ „Архива“ Deutsche Seewarte	—
28. Нормальный барометръ Неймайера-Фусса (Гамбургъ).	Сундель „Barometer Vergleichen“	63
29. Нормальный барометръ Сунделя (Гельсингфорсъ).	Рисунокъ Франка Вальдо (1883 г.)	66
30. Приборъ Вильда для наполненія барометровъ (С.-Петербургъ).	Гильомъ „Термометрія“ (ст. 18)	70
31. Барометрическая трубка съ вспомогательнымъ сосудомъ для подѣла поверхности ртути.	Фусса каталогъ (Берлинъ)	83
32. Барографъ Шпрунга.	Van Bebbber's Meteorologie	85
33. Анероидъ-барометръ Ришара.	Гельманъ Himmel und Erde Band II	87
34. Башня вѣтровъ въ Афинахъ.	Гельманъ „Himmel und Erde“ Band II	88
35. Итальянскій флюгеръ XVI в.	То-же.	90
36. Первый маятникъ-анемометръ королевскаго общества въ XVII в.	Фусса каталогъ	—
37. Флюгеръ въ соединеніи съ пластинкою для измѣренія силы вѣтра. (Вильдъ).	Копія изъ „Century Magazine“ (1891 г.)	92
38. Молитвенное вѣтряное колесо въ Тибетѣ.	Копія изъ „Century Magazine“ (1891 г.)	93
39. Новѣйшій чашечный анемометръ Робинзона.	Архивъ 1884 г. Deutsche Seewarte	96
40. Комба вращательный аппаратъ для испытанія анемометровъ, устроенный для Неймайера, Deutsche Seewarte, Гамбургъ.	„ „ „	102
41. Схематическое изображеніе комбинаціи анемометра съ анемоскопомъ-регистраторомъ.	Аббе „Метеорологическіе аппараты“	105
42. Нефоскопъ Форніони.	Аббе „Метеорологическіе аппараты“	107
43. Принципъ нефоскопа.	Аббе „Метеорологическіе аппараты“	—
44. Нефоскопъ Финеманна.	Аббе „Метеорологическіе аппараты“	—

45. Первоначальная форма конденсаціоннаго гигрометра.	Гельманъ „Anfange der Meteor. Beob. u. Instr. „Himmel und Erde“ Band II	109
46. Гигрометръ Швакгеффера.	Аббе „Метеоролог. аппараты“	112
47. Ассманна переносной психрометръ—съ вентиляціей.	Каталогъ Фусса	117
48. Защищенный дождемѣръ и сифомѣръ Нифера.	Аббе „Метеоролог. аппараты“	119
49. Записывающій дождемѣръ.	Каталогъ Фусса	120
50. Эвапориметръ Пинше.	Van Bebbber's Meteorologie	121
51. Омбро-атмографъ Вильда	Вильда „Repertorium für Meteor.“ Band XIII	122—124
52. Диаграмма Лауренти, показывающая высоту зонъ каждой десятой части видимаго неба.	Вильда „Repertorium für Meteorologie. Band X	125
53. Фото-нефографъ или камера для фотографированія облаковъ Кью (фотограмметръ).	Снимокъ съ фотографіи	126
54. Проведеніе линіи базиса между станціями. Наблюденія, дѣлаемые въ Кью съ помощью фотографической камеры и треножника для жюстировки.	Съ фотографіи	127
55. Кампелля еліографъ (показатель продолжительности солнечнаго сіянія)	Фусса каталогъ	128
56. Самозаписывающій актинометръ.	Van Bebbber's Meteorologie	129
57. Парижская городская Обсерваторія въ Montsouris.	Изъ „Ежегодника“ Обсерваторіи за 1878 г.	133
58. Deutsche Seewarte (Германская Морская Обсерваторія) Гамбургъ. (видъ съ боку).	Снимокъ съ гравюры	135
59. Обсерваторія Королевскаго Общества въ Кью (Ричмондъ).	Съ фотографіи	136
60. Главныя постройки Константиновской Обсерваторіи въ Павловскѣ, вблизи Петербурга. (Россія).	Съ фотографіи	139
61. Обсерваторія на Эйфелевой башнѣ.	Займствовано изъ La Nature и American Met. Journal	157
62. Обсерваторія на Пикъ дю Миди (Франція), и наблюдаемые тамъ оптическія явленія.	Van Bebbber's Meteorologie	158
63. Обсерваторія на Зоннбликѣ (Австрія).	Meteorologische Zeitschrift Feb. 1887	160
64. Обсерваторія на Зоннбликѣ вблизи.	Meteorologische Zeitschrift Feb. 1887	161
65. Обсерваторія на Пайксъ-Пикѣ, Колорадо, С. А. Ш.	Снято съ фотографіи	162
66. Обсерваторія Бенъ-Невисъ.	Изъ „Strand Magazine“, 1892 г.	—
67. Внутренняя обстановка обсерваторіи Ben Nevis.	„ „ „ „	163
68. Обсерваторія Ben Nevis, покрытая инеемъ.	„ „ „ „	165
69. Диаграмма.	Эскизъ	169
70. Диаграмма.	Эскизъ	—
71. Диаграмма.	Эскизъ	171
72. Диаграмма.	Эскизъ	172

73. Диаграмма.	Эскизъ	174
74. Диаграмма.	<i>Фонъ Бецольдъ</i> Zur Thermodynamik der Atmosphäre Theil I, p. 13.	176
75. Диаграмма.	<i>Фонъ Бецольдъ</i> Zur Thermodynamik der Atmosphäre Theil I, p. 23.	181
76. Термодинамическія измѣненія въ Фенахъ.	<i>Фонъ Бецольдъ</i> Zur Thermodynamik der Atmosphäre Theil I, p. 23.	184
77. Термодинамика обмѣна воздуха между циклонами и анти-циклонами лѣтомъ.	<i>Фонъ Бецольдъ</i> Zur Thermodynamik der Atmosphäre Theil II, p. 17.	186
78. Термодинамика обмѣна воздуха между циклонами и анти-циклонами зимой.	<i>Фонъ Бецольдъ</i> Zur Thermodynamik der Atmosphäre Theil I, p. 36.	188
79. Графическій методъ Герца для опредѣленія адиабатическихъ измѣненій влажнаго воздуха.	Meteorologische Zeitschrift. Nov.—Dec., 1884 г.	192—193
80. Потенціальная температура.	Von Bezold's „Zur Thermodynamik der Atmosphäre“ Theil II, p. 3.	195
81. Диаграмма.	Von Bezold's „Zur Thermodynamik der Atmosphäre“ Theil III, p. 5.	207
82. Диаграмма.	Von Bezold's „Zur Thermodynamik der Atmosphäre“ Theil III, p. 7.	208
83. Диаграмма.	Von Bezold's „Zur Thermodynamik der Atmosphäre“ Theil III, p. 8.	209
84. Диаграмма.	Von Bezold's „Zur Thermodynamik der Atmosphäre“ Theil III, p. 10.	210
85. Поверхности равнаго атмосфернаго давленія. Maximum давленія вдоль eo.	<i>Феррель</i> —„Вѣтры“ (Нью-Йоркъ 1889 г., Wiley and Jons).	239
86. Атмосферное давленіе на меридіанѣ.	<i>Шпрунгъ</i> „Метеорологія“	243
87. Вертикальный и горизонтальный разрѣзъ общей циркуляціи атмосферы.	<i>Феррель</i> , 1856 г.	244
88. Вертикальный и горизонтальный видъ общей циркуляціи атмосферы.	<i>Феррель</i> , 1858—59 г.	245
89. Вертикальный и горизонтальный видъ общей циркуляціи атмосферы.	<i>Феррель</i> „Вѣтры“, 1889 г.	246
90. Тропическая воздушная циркуляція.	<i>Меллеръ</i> ; Deutsche Seewarte Архивъ X годъ	254
91. Работоспособность воздуха на различныхъ высотахъ.	<i>Меллеръ</i> , Deutsche Seewarte Архивъ, годъ X.	256
92. Диаграмма воздушной циркуляціи.	<i>Обербекъ</i> , „Meteorologische Zeitschrift“	259
93. Сила и направленіе вѣтровъ въ циклонахъ и анти-циклонахъ на Атлантическомъ океанѣ.	<i>Лумисъ</i> , „Contributions to Meteorology“	278

94. Пути циклоновъ въ сѣверномъ полушаріи.	<i>Лумисъ</i> , изъ Meteorologin Von Bebbber'a.	279
95. Циклоны и анти-циклоны въ сѣверномъ полушаріи 4 ноября 1881 года.	<i>Лумисъ</i> „Contributions to Meteorology“	—
96. Карта изотермъ и изобаръ въ С. А. III. 27 ноября, 1887 г.	<i>Руссель</i> „Report on Cold Waves“, С. III. отчеты сигнальнаго Бюро 1890 г.	284
97. Распределение облаковъ и вѣтровъ въ циклонахъ.	<i>Van Bebbber's</i> „Meteorologie“ (p. 301)	285
98. Явленія, сопровождающія циклоны.	<i>Аберкромби</i> „Weather“ (p. 28)	286
99. Диаграмма, принятая въ метеорологическихъ изслѣдованіяхъ Ферреля.	<i>Шпрунгъ</i> „Метеорологія“ (p. 248)	290
100. Спиральное движеніе вѣтра на земной поверхности въ циклонахъ и анти-циклонахъ.	<i>Лумисъ</i> (Loomis) Contributions to Meteorology	291
101. Изобары, изотермы и вѣтры на различной высотѣ въ циклонахъ.	Annalen d. Hydrographie, 1883 г. (p. 665) W. Köppen	292
102. Диаграмма, показывающая высоту различныхъ классовъ облаковъ, наблюденныхъ Феттиномъ въ Берлинѣ.	Архивъ „Deutsche Seewarte“, 1888 г. № 5, p. 2	294
103. Диаграмма, показывающая видимыя скорости различныхъ облаковъ, наблюденныхъ Феттиномъ въ Берлинѣ.	Архивъ Deutsche Seewarte, 1888 г. № 5, p. 3	295
104, 105 и 106. Раіоны прилива и отлива воздуха въ циклонахъ и анти-циклонахъ по опредѣленію Феттина въ Берлинѣ.	Архивъ Deutsche Seewarte, 1885 г. № 5	297
107 и 108. Диаграмма обмѣна воздушныхъ массъ между циклонами и анти-циклонами, составленная, на основаніи наблюденій Феттина въ Берлинѣ.	Архивъ Deutsche Seewarte, 1888 г. № 5	298
109. Пути, по которымъ слѣдуютъ циклоны въ Европѣ.	<i>Van Bebbber's</i> „Wettervorhersage“ (p. 33)	301
110. Диаграмма Ферреля для внѣшнихъ и внутреннихъ раіоновъ циклона, показывающая общее направленіе вѣтра и относительныя скорости вѣтра (пропорціональныя длинѣ стрѣлокъ).	Воспроизведено по специальнымъ документамъ Сигнальнаго Бюро С. А. III. VIII	308
111. Ферреля диаграмма путей циклоновъ и направленія ихъ воздушныхъ движеній въ обонхъ полушаріяхъ (1859—1860).	Воспроизведено по документамъ Сигнальнаго Бюро, С. А. III. VIII	321
112. Поверхность давленія и критическія поверхности въ циклонѣ (вертикальный разрѣзъ).	<i>Von Bezold's</i> „Zur Theorie der Cyklonen. Sitz.-ber. Berlin Acad., 1890 г.	328

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

А.

<i>Адиабатическія</i> измѣненія газа..	169	<i>Барометры</i> —различные виды .	50
<i>Адиабатическія</i> линіи; ихъ отно- шеніе къ изотермамъ .	170	<i>Барометры</i> —точность ихъ пока- завій .	57
<i>Адиабатическія</i> и псевдо-адиабатическія измѣненія .	179	<i>Барометры</i> образцовые или нормальные .	58
<i>Адиабатическая</i> псевдо-кривая .	180	<i>Барометры</i> , источники оши- бокъ .	63
<i>Адиабатическіе</i> процессы, гра- фическое рѣшеніе Герца .	189	<i>Барометровъ</i> —ошибки нормаль- ныхъ .	77
<i>Адиабатическая</i> температура въ сухой стадіи .	176	<i>Барометры</i> — наполненіе трубо- чекъ .	65
<i>Астрономія</i> , метеорологія въ при- ложеніи къ ней .	345	<i>Барометровъ</i> — сравненіе нор- мальныхъ .	75
<i>Актинометръ</i> самопишущій .	129	<i>Барометры</i> — капиллярность въ трубкахъ .	79
<i>Анемометръ</i> .	86	<i>Барометръ</i> —анероидъ .	80
<i>Анемометръ</i> —маятникъ .	90	<i>Барометрический</i> градиентъ .	236
<i>Анемометръ</i> съ чашками .	91		
<i>Анемометръ</i> Робинзона .	92		
<i>Анемометровъ</i> проверка на вра- щательномъ аппаратѣ Комба .	95		
<i>Анемографъ</i> —самопишущій ане- мометръ .	100		
<i>Анемометръ</i> и анемоскопъ .	89		
<i>Антициклоны</i> , приложеніе термо- динамики къ объясненію об- мѣна воздуха, между циклонами и антициклонами .	185		
<i>Анти-циклоны</i> , температурный градиентъ въ циклонахъ и анти- циклонахъ .	199		
<i>Анти-циклоны</i> , образованіе ихъ .	270		
<i>Анти-циклоны</i> , новѣйшій взглядъ Ханна относительно ихъ .	315		

Б.

<i>Барографъ</i> .	81
<i>Барометры</i> , исторія ихъ .	48

В.

<i>Вертикальная</i> циркуляція воз- духа и измѣненія темпера- туры .	171
<i>Вертикальная</i> циркуляція воз- духа, причина ея .	172
<i>Вертикальныя</i> теченія въ фѣ- нахъ и циклоническая цирку- ляція, приложеніе къ нимъ термодинамики .	183
<i>Вертикальный</i> температурный градиентъ .	197
<i>Влажность</i> —инструменты для измѣренія атмосферной влаж- ности .	108
<i>Влажность</i> въ атмосферѣ .	—
<i>Влажность</i> , методъ опредѣленія количества ея въ воздухѣ .	110
<i>Влажности</i> стадіи .	173
<i>Влажность</i> почвы .	362

<i>Волнообразное</i> движеніе въ атмо- сферѣ .	272	<i>Гигрометръ</i> волосный .	113
<i>Волнообразное</i> движеніе на по- верхности раздѣла двухъ жид- костей .	—	<i>Гигрометръ</i> самопишущій .	116
<i>Волнообразное</i> движеніе, его энер- гія .	274	<i>Горная обсерваторія</i> .	153
<i>Волны</i> , отношеніе величины волнъ водяныхъ къ величинѣ воздуш- ныхъ .	273	<i>Горная метеорологія</i> , исторія ея .	—
<i>Волны</i> , обрываніе ихъ .	275	<i>Горная обсерваторія</i> , примѣне- ніе наблюдений, дѣлаемыхъ тамъ .	154
<i>Волны</i> , столкновеніе .	276	<i>Горная обсерваторія</i> , перечень ихъ .	155
<i>Вращеніе</i> , отклоняющее вліяніе вращенія земли (Феррель) .	221	<i>Горная обсерваторія</i> , трудность ихъ устройства .	157
<i>Вращеніе</i> , идеальная воздушная циркуляція при гипотезѣ отсут- ствія вращенія земли .	227	<i>Горная обсерваторія</i> (нѣкоторыя отдѣльныя обсерваторіи) .	159
<i>Вращеніе</i> , измѣняющія вліянія земного вращенія на атмосфер- ныя движенія .	228	<i>Горная обсерваторія</i> (ихъ обста- новка) .	163
<i>Вращеніе</i> , величина отклоняющей силы земного вращенія .	253	<i>Горная обсерваторія</i> (установка инструментовъ) .	164
<i>Вращеніе</i> , воздушныя движенія внѣ вращенія земли (Обербекъ) .	258	<i>Градовая стадія</i> .	181
<i>Вращеніе</i> , воздушныя движенія при условіи существующаго обращенія земли вокругъ оси .	259	<i>Графическій методъ</i> Карно и Клапейрона, приложеніе его .	168
<i>Вѣтеръ</i> , аппараты для измѣренія его .	86	<i>Графическій анализъ</i> фонъ-Бе- цольда .	174
<i>Вѣтеръ</i> , первый флюгеръ .	—	<i>Графическое рѣшеніе</i> адиабатиче- скаго процесса Герца .	189
<i>Вѣтеръ</i> , теорія вѣтрянаго флю- гера .	87	<i>Графическая таблица</i> Герца, ея конструкція .	190
<i>Вѣтеръ</i> , аппараты для измѣренія силы или скорости его .	89	<i>Графическое изображеніе</i> воздуш- ной циркуляціи въ описаніи Ферреля .	244
<i>Вѣтеръ</i> , оцѣнка силы его .	98	<i>Графическое изображеніе</i> (со- ставленное Обербекомъ) общей атмосферной циркуляціи .	259
<i>Вѣтеръ</i> , измѣненіе его на боль- шой высотѣ .	104		
<i>Вѣтеръ</i> , приложеніе термо-дина- мики для объясненія фѣновъ и циклонической циркуляціи .	183		
<i>Вѣтеръ</i> —Пассаты .	234		
<i>Вѣтеръ</i> экваторіальный запад- ный .	—		
<i>Вѣтеръ</i> , въ „зонѣ“ воздушной смѣси .	269		
<i>Вѣтеръ</i> , направленіе и наклонъ его къ изобарамъ въ циклонахъ .	289		

Г.

<i>Газы</i> , расширеніе .	168	<i>Давленіе</i> , таблица Шпрунга: мери- диональнаго распредѣленія воз- духа и температуры .	241
<i>Газы</i> , диаграммы, употребляемыя при изученіи ихъ условій .	—	<i>Давленіе</i> , вычисленіе восточно- западныхъ скоростей воздуха изъ градиента .	246
<i>Газы</i> , адиабатическія измѣненія .	170	<i>Давленіе</i> , теорія распредѣленія атмосфернаго давленія .	260
<i>Гигрометръ</i> .	108		
<i>Гигрометръ</i> Швабгёфера .	110		

Д.

<i>Давленіе</i> воздуха и отношеніе его къ объему .	170
<i>Давленіе</i> , вліяніе общихъ движе- ній атмосферы на атмосфер- ическія и изобарическія поверх- ности .	235
<i>Давленіе</i> maximum на широтѣ 30° .	236
<i>Давленіе</i> minimum на экваторѣ .	—
<i>Давленіе</i> , maximum на большой высотѣ на экваторѣ .	237
<i>Давленіе</i> вообще на земной по- верхности .	—
<i>Давленіе</i> , таблица Шпрунга: мери- диональнаго распредѣленія воз- духа и температуры .	241
<i>Давленіе</i> , вычисленіе восточно- западныхъ скоростей воздуха изъ градиента .	246
<i>Давленіе</i> , теорія распредѣленія атмосфернаго давленія .	260

Давление воздуха и изобары въ циклонахъ	281
Давление, колебаніе атмосфернаго давления	338
Движенія, новѣйшія теоріи атмосферныхъ движеній	216
Движенія, районы восточныхъ и западныхъ движеній	220
Движенія, ученія Гюльдберга и Мона объ атмосферныхъ движеніяхъ	223
Движенія, первопричина ихъ	225
Движенія, измѣняющія вліянія земного вращенія на атмосферныя движенія	228
Движенія, восточныя и западныя скорости воздушныхъ движеній	229
Движенія, на востокъ верхнихъ полярныхъ воздушныхъ теченій	230
Движенія воздуха вертикальныя	231
Движенія, отношеніе восточныхъ движеній воздуха въ высокихъ широтахъ къ западнымъ движеніямъ въ нижнихъ широтахъ	—
Движенія, вліяніе тренія на восточно-западное воздушное движеніе	233
Движенія воздуха вблизи экватора	234
Движенія, вліянія общихъ движеній атмосферы на атмосферное давление и изобарическія поверхности	235
Движенія, зависимость поверхности градиентовъ на восточно-западныя движенія	236
Движенія, новѣйшія теоретическія изслѣдованія атмосферныхъ движеній	219
Движенія, общія атмосферныя движенія по Обербеку	257
Движенія, общія атмосферныя въ описаніи Гельмгольца	264
Движенія разрывныя	263
Движенія, полярный холодъ, какъ причина воздушныхъ движеній	270
Движенія волнъ въ атмосферѣ	272
Движенія волнъ на смежной поверхности двухъ жидкостей	—
Движенія, общія понятія о второстепенныхъ движеніяхъ атмосферы	—
Дождевая стадія	276
Дождь субтропическій	177
Дождь въ циклонахъ	269
Дождь и растенія	204
Дождетръгъ, самозаписывающій	357
	120

И.

Изданія метеорологическихъ	5
Измѣненія атмосфернаго давления	338
Измѣненія температуры	340
Измѣненія продолжительностиледяного покрова	342
Измѣненія времени сбора винограда	343
Изобарическія поверхности, вліяніе главныхъ движеній атмосферы на атмосферное давление и изобарическія поверхности	235
Изотермическія линіи	170
Инструменты, проверка ихъ въ Обсерваторіи Кью	135
Инструменты въ Павловскѣ	142
Изентропическія кривыя	180
Испареніе	121
Испареніе, процессъ испаренія влаги	167

К.

Климатъ, колебанія его, выведенныя на основаніи долговременныхъ наблюденій	332
Конгрессы, международные	20
Конденсація, условія, необходимыя для нея	211
Конденсація, законы ея и виды облаковъ	213
Конвекція, вычисленіе	204
Кью, проверка инструментовъ, исполняемая тамъ	135

Л.

Литература метеорологій вообще	5
Литература періодическая	13

М.

Метеорологія, источники современной метеорологій	1
Метеорологія, развитие современной метеорологій	—
Метеорологія, международная	16
Метеорологія въ приложеніи къ земледѣлію	345
Метеорологія почвы	360
Микологія	369

Н.

Нефоскопы	105
Насыщеніе пересыщеніе воздуха паромъ	179, 212

О.

Облака — ихъ высота	126
Облака, фотографическій методъ ихъ наблюденій	127
Облака — образованіе и разсѣваніе ихъ	212
Облака, законы сгущенія и виды облаковъ	213
Облака въ циклонахъ	285
Облачность, измѣреніе ея	124
Обсерваторіи, метеорологическія, центральныя	130
Обсерваторія Павловская въ Россіи	132
Обсерваторіи горныя	137
Обсерваторіи, установка инструментовъ въ горныхъ обсерваторіяхъ	153
Организация метеорологическихъ учреждений	164
Осадки, инструменты для измѣренія	3
Осадки, процессъ ихъ образованія	117
Осадки, лабораторные опыты для полученія ихъ	211
Осадки, колебанія количества ихъ	212
Отчеты ежемѣсячные о погодѣ	333
	6

П.

Павловская Обсерваторія	137
Павловскъ, расположеніе строеній	139
Павловскъ, личный составъ Обсерваторіи	141
Павловскъ, ежедневныя занятія	188
Пассаты	234
Пересыщеніе воздуха паромъ	179, 212
Періодическая литература	13
Потенциальная температура	194
Почва, метеорологія почвы	360
Почва, температура ея	—
Почва, влажность ея	362
Психрометръ	115

Р.

Равновѣсіе устойчивое воздушнаго слоя по Гельмгольцу	265
Равновѣсіе, нарушеніе его подъ вліяніемъ тренія и теплоты	328
Растенія, Фенологія	348
Растенія, вліяніе температуры на растенія	351
Растенія, термическія постоянныя	353
Растенія, средняя температура и ростъ растеній	356
Растенія, вліяніе на нихъ дожди	357

С.

Солнечное сіяніе, приборы для измѣренія солнечнаго сіянія	128
Синювая стадія	183
Спеціальныя сочиненія по метеорологіи	5
Стадіи воздушныя	173
Станціи метеорологическія, устройство станцій разныхъ рядовъ	4
Сухая стадія	176
Сухая стадія, потенциальная температура	194

Т.

Температуры нормальное измѣреніе	45
Температура, вертикальная циркуляція воздуха и измѣненія температуры	171
Температура потенциальная	194
Температуры вертикальный градиентъ	197
Температура, таблица распределенія воздушнаго давления и температуры, составленная Шпрунгомъ	241
Температура въ циклонахъ	283
Температура, вертикальное распределеніе ея на восточныхъ Альпахъ зимой	317
Температурныя колебанія	310
Температура, вліяніе ея на растенія	351
Температура почвы	360
Теплота, приобрѣтеніе и потеря ея при движеніи воздуха	171

<i>Термобарометръ</i>	81
<i>Термодинамика</i> атмосферы	166
<i>Термодинамика</i> , приложеніе ея къ объясненію вертикальных теченій въ фёнахъ и къ циркуляціи циклоновъ	183
<i>Термографы</i>	37
<i>Термометры</i> , исторія ихъ	21
<i>Термометры</i> , нормальные	23
<i>Термометры</i> , поправки на параллаксъ и рефракцію	27
<i>Термометры</i> , поправка шкалы и калибрація	28
<i>Термометры</i> , опредѣленіе главныхъ точекъ	29
<i>Термометры</i> , поправка на температуру шкалы	34
<i>Термометры</i> —поправка на давленіе въ шарикѣ	35
<i>Термометровъ</i> инертность	36
<i>Термометры</i> , термическое послѣдствіе и измѣненіе нуля	—
<i>Термометры</i> , ихъ установка	49
<i>Треніе</i> , общія замѣчанія относительно тренія горизонтальныхъ воздушныхъ теченій	262
<i>Треніе</i> атмосферное (Гельмгольцъ)	264
<i>Туманы</i> , ихъ образованіе	212

Ф.

<i>Фенологическія</i> наблюденія	347
<i>Фёны</i> , приложеніе термодинамики къ объясненію ихъ вертикальныхъ теченій	183

Ц.

<i>Циклоны</i> , приложеніе термодинамики къ объясненію обмѣна воздуха между циклонами и антициклонами	185
<i>Циклоны</i> , температурный градіентъ въ циклонахъ и антициклонахъ	201
<i>Циклоны</i> , образованіе ихъ	269
<i>Циклоны</i> , изслѣдователи ихъ	280, 303
<i>Циклоны</i> , воздушное давленіе и изобары въ нихъ	281
<i>Циклоны</i> , температура ихъ	283
<i>Циклоны</i> , облачность	285

<i>Циклоны</i> , осадки въ нихъ	286
<i>Циклоны</i> , направленіе вѣтровъ	289
<i>Циклоны</i> , изслѣдованія Веттина надъ измѣненіями воздуха въ циклонахъ	293
<i>Циклоны</i> , направленіе и скорость движенія ихъ	299, 313
<i>Циклоны</i> , теорія Ферреля	305
<i>Циклоны</i> , область затишья въ нихъ	311
<i>Циклоны</i> , теорія Ханна	315
<i>Циклоны</i> , попытки Бецольда пересоздать теорію ихъ	319
<i>Циклоны</i> , главные разногласія	—
<i>Циклоны</i> , изслѣдованіе центрированныхъ циклоновъ, сдѣланное Бецольдомъ	322
<i>Циклоны</i> съ холодными центрами	323
<i>Циклоны</i> , критическія скорости въ центрированныхъ циклонахъ	327
<i>Циклоны</i> , критическія поверхности въ центрированныхъ циклонахъ	—
<i>Циклоны</i> , нисходящее теченіе на большихъ высотахъ въ циклонахъ	331
<i>Циркуляція</i> , историческое обозрѣніе теорій атмосферной циркуляціи	216
<i>Циркуляція</i> , выдержки изъ теорій Ферреля общей циркуляціи атмосферы	225
<i>Циркуляція</i> , вертикальная	171
<i>Циркуляція</i> влажного воздуха	173
<i>Циркуляція</i> , графическое представленіе ея, сдѣланное Феррелемъ	244
<i>Циркуляція</i> воздуха общая, по теоріи Сименса	250
<i>Циркуляція</i> общая, по Мёллеру	252
<i>Циркуляція</i> тропическая въ описаніи Мёллера	254
<i>Циркуляція</i> атмосферы по Обербеку	257

Э.

<i>Эвапориметръ</i> —самопишущій	121
<i>Экваторіальный</i> западный вѣтеръ	234
<i>Энергія</i> , развиваемая воздухомъ на различной высотѣ	256
<i>Энтомологія</i>	368
<i>Энтронія</i> постоянная	180