

СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ И ПРЕДСКАЗАНИЕ ПОГОДЫ¹⁾.

Ч. Ф. Марвин и Г. Г. Кимболл.

ВВЕДЕНИЕ.

За последние годы во многих газетах и журналах появились статьи, иногда очень сенсационного характера, о предсказании погоды на месяцы, сезоны и даже годы. Сенсация была тем большей, что обыкновенно предсказывались страшные холода, засухи, неурожай.

Общий интерес к вопросам погоды в прошлом, настоящем и в особенности будущем настолько велик, что внимательное отношение к подобным статьям обеспечено, хотя они и встречаются недоверчиво более осведомленной частью читателей. Этим интересом и сомнениями одновременно объясняются сотни запросов в Бюро погоды по поводу его мнения о долгосрочных предсказаниях и о том, насколько рациональны основания этих предсказаний.

В этих сенсационных статьях очень часто фигурируют работы Смитсоновского Института. Мнения института, с одной стороны, и Бюро погоды с другой относительно важных научных вопросов изображаются как находящиеся в непримиримом противоречии. При этом читателям внушается, что долгосрочные предсказания Института основываются на наблюдениях интенсивности солнечной радиации, производимых в его астрофизической обсерватории. Нижеследующая цитата из последнего годичного отчета директора этой обсерватории вполне выясняет действительное отношение Смитсоновского Института к вопросу о предсказании погоды²⁾: „Смитсоновский Институт не публиковал и не будет публиковать никаких предсказаний. Наша единственная цель теперь, как и прежде, производить опыты, которые могли бы выяснить, имеет ли значение и какое именно введение в предсказания погоды новой переменной, именно вариации солнца. Наши пред-

¹⁾ Journal of the Franklin Institute, 202, 273, 1926. C. F. Marvin — директор бюро погоды С.-А. С. Ш. Н. Н. Kimball — заведующий исследованиями солнечной радиации того же бюро. *Ред.*

²⁾ Smithsonian Institution «Report on the Astrophysical Observatory». Annual Report, Appendix 7, p. 102, 1925.

сказания делаются в частном порядке и только для проверки заключений, полученных из опыта.

„К несчастью, журналы не поняли этого и приписывали Смитсоновскому Институту долгосрочные предсказания. В действительности такие предсказания делались несколькими частными лицами, не связанными с Институтом. Мы не берем на себя ответственности за эти предсказания, так как нам неизвестен метод, по которому это можно было бы сделать“.

Бюро погоды часто давало похвальные отзывы о фундаментальных исследованиях д-ра Аббота в области чрезвычайно трудной задачи оценки постоянной солнечной радиации. При всякой возможности Бюро оказывало ему свою помощь и сотрудничество не потому, что надеялось из этих наблюдений получить пользу для коротких или долгосрочных предсказаний, но в виду огромной важности исследований Аббота в области чистой науки. Разумеется, мы должны знать все, что только возможно, о солнце, и, конечно, знание количественной величины полной тепловой энергии имеет величайшее значение. Определения Аббота колеблются еще настолько, что их нельзя считать окончательными, однако точность их непрерывно возрастает, и по своему характеру и согласованности они не превзойдены никакими другими подобными наблюдениями.

После этих вводных замечаний мы переходим к изложению измерений Аббота и попытаемся вывести заключения о значении их для предсказания погоды.

ПИРГЕЛИОМЕТРЫ.

Пиргелиометр — основной прибор при всех измерениях интенсивности общей солнечной энергии, проходящей через атмосферу к месту наблюдения. Имеется несколько типов

этого прибора. Пиргелиометр Марвина (рис. 1) по существу — термометр с изменяющимся электрическим сопротивлением. В серебряную оправу, размерами около доллара, вставлена неиндуктивно намотанная дискообразная катушка изолированной никелевой проволоки. Оправа с фронтальной стороны зачернена и помещена на изолирующий шар (рис. 2) и закрыта трубкой с диафрагмой: оправа с шаром и труб-

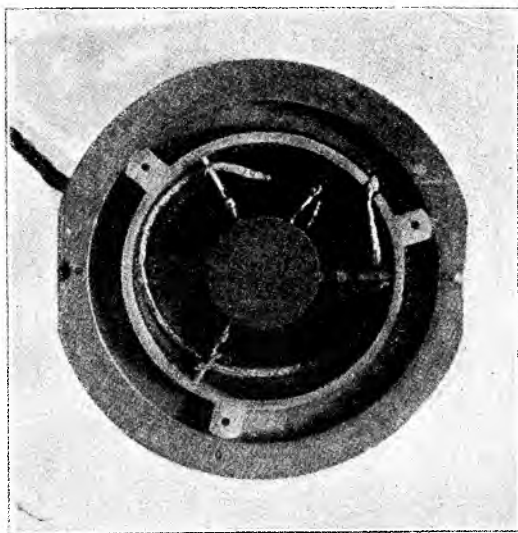


Рис. 1. Поперечное сечение пиргелиометра Марвина.

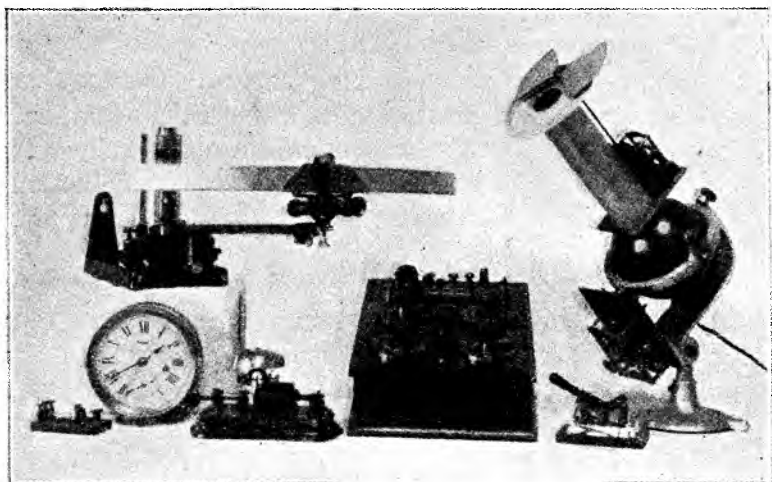


Рис. 2. Пиргелиометр Марвина с принадлежностями.

кой направляется к солнцу часовым экваториальным механизмом. При помощи особых часов и затвора, оправа с катушкой попеременно на несколько минут может закрываться или открываться для солнечной радиации. Благодаря тщательной калибровке проволоки изменения ее сопротивления при освещении или затенении, измеряемые мостиком Уитстона, могут быть выражены в величинах интенсивности радиации. Часы с сигналом отмечают те времена, в которые надо производить измерения мостиком.

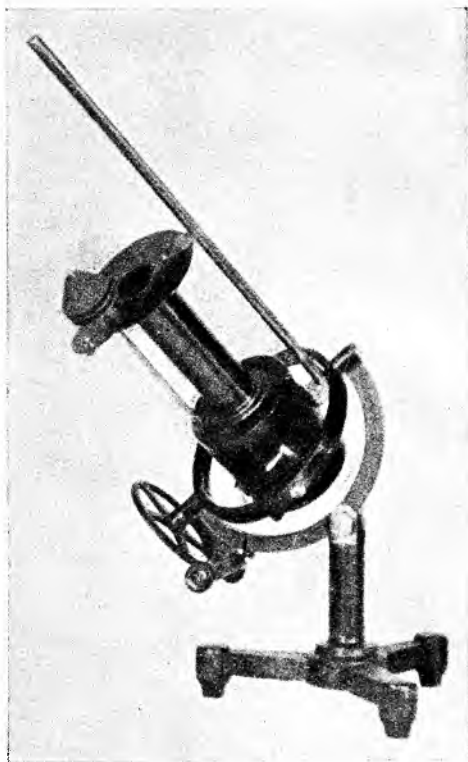


Рис. 3. Пиргелиометр Смитсоновского Института.

В смитсоновском пиргелиометре (рис. 3) имеется также серебряная оправа на деревянной основе, находящаяся на нижнем конце трубки с диафрагмой. Но нагревание и охлаждение измеряются здесь ртутным термометром с согнутой трубкой, шарик которого помещен с одной стороны серебряной оправы.

Другого типа электрический компенсационный пиргелиометр Ангстрема (рис. 4). К двум

тонким металлическим полоскам прикреплены сзади (изолированно) термо-электрические пары из меди и константана. Передние стороны полосок зачернены. Одна полоска нагревается солнечными лучами (рис. 5). Через другую пропускается электрический ток такой силы, что гальванометр, соединенный с термоэлементами, показывает температурное равновесие между двумя полосками. Зная площадь и сопротивление полосок, можно по амперажу компенсирующего тока отсчитывать интенсивность солнечной радиации.

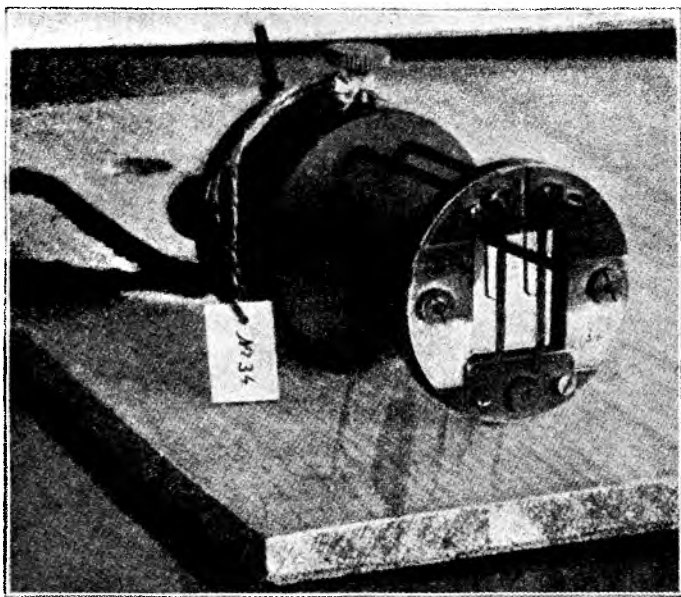


Рис. 4. Пиргелиометр А н г с т р о м а; термо-элементы.

В записывающем пиргелиометре Горчиньского применяется ряд термо-пар из спаянных полосок манганина и константана. Свободные концы их подходят к толстым проволокам, соединенным с медными пластинками. Полоски по всей длине подвергаются радиации, а концы, соединенные с толстой проволокой, охлаждаются вследствие теплопроводности.

В термо-электрическом пиргелиометре Бюро погоды (рис. 7) использован тот же принцип за исключением того, что один из спаев каждой пары присоединен к кольцу, фронтальная поверхность которого зачерчена, а другой спай к кольцу, окрашенному в белый цвет. Этот прибор помещается в нижнем конце трубки с диафрагмой так же, как в трубках пиргелиометров Марвина и Горчиньского, или он находится под стеклянным колпаком (рис. 8). В этом последнем случае он регистрирует полную радиацию, получаемую на горизонтальной поверхности как от солнца, так и от неба.

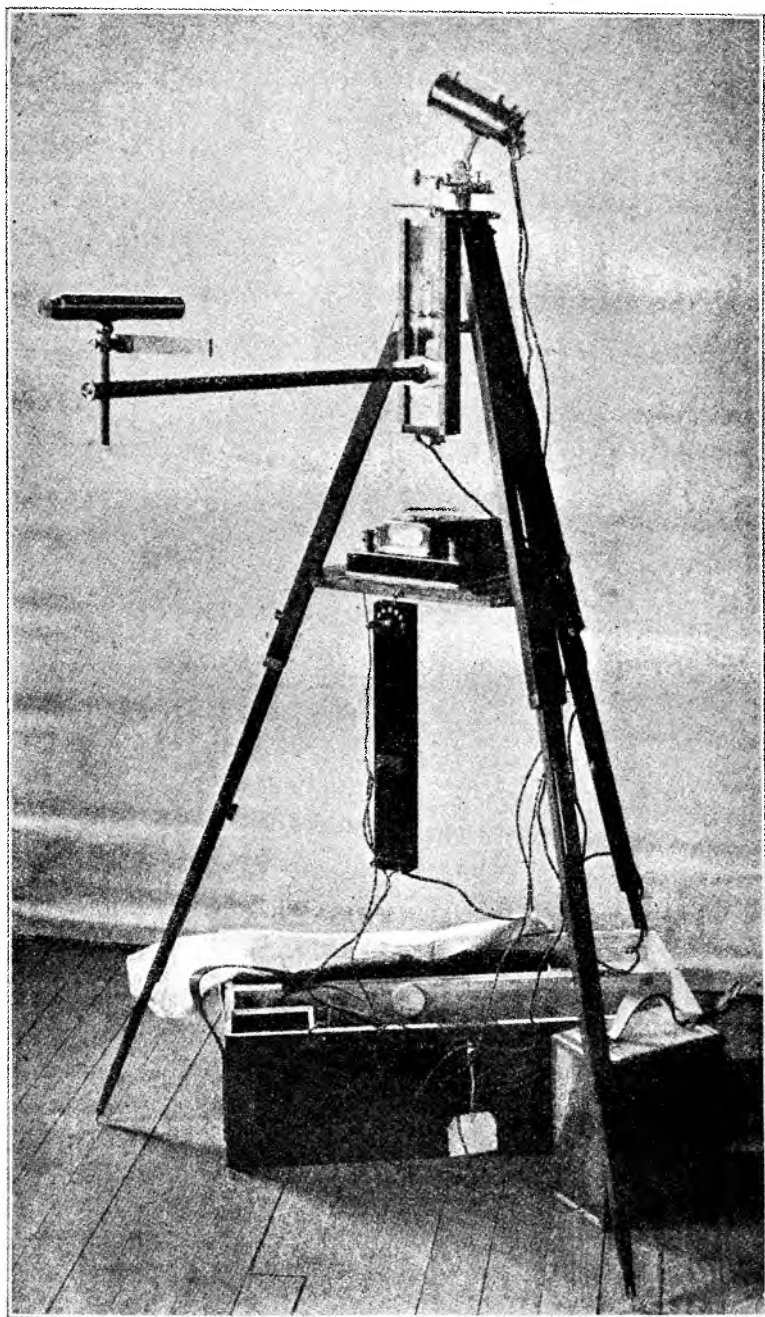


Рис. 5. Пиргелиометр Ангстрема и принадлежности.

Пиргелиометры Смитсоновского Института и Бюро погоды сравнивались друг с другом и переводные факторы их выражены таким образом, что показания обоих приборов согласуются со шкалой

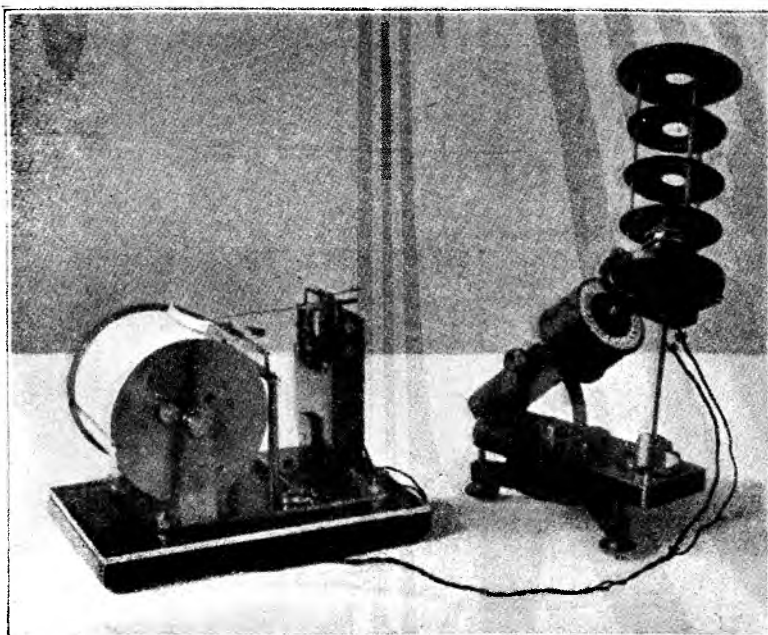


Рис. 6. Пиргелиометры Горчиньского с регистрирующим прибором.

„Пересмотренной Смитсоновской пиргелиометрии 1913 г.“¹⁾). Сравнение показало, что отчеты на приборе Ангстрема на 3,3% меньше, чем у смитсоновского стандарта²⁾). Ангстром приписывает 1,8% кон-

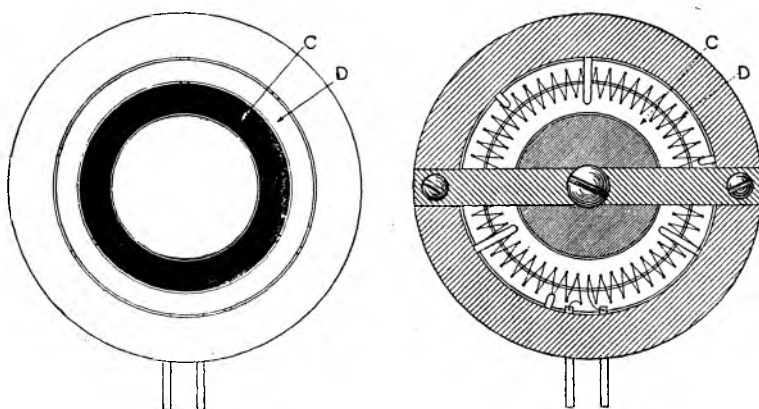


Рис. 7. Термо-электрический пиргелиометр Бюро погоды.

структивным недостаткам прибора, но остающаяся разница в 1,5% требует, по его мнению, выяснения.

¹⁾ Abbot, C. G. и другие Ann. Astrophys. Obs. 3, 71, 1913.

²⁾ Angström, Monthly Weather Rev. 47, 798, 1919.

ПРОЗРАЧНОСТЬ АТМОСФЕРЫ.

Атмосфера одновременно и поглощает и рассеивает солнечные лучи при прохождении их к земной поверхности. Получающееся в итоге ослабление лучей зависит главным образом от высоты места наблюдения над уровнем моря и от зенитного расстояния солнца. Оно меньше

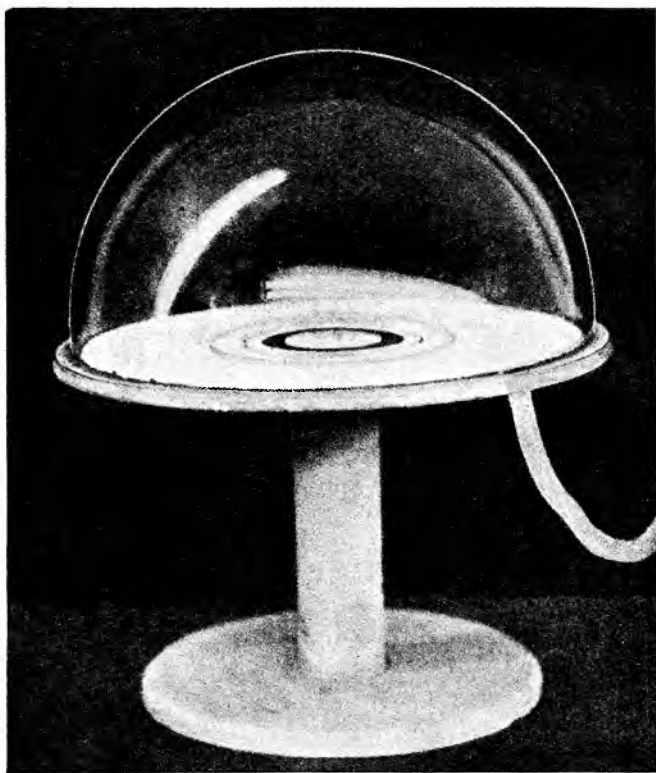


Рис. 8. Термо-электрический пиргелиометр Бюро погоды под стеклянным колпаком.

на горах, чем в долинах, и меньше в полдень, чем ранним утром или поздним вечером. Мы называем длину пути солнечных лучей в атмосфере „воздушной массой“. При положении солнца в зените (рис. 9) воздушная масса полагается равной единице. Для различных положений солнца воздушная масса приблизительно равна секансу зенитного расстояния. Так, например, при зенитном расстоянии солнца в 60° воздушная масса будет 2,0, для зенитного расстояния $70,7^\circ$ она равна 3,0.

Для монохроматического излучения уравнение для интенсивности пропускаемой атмосферой будет: $I = I_0 a^m$, где I_0 интенсивность вне атмосферы, a — коэффициент атмосферной пропускаемости для воздушной массы = 1,0, т.-е. при солнце в зените, m — воздушная масса,

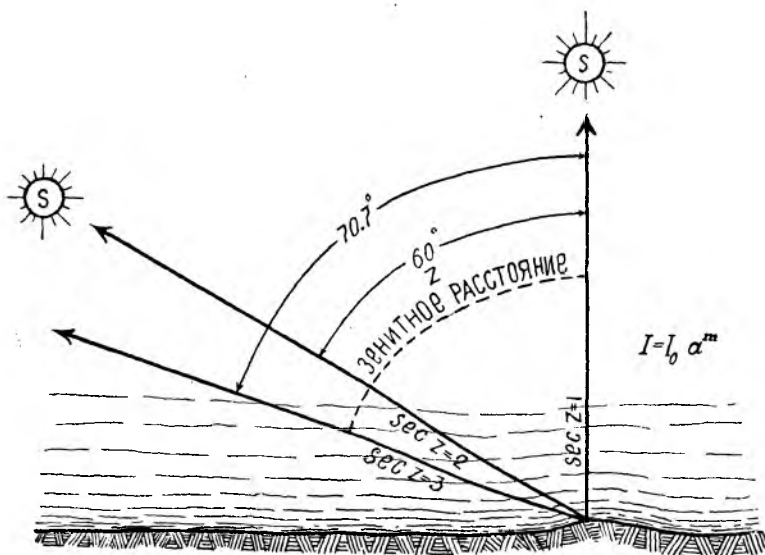


Рис. 9. Изменение «воздушной массы» в различные времена дня, $m = \sec z$.

I — интенсивность в месте наблюдения. Прологарифмировав написанное уравнение, получаем $\log I = \log I_0 + m \log \alpha$, уравнение прямой

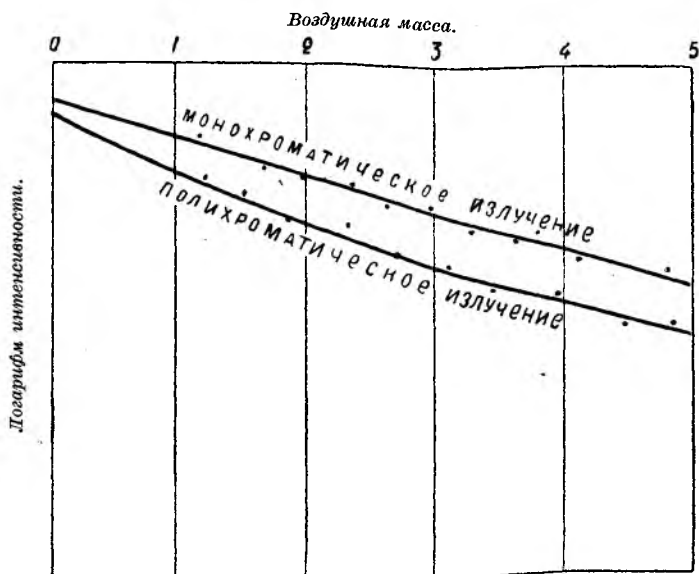


Рис. 10. Логарифмы монохроматической радиации (верхняя кривая) и общей (нижняя кривая), отнесенные к воздушным массам.

линии. Откладывая по оси ординат логарифмы интенсивности монохроматического излучения для разных зенитных расстояний, а по оси абсцисс соответствующие воздушные массы, мы должны получить пря-

мую линию (рис. 10). Значение ординаты при воздушной массе, равной нулю, дает интенсивность вне атмосферы.

В действительности солнечная радиация состоит из всевозможных цветов; лучи с короткими длинами волн на фиолетовом конце спектра ослабляются на много сильнее, чем инфра-красные лучи. В результате, откладывая логарифмы пиргелиометрических измерений солнечной тепловой энергии, мы находим, что они располагаются по кривой линии (рис. 10), уравнение которой настолько сложно, что практически неопределимо.

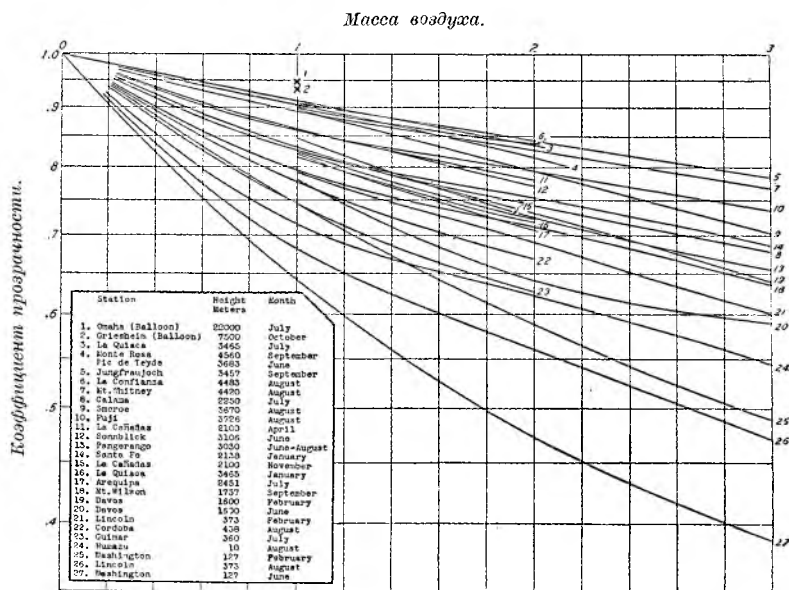


Рис. 11. Коэффициенты пропускаемости атмосферы на разных высотах. В первом столбце таблицы указаны названия станций, во втором их высоты в м, в третьем — месяцы наблюдения.

На рис. 11 вместо того, чтобы откладывать логарифмы интенсивности, измеряемой пиргелиометром, мы отложили самые интенсивности, как ординаты на полу-логарифмической бумаге. Ординаты приведены к шкале, в которой солнечная постоянная положена равной 1 (переводный фактор $\frac{1}{1,937}$, при чем интенсивности выражены в малых калориях в минуту на см^2).

Посредством экстраполяции или интерполяции измеренных величин (ср. рис. 10) были получены интенсивности для воздушных масс 1, 2 и 3 (если возможно), приведенные к смитсоновской пиргелиометрической шкале и к среднему расстоянию между землею и солнцем. Затем были проведены линии, соединяющие интенсивности для каждой станции со значением при воздушной массе, равной нулю. Нумерация кривых на рис. 11 относится к таблице в левом нижнем его углу.

На некоторых горных станциях наблюдения возможны только в течение нескольких дней, на низменных станциях в некоторых случаях мы имеем наблюдения за несколько лет. В средние значения, нанесенные на рис. 11, включены как дополуденные, так и послеполуденные наблюдения на низменных станциях и на горных; в летнее время среднее значение интенсивностей меньше после полудня, чем до полудня. Ординаты кривых для воздушной массы 1, дают коэффициенты пропускания a для данной станции. Так, для точек № 1, полученных на воздушном шаре (22 000 м), $a=0,95$, для точки № 2 (привязной баллон высота 7500 м), $a=0,93$. Для станций 3, 4, 5, 6, 7, нахо-



Рис. 12. Обсерватория на Монте Роза (Италия).

дящихся на высоте от 4560 до 3460 м, значение a меняется от 0,91 до 0,89. В Вашингтоне (высота 127 м) a в феврале 0,74 и в июне 0,64. Следует заметить, что на низменных станциях кривизна линий ясно выражена, на горных — линии почти прямые.

При положении солнца в зените ослабление, вызванное рассеянием и поглощением, равно $1 - a$. Интересно отметить, что при одновременных наблюдениях на вершине Фуйи (Япония, высота 3726 м) $1 - a = 14\%$, а в Нумазу (10 м над уровнем моря) 28% . На острове Тенериффе на пико де Теиде (3683 м), на Альта Виета (3252 м), в Ля Капальи (2100 м) и Гуимаре (360 м) значения $1 - a$ соответственно равны 10, 11, 14 и 25% . Превосходство измерений радиации на горных станциях очевидно.

На рис. 12 изображен вид обсерватории на Монте Роза в снежных Итальянских Альпах на высоте 4560 м. Рис. 13 — вид астрофизической обсерватории Смитсоновского Института на пустынной Моунт Монтецума (Чили, 2900 м).

Чтобы суммировать пиргелиометрические измерения, средние месячные значения из всех имеющихся рядов наблюдений, простирающихся



Рис. 13. Астрофизическая обсерватория Смитсоновского Института, Моунт Монтецума, Чили.

на значительное число лет, выражены в процентах месячных нормалей. Результаты за каждый месяц для всех рядов комбинированы затем в виде обычных средних значений, сглажены формулой $\frac{a + 2b + c}{4}$ и затем нанесены в виде кривых рис. 14. На кривых резко заметна депрессия, вызванная извержением Крататоя, в 1883, многочисленными извержениями в 1890 г., извержениями Мон Целё и других вулканов в Мексике и Центральной Америке в 1902 г. и Катмаи в 1912 г. Изменения кривых вызваны в этих случаях вариацией пропускаемости атмосферы. К несчастью, в течение длинного срока пиргелиометрических измерений, они производились на относительно низко расположенных станциях.

СПЕКТРО-БОЛОМЕТРИЧЕСКИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ПОСТОЯННОЙ.

Болометр — чрезвычайно чувствительный прибор для измерения нагревания, основанный, подобно пиргелиометру Марвина, на прин-

ципе мостика Уитсона. Солнечный свет отражается зеркалом через узкую щель в спектроскопе. Последний вращается таким образом, что узкие полосы солнечного спектра последовательно попадают на очень тонкие и узкие полосы термо-элементов болометра. Свет, отражаемый зеркалом гальванометра, записывает фотографически относительную интенсивность тепла в различных частях спектра.

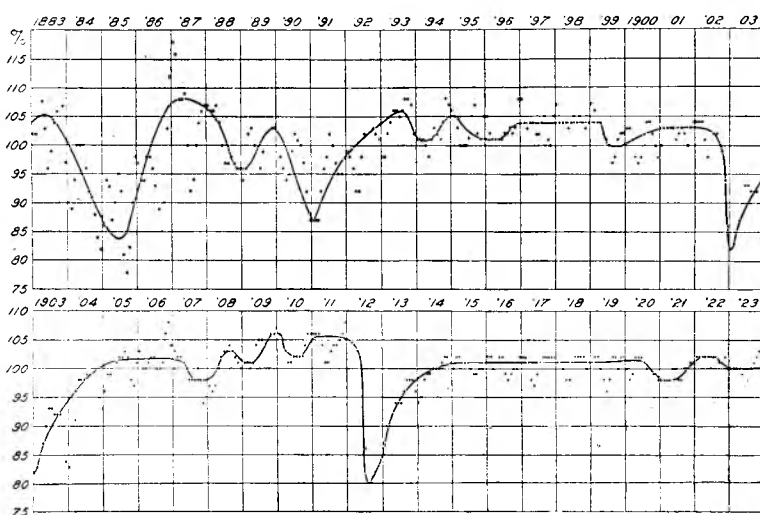


Рис. 14. Месячные средние пиргелиметрических измерений, в процентах месячных нормалей.

Рис. 15 — копия спектроболометрической кривой энергии, полученной Смитсоновским Институтом на его обсерватории на Моунт Вильсон в Калифорнии в сентябре 1912 г.¹⁾ Количество энергии, доходящей до болометра, регулируется системой вращающихся секторов перед щелью спектроскопа. Интенсивность ультра-фиолетового конца спектра изучена в действительности на значительно большем протяжении спектра, чем может показаться из рисунка. В состав оптической системы, применяющейся на Моунт Вильсон, входят целостат с посеребрёнными зеркалами и призма из увиолевого стекла. С этой системой практически трудно измерять ультра-фиолетовую радиацию с волнами меньше $0,34 \mu$; за пределами $0,35 \mu$ измерения становятся очень неточными. С более совершенной оптической системой Аббот мог довести свои измерения на Моунт Вильсон до $0,29 \mu$.

Смитсоновские наблюдатели получают от 6 до 8 болограмм за период в пол дня; измеряются интенсивности (ординаты) для различных волн и посредством прямолинейной экстраполяции их логарифмов находится с большим приближением относительная интенсивность

¹⁾ Abbot, C. G и др. Ann. Astrophys. Obs. 3, 22, 1913.

для „нулевой воздушной массы“. По этим данным можно определить относительную площадь, замыкаемую такой вычисленной болограммой для нулевой воздушной массы. Действительные болограммы дают значения для различных воздушных масс. Одновременно со спектроболометрическими измерениями производятся измерения пиргелиометром для того, чтобы выразить площади в абсолютных единицах. Отсюда ясно, что пиргелиометрические отсчеты являются основными для определения интенсивности радиации при нулевой массе, т.-е. так называемой солнечной постоянной.

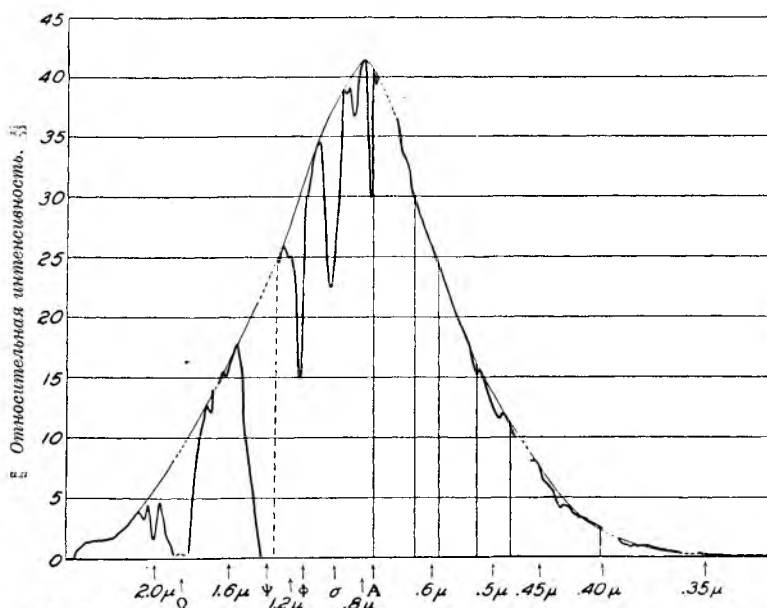


Рис. 15. Смитсоновская спектроболометрическая кривая солнечной энергии.

Болометрический метод, теоретически безукоризненный, связан с двумя серьезными затруднениями. Во-первых, он сложен и требует многих поправок на ослабление солнечной энергии в самом приборе, которые трудно определяют. Во-вторых, он предполагает, что пропускаемость атмосферы для всех длин волн постоянна в течение нескольких часов, требующихся для наблюдения. Это предположение, однако, почти никогда не выполняется.

Короткий метод определения солнечной постоянной.

Чтобы обойти эти затруднения, Смитсоновский Институт в 1920 г. разработал более короткий метод¹⁾. При помощи пиранометра (одна из форм термоэлектрического пиргелиометра) измеряется яркость небесного свода в узком кольце вокруг солнца, одновременно произво-

¹⁾ Abbot и др. Ann. Astrophys. Obs. 4, 79, 1922.

дятся измерения полос поглощения водяного пара по спектроболометрической кривой энергии. Характер этих полос тесно связан с количеством водяного пара в атмосфере. За половину дня могут быть сделаны несколько определений яркости неба, но болограммы, вообще говоря, достаточно и одной. Одновременные болометрические и пиранометрические измерения используются для определения отношения между ними. При помощи так называемых эмпирических функций одна болограмма и 3—4 комбинированных отсчета пирано-

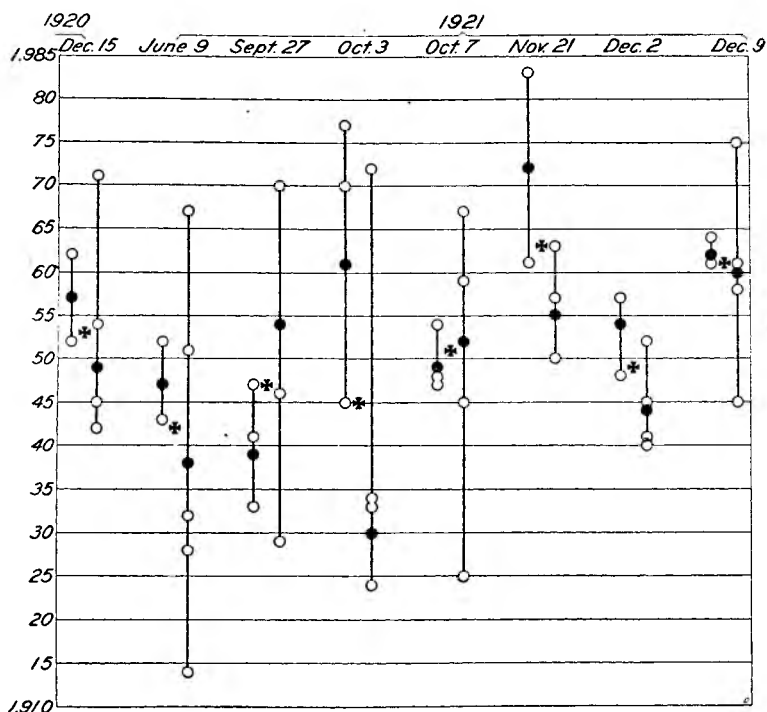


Рис. 16. Индивидуальные и средние значения определений солнечной постоянной.

метра пиргелиометра позволяют определить солнечную постоянную для каждой пары отсчетов. Эмпирические функции находятся независимо для каждой станции наблюдения.

Для иллюстрации метода определения средней солнечной постоянной за день мы выбрали отдельные пиранометрические определения Аббота¹⁾ за несколько дней. Они показаны на рис. 16. Каждой дате соответствуют два ряда наблюдений, слева на Гарква Гала (Harqua Hala), справа на Монтезума. Белые кружочки обозначают индивидуальные определения, черные — средние значения для данной станции; они получены из индивидуальных наблюдений, при чем последним припи-

¹⁾ Abbot и его сотрудники „Значения солнечной постоянной за 1920 — 1922 г. Monthly Weather Rev. 51, 71, 1923.

сываются соответствующие веса. Крестики обозначают средние значения за день по данным обеих станций. Очевидно, что значение для данного дня зависит как от числа станций, так и от числа определений на каждой станции. Отсюда понятно, почему Аббот так стремится устроить еще 1—2 добавочных обсерватории.

Изменяемость значений солнечной постоянной.

Определения солнечной постоянной не составляют исключения из общего правила наличия флуктуаций в научных измерениях всякого рода. Они вызываются неизбежными ошибками. Другие причины могут, или не могут производить флуктуаций, но флуктуаций, вызываемых ошибками, избежать нельзя. Строгий статистический анализ последовательных изменений (обыкновенно изо дня в день) в более чем 3000 значениях солнечной постоянной показывает, что по мере улучшения приборов, методов и условий наблюдения, эти изменения непрерывно уменьшаются.

Вероятные вариации при первоначальных измерениях в Вашингтоне и на Моунт Вильсон достигали $\pm 3,0\%$. В последних измерениях вариации только около $\pm 1,3\%$ за исключением 1912 г., когда они достигли $\pm 2,2\%$ вследствие деятельности вулкана Катмаи. На станции Калама в Чили в 1918—1919 (болометрический метод) вариации уменьшились до $\pm 0,9\%$. С тех пор, как введен новый, упрощенный метод определения, вариации опустились до $\pm 0,5\%$ ¹⁾. На рис. 17 ясно видно, как стали убывать вариации после того, как в 1919 г. был введен упрощенный метод. Дальнейшее уменьшение вариаций начинается с октября 1920 г., после того, как стали комбинироваться наблюдения от двух станций. Уменьшение вариаций заметно также между ноябрем 1921 и сентябрем 1922 г.

Теперь нам надо составить совершенно отчетливое представление о значении этих $\pm 0,5\%$ вероятной изменчивости. Предположим, что мы выводим значение солнечной постоянной на основании наблюдений в течение 1000 дней, одинаково благоприятных для наблюдений, и вычисляем, насколько каждая отдельная цифра отличается от среднего значения всех величин. В общем все отклонения очень малы; небольшие вариации могут достигать $\pm 2\%$; однако, примерно, половина всех величин отличается меньше, чем на $\pm 0,5\%$ от среднего; частота

¹⁾ Вероятное „рассеяние“, вызываемое всеми причинами, включая инструментальные ошибки наблюдения и изменчивость солнца, определялись хорошо известным уравнением:

$$e = \frac{0,6745}{E_0} \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} = \frac{0,6745}{E_0} \sigma$$

здесь E_0 — среднее значение солнечной постоянной и σ — нормальное отклонение от среднего значения.

распределения этих вариаций при этом очень точно выражается гауссовской кривой.

Такой характер получающихся величин может считаться очень точным; флуктуации малы и относительно незначительны. Они распределяются по закону случайностей. Вышеизложенное является фактом, относительно которого не может быть существенного различия мнений.

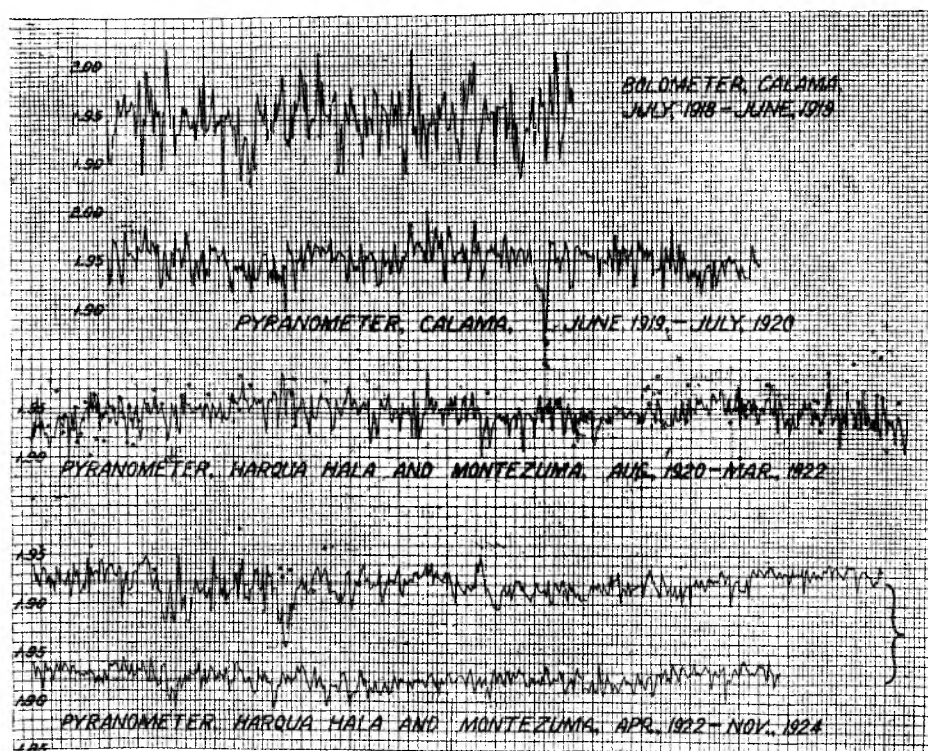


Рис. 17. Значения солнечной постоянной 1918—1924 г.

Но, помимо этого, все согласны в том, что часть флуктуаций, не объясняемая ошибками наблюдений, может вызываться либо полностью изменчивостью атмосферы, либо сочетанием атмосферной плюс солнечной изменчивости.

Влияние ошибок определения на изменчивость солнечной постоянной.

Теперь мы рассмотрим значения солнечной постоянной, чтобы решить, насколько возможно, какую долю ее изменчивости можно приписать солнечным вариациям и какую — ошибкам определения. Если бы изменение было только солнечного происхождения, не было бы инструментальных ошибок и ошибок наблюдения и прозрачность атмосферы

оставалась неизменной, то линии экстраполяции к нулевой воздушной массе должны были бы идти параллельно и точно указывать

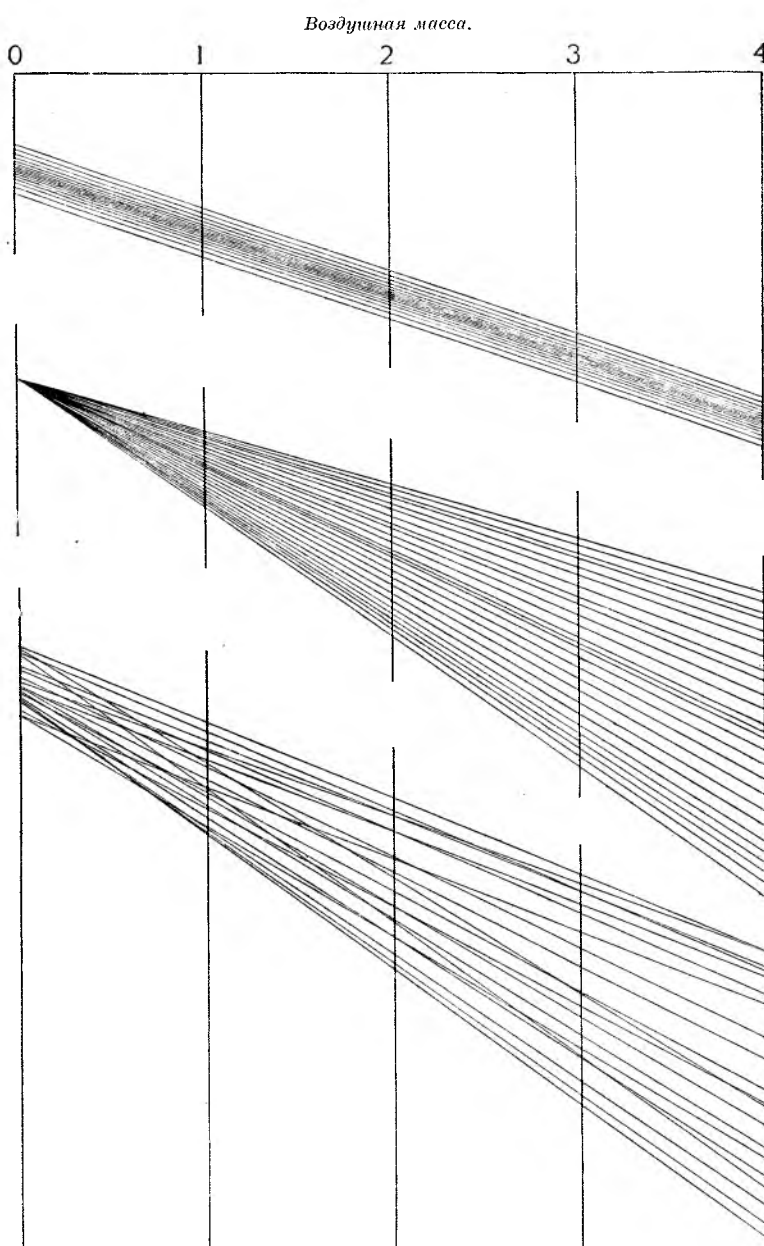


Рис. 18. Рассеяние монохроматических линий экстраполяции при наличии разных причин.

изменчивость солнца (верхняя часть рис. 18). С другой стороны, если бы солнечная радиация была постоянной и не было ошибок наблюдения и инструментальных, то, при изменении пропускательной

способности атмосферы, линии экстраполяции к нулевой воздушной массе должны бы встречаться в одной точке (средняя часть рис. 18); наконец, сочетание солнечной изменчивости с вариациями пропускаемости атмосферы дали бы рассеяние линий экстраполяции, подобное изображенному в нижней части рис. 18. Ошибки наблюдения, которые надо учитывать кроме солнечных и атмосферных

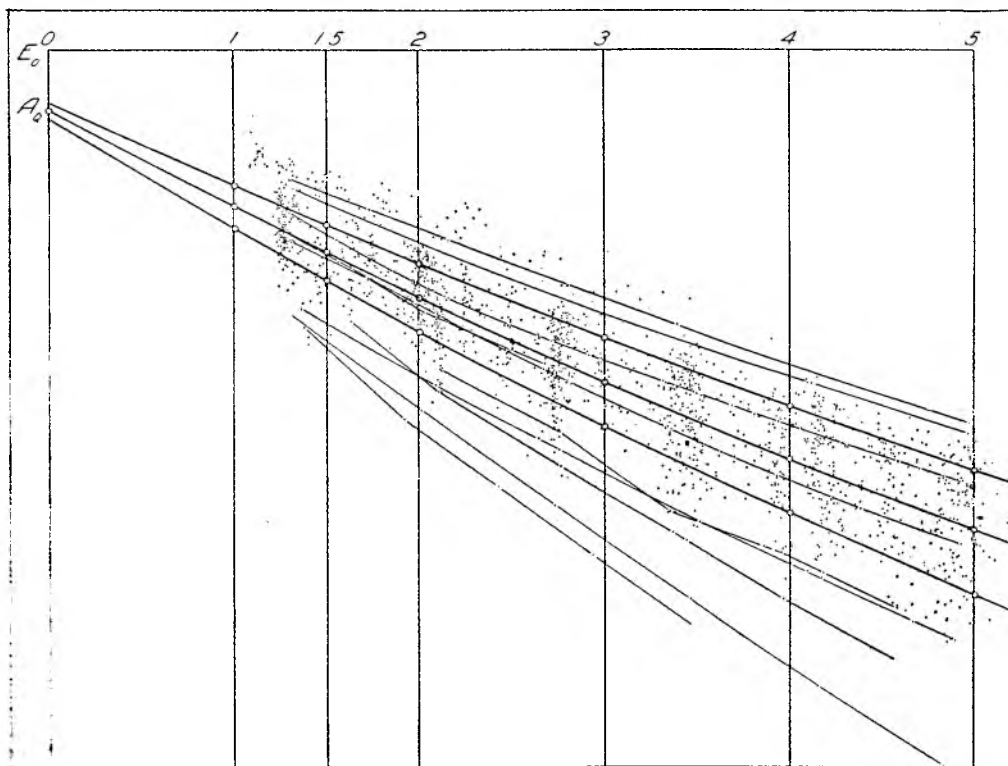


Рис. 19. Рассеяние пиргелиметрических наблюдений в Каламе.

изменений, вызовут в свою очередь рассеяние, подобное изображенному в нижней части рис. 18. Таким образом по рассеянию экстраполированных величин нельзя сказать, является ли основной причиной изменчивость солнца, атмосферы или ошибки наблюдения.

Эти замечания относятся, строго говоря, к монохроматической радиации, но они приблизительно верны и в отношении суммарного света. На рис. 19 можно видеть характер экстраполяционных линий пиргелиметрических наблюдений астрофизической обсерватории Смит-Розовского Института (Калама, Чили). В этих линиях имеются некоторые или даже все три источника вариаций, рассмотренные выше. Ломаные линии соединяют наблюдения за один день. Центральная плавная линия экстраполирует к нулевой массе средние значения для

воздушных масс от 1 до 5, две другие плавные линии экстраполируют среднее значение величины выше и ниже центральной линии¹⁾; имеются различные методы для приближенного суждения о том, какая часть рассеяния вызывается ошибками наблюдений и инструментов. Так, Аббот оценивает вероятную ошибку их пиргелиометрических отсчетов на Монтецума (Чили) в $\pm 0,14\%$ ²⁾, ошибку определения солнечной постоянной на одной станции в $\pm 0,335\%$ и ошибку определения, основанную на наблюдениях двух станций, в $\pm 0,237\%$ ³⁾.

На рис. 20 дана точная диаграмма 299 синхронных определений солнечной постоянной на Моунт Монтецума (Чили) и Гарква Гала

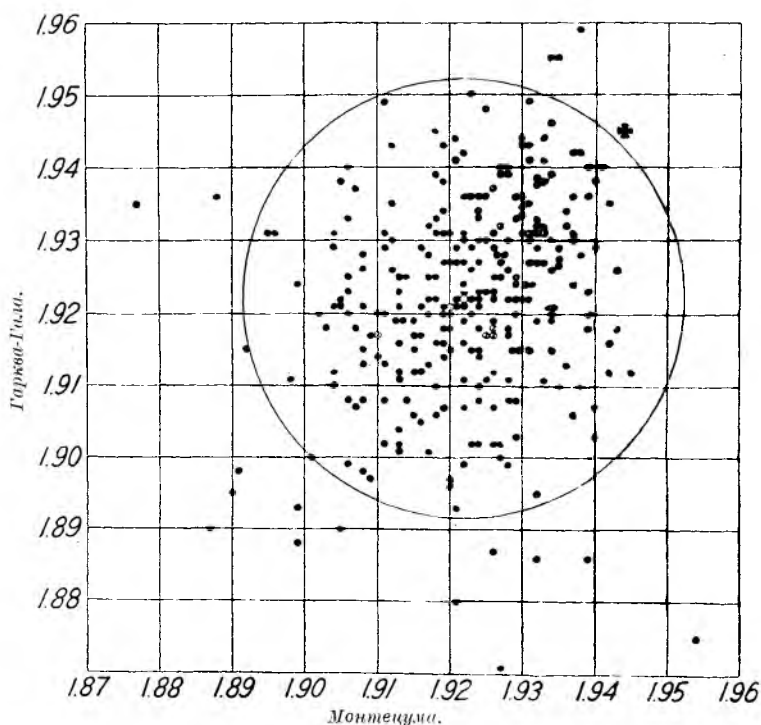


Рис. 20. Синхронные определения солнечной постоянной на Гарква Гала и Монтецума.

(Аризона) между апрелем 1922 г. и ноябрем 1924 г.⁴⁾ Для определения коэффициентов корреляции этих синхронных величин, они были раз-

¹⁾ Экстраполяция произведена при помощи квадратного уравнения $y = y_0 + bt + ct^2$, где y и y_0 — логарифмы интенсивности радиации при воздушной массе m , а a , b и c — члены, определяющие прозрачность атмосферы; они могут быть получены из ряда наблюдений по методу наименьших квадратов.

²⁾ Abbot, C. G. и др. Ann. Astrophys. Obs. 4, 162, 1922.

³⁾ Abbot, C. G. и сотрудники „Солнечная изменчивость и предсказание погоды“, Smithsonian Misc. Coll. 77, № 5, p. 16, 1925.

⁴⁾ Abbot, C. G. и сотрудники. Smithsonian Misc. Coll. 77, № 3, 1925.

делены на две группы, одна в 106 значений (от апреля 1922 г. до июля 1923 г.), другая в 193 значения (август 1923 — ноябрь 1924 г.). Для первой группы найденные коэффициенты корреляции $+0,18 \pm 0,063$ для второй $+0,17 \pm 0,045$. Мало вероятности, что вариации солнечной постоянной изо дня в день, полученные на этих двух станциях, имеют общую причину. Более того, Аббот¹⁾ находит, что средняя разность между Чили и Аризоной около 0,5%. „Это значит, — говорит он, — что в некоторые дни наша оценка условий солнечной радиации может быть ошибочной до 1%“. На основании изложенного мы заключаем, что наблюдаемая изменчивость покрывается ошибками определения.

Изменчивость солнечной постоянной и предсказание погоды.

Большой вопрос, связанный с солнечной радиацией и предсказанием погоды, ожидающий научного ответа, заключается в следующем. Могут ли кажущиеся флуктуации общей солнечной тепловой энергии, достигающие по наиболее точным измерениям менее 0,5%, служить научной базой для предсказания погоды на короткие или долгие сроки?

Г. Клайтон, опытный предсказатель²⁾, держится крайнего утвердительного взгляда по этому вопросу. Он формулирует свое мнение так: „1) Если бы не было вариаций солнечного излучения, то атмосферные движения должны бы стать стационарными, происходил бы обмен воздуха между экватором и полюсом и между океаном и сушей; единственные изменения вызывались бы только суточным и годичным движением земли относительно солнца. 2) Существующие ненормальные изменения, которые мы называем „погодой“, происходят главным образом вследствие изменения солнечной радиации“. Аббот³⁾ толкует это следующим образом: „Все, что мы называем погодой — символом изменчивости в отличие от климата, постоянно при средних условиях, в действительности вызывается солнечными изменениями“. Такие взгляды находятся в сильном противоречии с воззрениями Бьеркнеса о полярном фронте⁴⁾ и взглядами Шоу о механизме атмосферных течений⁵⁾, основанными на чисто термодинамических и гидродинамических принципах.

Мы процитируем также следующее заявление Смитсоновского Института, данное прессе 9 декабря 1925: „Ничто так не убеждает в открытии, как способность предсказывать. Г. Клайтон (бывший главный предсказатель аргентинской метеорологической службы) предпринял предсказания максимальных температур для Нью-Йорка, осно-

¹⁾ Abbot, C. G. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 52, 1, 1926.

²⁾ Clayton, H. Helm Smithsonian Misc. Coll. 71, № 3, p. 49, 1920.

³⁾ Abbot. Nat. Geog. Mag. 49, 112, 1926.

⁴⁾ Bjerknes, V. Monthly Weather Rev. 49, 1, 1921; 47, 90, 1919.

⁵⁾ Sir Napier Shaw „The air and its ways“, p. 150, 1923.

ванные на смитсоновских значениях солнечной постоянной, получаемых ежедневно от двух станций в Чили и Калифорнии, подобно тому, как ранее им это было сделано для Буэнос-Айреса. Г. Клайтон получал сведения спустя 24 часа после солнечных наблюдений и предсказывал на 3, 4, 5 и 27 дней вперед, отправляя свои предсказания в тот же день вечером в Смитсоновский Институт.

После того, как такие предсказания были накоплены за год, они были сравнены Смитсоновским Институтом с действительными максимальными температурами в Нью-Йорке, публикуемыми Бюро Погоды. Предсказания на 27 дней не показали ничего, но все остальные ясно указывали правильность предсказаний. Эти результаты, разумеется, предварительные. По многим причинам совпадения не могут быть очень хорошими.

Ясно вытекает только следующее: 1) Имеются действительные предсказания условий погоды. Они основаны на новом элементе, солнечной вариации, которая, за исключением Аргентины, не принималась во внимание ни в одном метеорологическом бюро мира. 2) Точность, уже теперь достигнутая, достаточна для того, чтобы считать предсказания г. Клайтона на следующую неделю или месяц более чем простой догадкой¹⁾.

К сожалению, публикация таких заявлений и основанных на них газетных сообщений привела к серьезным недоразумениям в широких кругах. Непосвященному позволительно вывести отсюда, что некоторое согласие предсказаний доказывает связь между температурой в Нью-Йорке и значениями солнечной постоянной, выведенными на 3, 4 и 5 дней вперед. Между тем вывод этот не совсем верен, как можно судить по следующему собственному печатному заявлению г. Клайтона¹⁾:

„Прежде всего трех- и пятидневные предсказания в значительной мере были основаны на соотношениях, изображенных на рис. 2 и 3, далее они сверялись с непосредственными наблюдениями солнца и соотношениями, показанными на рис. 38 и 39. Кроме того, использовались телеграммы о максимальных температурах в Ситтле, Виллистоне и Чикаго, для того, чтобы удостовериться, насколько температуры этих станций соответствуют солнечным изменениям“. Г. Клайтон говорил лично членам Бюро Погоды, что его предсказания от 3 до 27 дней вперед делались не только по значениям солнечной постоянной: он пользовался всем своим прошлым опытом по предсказанию на основании метеорологических карт, а также знаниями общего характера погоды в С.-Ш. за данный период.

Недавно один из профессиональных предсказателей в Бюро Погоды рассчитал обратно максимальные температуры для Нью-Йорка на три дня вперед для периода клайтоновских предсказаний (1 декабря

¹⁾ Clayton, H. Helm Smithsonian Misc. Coll. 77, 56, № 6.

1923 г.—30 ноября 1924 г.). При этом производилось только поверхностное рассмотрение метеорологических карт. Для определения и выписывания вероятных температур на целый месяц давалось только 6—7 минут, в среднем на 5 цифр приходилось около минуты. Затем были определены расхождения предсказанных температур от нормальных и предсказания были классифицированы по методу, применяемому г. Клайтоном.

Получилось согласие, примерно, такое же, и у Клайтона. Английский метеоролог Уиппл¹⁾ следующим образом отзывается о предсказаниях Клайтона: „Еще не делалось попыток проверить, не могут ли результаты Клайтона быть приписанными случайности, но общий ход графиков Клайтона во всяком случае говорит в пользу этого“.

Для опытного метеоролога отсюда совершенно ясно, что некоторая верность предсказаний Клайтона еще ничего не доказывает в отношении прямого влияния солнечных флуктуаций на температуру в Нью-Йорке. Данные Клайтона не говорят ничего до тех пор, пока он не покажет, что можно предсказывать только по солнечной постоянной, независимо от знания общего характера погоды, или не докажет, что предсказания без привлечения солнечной постоянной менее оправдываются. Ясно, что привести такие доказательства, очень трудно, и г. Клайтон говорил лично одному из авторов, что он не знает, как обнаружить, какая доля его предсказаний зависит от знания метеорологической карты и какая доля может быть приписана знанию солнечной постоянной.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

Перейдем теперь к изменению солнечной энергии, стечаемому пиргелиометром на горизонтальной поверхности земли. Этот вопрос чрезвычайно интересен для метеоролога. Сэр Нэпер Шоу²⁾ называет эти измерения „основой научной метеорологии“. Земная поверхность очень активно поглощает солнечную энергию. Этим поглощением и последующей радиацией и теплопроводностью определяется температура воздуха. Наибольшие изменения температуры атмосферы происходят вследствие этого на высоте только нескольких сот метров над землей.

Имеются две определенные периодические вариации в поглощении солнечной энергии—одна суточная, другая годовая. Годовая вариация происходит от двух причин: изменения расстояния земли от солнца и изменения солнечного склонения. Возможное третье периодическое

¹⁾ Whipple, F. J. W. *Nature* 116, 754, 1925.

²⁾ Sir N. Shaw. *Union Géodésique et Géophysique Internationale. Deuxième Assemblée générale. Madrid. Октябрь 1924. Procès Verbaux des séances de la Section de Météorologie. Annexe VI, p. 88, 1925.*

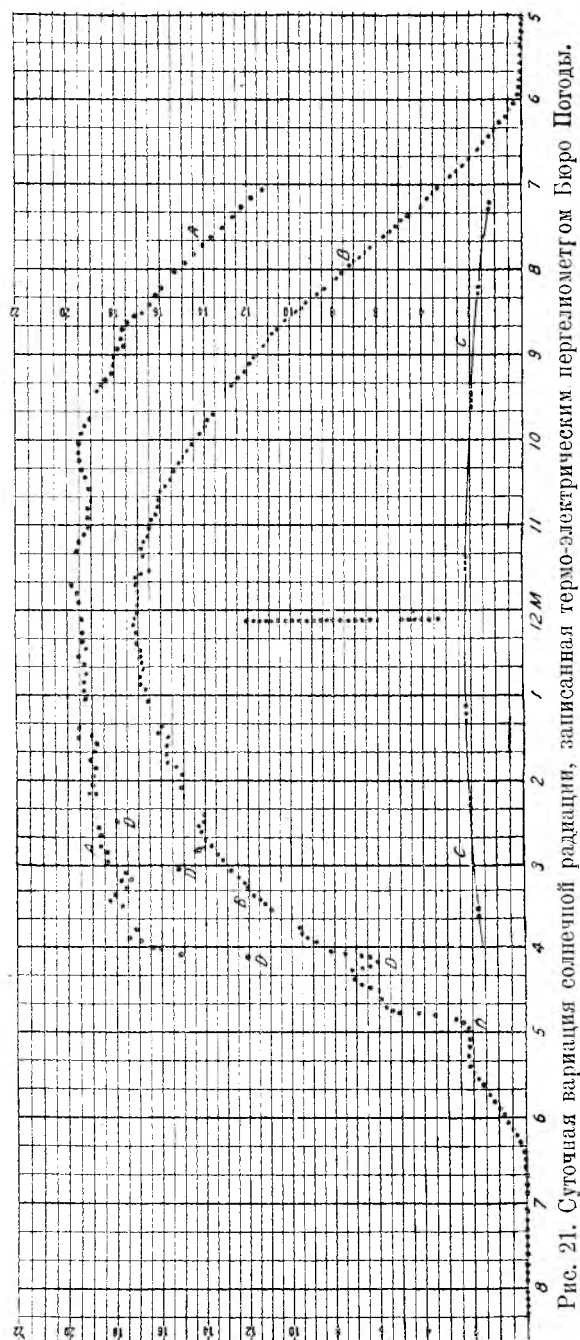


Рис. 21. Суточная вариация солнечной радиации, записанная термо-электрическим пиргелиометром Бюро Погоды.

изменение может быть связано с вариацией интенсивности солнечной радиации за 11-летний период солнечных пятен.

Суточное изменение происходит от 0 (ночью) до переменного максимального значения в полдень. Для иллюстрации суточных вариаций на рис. 21 воспроизведена запись термо-электрического пиргелиометра Бюро Погоды. Верхняя кривая соответствует интенсивности солнечной радиации при нормальном падении; средняя кривая показывает изменение интенсивности полной радиации от солнца и неба на горизонтальной поверхности. Нижняя кривая соответствует интенсивности рассеянной радиации только от неба; при этом между пиргелиометром и солнцем помещен затеняющий экран.

На рис. 22 показан годичный ход полных суточных значений энергии, выраженных в киловатт-часах на дкм^2 горизонтальной поверхности.

Площадь в 1 кв. декаметр соответствует поверхности, занимаемой обыкновенным домом. Киловатт-час энергии достаточен

для питания 25 40-ваттных электрических ламп в течение часа. Верхняя кривая показывает ход суточных величин за пределами атмосферы для вашингтонской широты. Кривая выведена на основании

исследований Анго¹⁾ при чем солнечной постоянной приписано значение Аббота $1,937 \frac{2. \text{ кал}}{\text{мин. см}^2}$, или 135 киловатт на дкм^2 .

Средняя кривая дает ход суточного общего излучения на поверхности урвия Вашингтона при безоблачном небе. Нижняя кривая изображает ход излучения при средних условиях неба. Эти две последние кривые основаны на десятилетних средних значениях для Вашингтона, записанных пиргелиометрами и сглаженных по формуле $\frac{a + 2b + c}{4}$.

Важнейший фактор, определяющий форму этих кривых, разумеется, — склонение солнца; вариация расстояния между землею и солнцем имеет меньшее значение. Максимальное расстояние бывает около 3-го июля, при чем солнечная тепловая энергия уменьшается всего на 3,5% в сравнении с энергией при среднем расстоянии. Наименьшее расстояние бывает около 3-го января, при чем радиация возрастает на 3,5% в сравнении со средней. В итоге получается периодическое изменение на 7% за шестимесячный период. Отрезками пунктирных кривых на рис. 22 отмечено, какова была бы интенсивность в максимуме и минимуме, если бы солнце всегда находилось на среднем расстоянии от земли, как 3-го апреля и 3-го октября. Эти вариации в 7% превосходят по величине все изменения солнечной постоянной с длинным периодом, найденные Абботом. Наибольшее изменение, найденное Абботом, имеет величину в 2,6% (уменьшение месячных средних от ноября 1921 г. до сентября 1922 г. включительно, т.-е. за период в 10 месяцев). Наши исследования²⁾ показывают, однако, что по крайней мере часть этой убыли вызывается годичной периодичностью, найденной в значениях солнечной постоянной, опубликованных Смитсоновским Институтом. Эти годичные вариации должны быть приписаны атмосферным влияниям.

На все периодические изменения накладываются непериодические флуктуации, связанные с условиями неба. Флуктуации такого рода показаны ломаной неправильной линией над нижней кривой рис. 22. Эта линия изображает недельные средние за 1925 г.

На непрерывности в недельных средних накладываются суточные вариации солнечной постоянной, определяемые Смитсоновским Институтом. На верхней кривой рис. 22 в максимуме ломаной линией обозначены величины изменений, измеренных Абботом в период от 12 июня до 2 июля 1924 г. В течение этого двадцатидневного периода каждый день получались удовлетворительные значения солнечной постоянной. Одинаково удовлетворительные измерения сделаны были в течение июля, при чем они обнаружили меньшие вариации, чем

¹⁾ A. Angot. Ann. du Bureau Central Météorologique de France. Année 1883 I — Mémoires, p. B. 121, 1885.

²⁾ Marvin C. F. Monthly Weather Rev. 53, 300, 1925.

июньские значения. Трудно понять, каким образом эти вариации, максимум которых меньше 1% в месячных средних, при наложении на указанные выше вариации могут иметь заметное влияние на количество радиации, получаемой на поверхности земли.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ ПЕРЕМЕННОГО КОЛИЧЕСТВА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.

Выше мы отметили важность данных о солнечной радиации для научной метеорологии. Не лишне распространить эту мысль дальше. Термодинамические эффекты периодических вариаций солнечной энергии

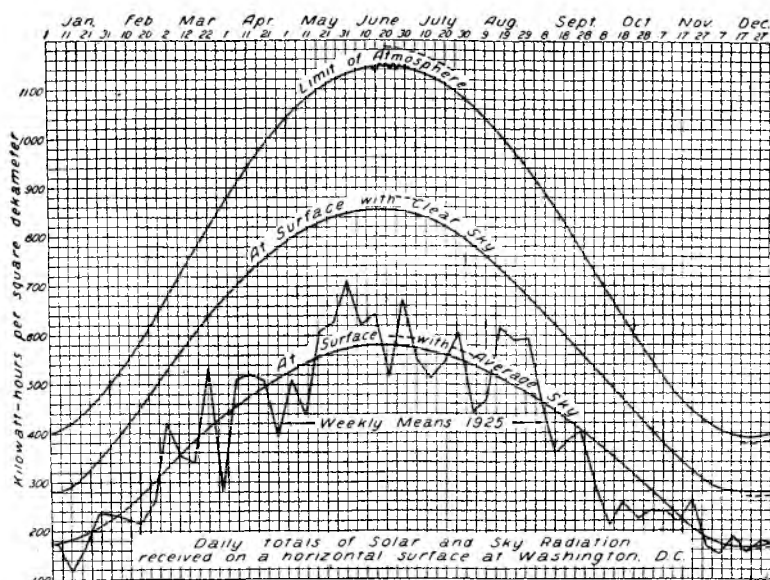


Рис. 22. Ход полных суточных значений радиации в Вашингтоне.

хорошо известны. Обыкновенно, в каждый ясный день после восхода солнца температура подымается сначала быстро, затем медленнее, пока не достигнет максимума (от 2 до 4 часов пополудни), после чего начинается охлаждение. Если нагревание почвы исключительно большое, а воздух достаточно влажен, могут произойти грозы, иногда очень большой силы. Облачное небо уменьшает интенсивность доходящей до поверхности энергии, вследствие чего уменьшается подъем температуры в течение дня. В связи с годичным периодом, вызванным наклоном земной оси, суточные средние температуры достигают максимума не в момент летнего солнцестояния, но по крайней мере месяцем позже; минимум же наблюдается месяцем позже зимнего солнцестояния.

Распределение давления над сушей и морем постепенно отвечает на изменения в распределении температуры. Образуются атмосферные

движения, меняющиеся в зависимости от времени года; они становятся наиболее сильными, когда разности температур по широтам максимальные. Эти движения должны бы стать сравнительно устойчивыми, если бы поверхность земли не оказывала трения и была всюду однородной. Различие температур на суше и море, неровность поверхности суши и особенно вращение земли вызывают турбулентные движения, порождающие бури, волны холода, горячие ветры и всю ту цепь изменений метеорологических элементов, которую мы называем погодой.

Предсказывать погоду можно только за период, за который возможно предвидеть ход этих турбулентных движений. Длина периода предсказаний зависит от точности и подробности наблюдения факторов, производящих движения, и от умения правильно оценивать значение каждого фактора.

Мы пытались привести основания, почему фактор изменчивости солнца ничтожен для изменения погоды. Но значит ли это, что метеорология вообще и предсказатели погоды в частности не имеют никакой пользы от более точных определений солнечной постоянной? Никоем образом. Именно солнечная энергия, поглощаемая землей и ее атмосферой, поддерживает ход атмосферной тепловой машины. Изменения поглощения определяют все детали деятельности этой машины как в отношении времени, так и места.

Нам хотелось бы выразить насколько возможно яснее, что хотя, по нашему мнению, эти периодически меняющиеся условия много важнее для нужд предсказания, чем ничтожные флуктуации общей солнечной отдачи, в существовании которых можно сомневаться, однако мы признаем основное значение знания величины солнечной постоянной. Без этого наши пиргелиометрические изменения могут дать только приближенное представление о поглощении атмосферы.

Труды Аббота и его сотрудников дали нам не только величину солнечной постоянной, но очень многое добавили к нашим сведениям о поглощении атмосферы. Выполненная ими работа останется вечным памятником их научного рвення.

Аббот¹⁾ и Петтит²⁾ находят, что вариации в их измерениях ультра-фиолетовой части значительно превосходят изменения солнечной постоянной, найденные Абботом. Дорно³⁾ и другие предполагают, что вариации в ультра-фиолетовом спектре могут влиять на прозрачность атмосферы, особенно в ее верхних слоях. Отсюда еще более

¹⁾ Abbot. Smiths. Report for 1925. Appendix 7, 101, 1925.

²⁾ Pettit, E. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 38, 25, 1926.

³⁾ Dorno, C. Monthly Weather Rev. 53, 519, 1925.

ясно фундаментальное значение работ Аббота для науки. Нет сомнения, что мы должны распространить наши наблюдения в ультра-фиолетовую область. Говоря словами Аббота „быть может, наблюдения ультра-фиолетового спектра окажутся чрезвычайно полезным фактором“¹⁾. Можно с уверенностью предсказать, что на широком поле исследования, на которое вступили Аббот и его сотрудники, будет сделано еще много важного для изучения солнца и его влияния на земную атмосферу.

¹⁾ Abbot, C. G. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 52, 5, 1926.