

ПРОВЕРЕНО
1930 г.

ПРОВЕРЕНО
1931 г.

ИНСТИТУТ Физики

Ассоциация Научно-Исследовательских Институты при
Физ. Мат. Фак. 1-го Московск. Государств. Университета.

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ.

550.3

Н-39

Небольсин С. И.

Тепловой режим почвы

Температура суглинистой, подзолистой
почвы при разном растительном покрове.

Ханевский В. А.

Направление и скорость ветра
до высоты 3000 метров.

110326 БИБЛИОТЕКА
ЛЕНИНГРАДСКОГО
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

МОСКВА—1925 г.

Г. ДМИТРОВ, Моск. губ.
Типография Дмитровского Уисполкома.
Мосгублит 23862. Тираж 1000.

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ.

Температура суглинистой, подзолистой почвы при разном растительном покрове.

Настоящая статья представляет обработку наблюдений над температурой почвы, произведенных на Московской Областной Сельско-Хозяйственной Опытной Станции. При изучении теплового режима почвы мы остановились на этих наблюдениях потому, что они производились над почвой в ее естественном состоянии в полевой обстановке. Таких условий на других обсерваториях, обычно расположенных в городах, мы не имеем, ибо продолжительное и разнообразное воздействие человека на почву вряд ли позволит ее отнести к какому либо определенному типу.

Настоящие наблюдения производились на участке, находившемся под выгоном и несколько десятилетий не пахавшемся. Почва указанного участка средне оподзоленная, суглинистая, залегающая по перемытой морене. Верхний бывший пахатный слой, сильно зацеplinившийся, имеет мощность до 20 см. Под ним залегает горизонт подзолистый на глубине 20—30 см. Далее идет на глубине 30—35 см. подгоризонт переходный от подзолистого к иллювиальному. Последний, занимая глубины 35—200 см. в свою очередь распадается на 3—4 подгоризонта 1-го, 2-го—3-го, 4-го уплотнений, или как их обозначают почвоведы: B_1 —на глубине от 35 до 55 см., B_2 —от 55 до 85 см., B_3 —от 85 до 150 и B_4 от 150 до 200 см.

Термометрические установки на станции были в эбонитовых трубках на глубинах 10, 25, 50, 100 и 200 см. На глубинах 5 и 10 см. наблюдения велись по термометрам Савинова большую часть года, пока их не заносило снегом.

Т. о. наши термометры находились: первые два 5 и 10 см. в пахатном слое; 25 см. в подзолистом и три последние 50, 100 и 200 см. в иллювиальном в горизонтах разного уплотнения,

Трава около термометров все время подстригалась на высоте 10 см. Снег зимой не трогался.

В настоящей статье мы рассматриваем только годовой и суточный ход год температуры, непериодические ее колебания, изменения, вносимые в распределение температуры в почве ее обработкой и полевыми культурами. Строго поставленный объем статьи заставляет нас быть сжатыми и сокращать фактический материал.

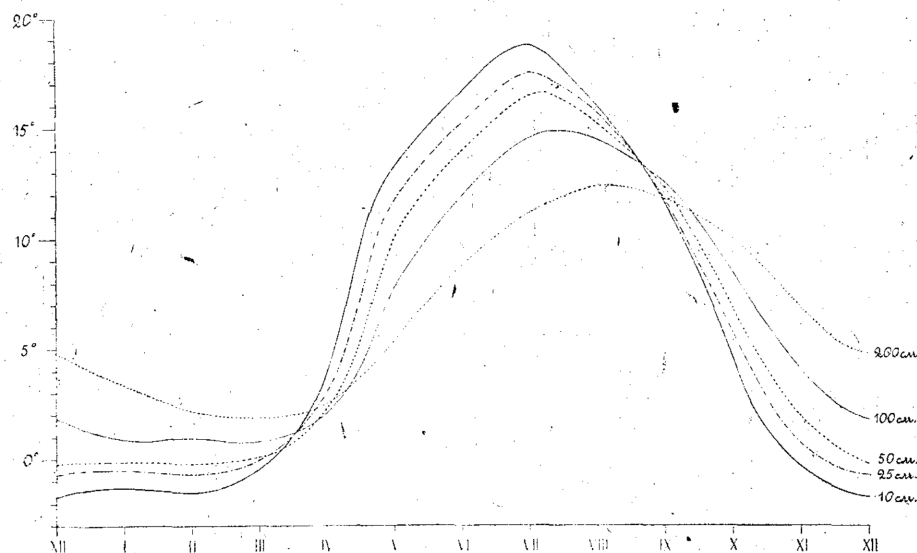
В настоящей работе измерения температуры производились термометрами типа Савинова на глубине 1—25 см, Шукевича на глубине 25—50 см. и в эбонитовых трубках на глубинах 10—200 см. Как известно эти типы установок дают не всегда согласные показания. Наблюдения С. В. Антропова на Ростово-Нахичеванском опытном поле в 1914 году дали такие результаты. На 10 см-ой глубине на черноземе термометры в эбонитовых трубках давали большую амплитуду, чем Савинова. В полуденные часы в солнечные дни, они показывали до 5° — 6° выше, в вечерние часы показывали ниже. В пасмурную погоду разхождения незначительны. На глубине 25 см. сравнивались установки Шукевича и в эбонитовых трубках. Результат тот же: термометры в эбонитовых трубках показывали выше до $1^{\circ},5$ — $2^{\circ},0$. Термометры Савинова и Шукевича давали согласные показания.

Таковы результаты сравнения на черноземе с его резко выраженным черным цветом и в местности летом довольно ясной и жаркой.

Подобное исследование термометров Шукевича и в эбонитовых трубках было поставлено на Московской Областной Сельско-Хозяйственной Опытной Станции в 1918 году В. А. Власовым. Здесь лето умеренно теплое с преобладанием облачной погоды, почва—подзол: термометры были поставлены на несколько влажном задернелом участке. Наблюдения 19-го года в летние месяцы, когда почва, можно надеяться, достаточно улеглась после установки термометров, показали следующее: на глубине 25 см. эбонитовые термометры в 1 час дня в среднем за отдельные летние месяцы показывали выше до $0^{\circ},4$, в утренние и вечерние часы различие в ту и другую сторону было около $0^{\circ},1$. В ясную погоду в отдельные дни превышение достигало $0^{\circ},6$, в утренние и вечерние часы различие доходило до $1^{\circ},0$. В пасмурную погоду разхождений не наблюдалось.

Примерно такового же порядка были разхождения и на глубине 50 см. Как видно в местности с более облачной погодой разхождения значительно меньше и в общем незначительны. Однако индивидуальность этих поправок, находящихся в зависимости от облачности, затрудняет их введение. Почему при использовании дальнейшего материала необходимо иметь в виду возможность погрешностей в указанных пределах.

Годовой ход температуры вычислен по наблюдениям за пятью неполными лет: 1919—23 г.г. Ниже помещаемый график годового хода составлен по средним месячным данным.



Черт. № 1. Годовой ход температуры почвы на разных глубинах.

Как видно, годовой ход температуры на указанных глубинах в среднем довольно прост. Это простые, повидимому синусоидальные кривые с крутым подъемом и резко выраженным максимумом в июле—августе, и с пологим скатом и менее резким минимумом в феврале—марте. Чем ближе к дневной поверхности лежит данный слой, тем больше он прогревается летом и охлаждается зимой.

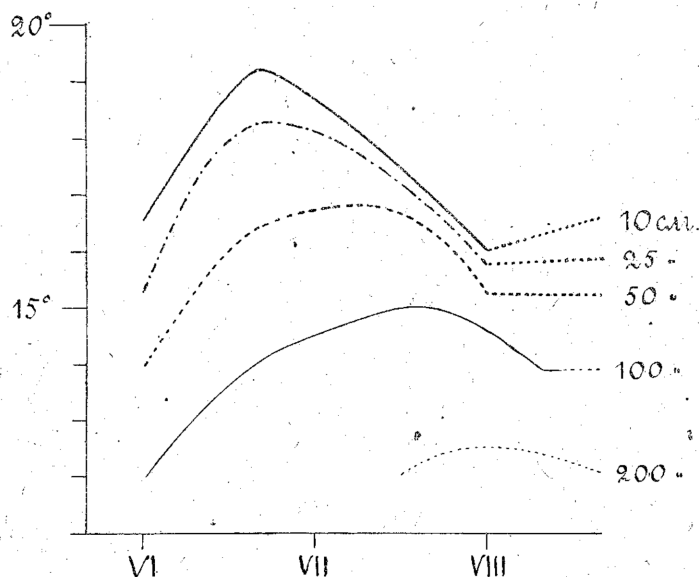
Годовые амплитуды на наших глубинах следующие.

Глубина.	Максим. т-ра.	Миним. т-ра.	Амплитуда.
10 см.	18.8 (VII)	— 1.5 (II)	20.3
25 „	17.5 „	— 0.7 „	18.2
50 „	16.5 „	— 0.2 „	16.7
100 „	14.6 „	+ 0.8 (III)	13.8
200 „	12.4 (VIII)	1.8 „	10.6

Отсюда пересечение наших кривых в нескольких точках. Первая из них наблюдается примерно в конце марта для глубин до 50 см., когда по сходе снега устанавливается во всем этом слое одинаковая температура—около нуля.

После этого кривые быстро расходятся, т. к. верхние слои прогреваются значительно быстрее нижних. *Вторая* точка наблюдается в конце апреля, когда выравнивается температура в слое одного—двух метров, после чего эти две кривые также расходятся, чтобы снова встретиться в последней—*четвертой* точке в третью декаду сентября, когда опять выравнивается температура всего этого слоя. *Третья* точка наблюдается в первую декаду сентября, когда одинаковая температура устанавливается во всем метровом слое, начиная с дневной поверхности. Таков годовой ход температуры почвы по средним величинам за месяц.

Более точную картину получим, когда для определения точек максимума и минимума температур воспользуемся декадными, а не месячными средними. Эти данные приведены в нижеследующей таблице, а чертёж № 2 заключает в себе часть кривой годового хода вблизи максимума, построенной по декадным данным.

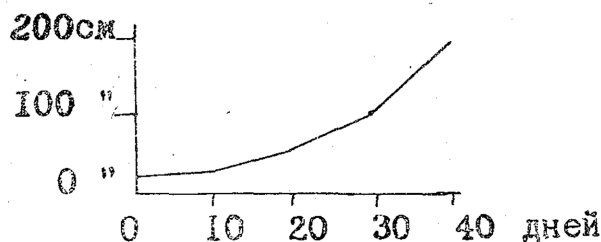


Черт. № 2. Температура почвы по декадным данным в летние месяцы.

Глубина.	Максимальная т-ра.	Минимальная т-ра.	Амплитуда.
10 см.	19.3 I д. VII	— 1.6 II д. II	20.9
25 "	18.3 I " "	— 1.1 II " "	19.4
50 "	16.8 III " "	— 0.2 II " "	17.0
100 "	15.1 I " VIII	+ 0.7 III " III	14.4
200 "	12.5 II " "	2.1 II " IV	10.4

Табличка показывает, что различие между максимумом и минимумом, определенными по месячным или декадным данным расходятся не очень сильно, в особенности для минимумов, что указывает на плавный ровный ход температуры почвы.

Чертеж № 2, построенный по декадным данным позволяет нам видеть насколько запаздывает время прохождения максимума с глубиной. Как видно на глубине 10—25 см. максимум проходит одновременно в первую декаду июля, на глубине 50 см. в третью декаду, на глубине 100 см. в первую декаду августа, и на 200 см. — во вторую декаду того же месяца. Если эти величины запаздывания наращения максимума на разных глубинах по сравнению с 10—25 см. слоем, нанести на график (черт. № 3), то получаем кривую, которая

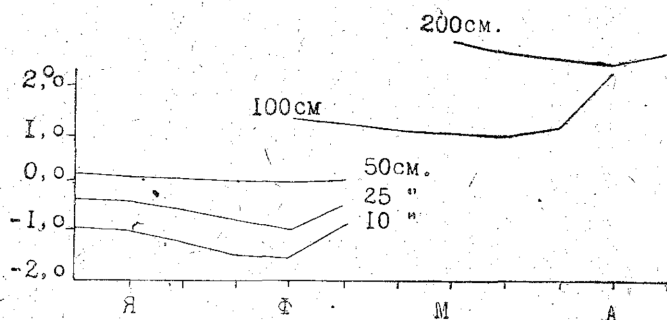


Черт. № 3. Запаздывание прохождения годового максимума температуры почвы с глубиной.

показывает нам, что свойства нашей почвы таковы, что чем глубже слой, тем скорее в нем распространяется теплота, — тем больше его теплопроводность.

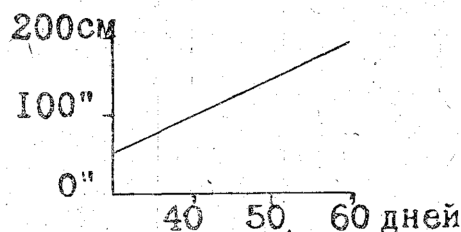
Интересно посмотреть как убывают с глубиной максимумы температуры. Расчет показывает, что в полметровом слое убывание довольно равномерное с градиентом $0,062 \frac{\text{gr.}}{\text{cm.}}$. На глубине 50—100 см. градиент $0,034 \frac{\text{gr.}}{\text{cm.}}$; в слое 100—200 см. он равен $0,026 \frac{\text{gr.}}{\text{cm.}}$. Т. о. большее падение температуры наблюдается в верхних горизонтах, с глубиной же оно уменьшается почти втрое.

Подобные же подсчеты по декадам для минимальных температур указывают, что в отношении минимума ведет себя одинаково весь полуметровый слой, наименьшая температура в котором наблюдается во второй декаде февраля. На глубине метра наименьшая температура наблюдается в третью декаду марта, на глубине двух метров во второй декаде апреля.



Черт. № 4. Годовой ход температуры почвы по десятичным данным в зимние месяцы.

Построить полную кривую запаздывания минимума нельзя, т. к. минимумы на глубинах 10—50 см. наблюдаются одновременно. Для глубины же 50—200 см. мы получаем по средним данным равномерное запаздывание. (см. черт 5).



Черт. № 5. Запаздывание прохождения годового минимума температуры почвы с глубиной.

Выше приведенные средние величины температуры почвы позволяют нам грубо, в первом приближении определить тепловые свойства нашей почвы, воспользовавшись законом Фурье. Считаем нужным оговориться, что для нашей почвы, резко дифференцированной на отдельные слои, законы Фурье, строго говоря, не применимы сразу по всему двухметровому слою. Для пользования ими необходимо было установить несколько термометров на разных глубинах одного и того же горизонта и к ним уже применять закон Фурье. Вот какие же заключения позволяет сделать применение его формул.

Изучая уменьшение годовых амплитуд температуры мы получаем такое отношение коэффициентов температурной проводимости.

$$\begin{aligned} \text{Для слоя } 25-50 \text{ см. } (a_2^2) \text{ к слою } 10-25 \text{ см. } (a_1^2) \quad \frac{a_2^2}{a_1^2} &= 0,9 \\ \text{„ „ } 50-100 \text{ „ } (a_3^2) \text{ „ } 25-50 \text{ „ } (a_2^2) \quad \frac{a_3^2}{a_2^2} &= 2,5 \\ \text{„ „ } 100-200 \text{ „ } (a_4^2) \text{ „ } 50-100 \text{ „ } (a_3^2) \quad \frac{a_4^2}{a_3^2} &= 0,6 \end{aligned}$$

Отсюда, если коэффициент в слое 10—25 см. принять за 1, то получим $a_2^2 = 0,9$; $a_3^2 = 2,25$; $a_4^2 = 1,3$.

Т. о. коэффициент температурной проводимости мало изменяется в слое 25—50 см. по сравнению с слоем 10—15 см., и заметно увеличивается на больших глубинах.

Как, известно в формуле Фурье коэфф. темпер. проводимости $a^2 = \frac{\kappa}{dc}$; где κ коэффициент внутренней теплопроводности, d — плотность, c — теплоемкость. Незнание величины теплоемкости по отдельным горизонтам, к сожалению не позволяет нам вычислить и величины теплопроводности наших почв на разных их глубинах.

В среднем за год по пятилетним наблюдениям получились следующие величины:

Глубины . . .	10	25	50	100	200 см.
Т-ра почвы .	6,66	6,62	6,59	6,72	6,76

Как видно температура почвы в средних годовых величинах остается почти постоянной на всех глубинах. Очень слабое повышение температуры наблюдается в слое 100—200 см.—на полторы десятых. Но это уже в пределах ошибок приборов и значения этим величинах придавать нельзя. По отношению к воздуху температура почвы выше ее градуса на три.

Интересно отметить, что наша область оказалась в нейтральной, так сказать, зоне. К северу от нас температуры почвы с глубиной возрастают, как например в Ленинграде по наблюдениям в Лесном, в более южных, как в Тифлисе, с глубиной падает, как это видно из следующих данных:

Средняя годовая температура почвы.

	10	20	40	80	160 см.
Лесной . . .	5,69	5,70	5,82	6,01	6,09
Тифлис . . .	16,3	16,7	15,4	15,3	15,1

Перейдем теперь к рассмотрению тепловых условий почвы по отдельным годам. Для предварительной общей характеристики лучше воспользоваться средними величинами за сезоны. Так например, самый теплый—летний—сезон имел температуру в среднем за три месяца: июнь—август:

Годы.	Глубины.	10 см.	25 см.	50 см.	100 см.	200 см.
1919		—	—	—	—	—
20	„	17.9 „	16.6 „	16.0 „	14.3 „	11.1 „
21	„	17.1 „	16.1 „	15.2 „	13.8 „	11.1 „
22	„	17.4 „	16.4 „	15.8 „	13.8 „	11.1 „
23	„	15.7 „	14.6 „	14.0 „	12.2 „	10.5 „

Как видно более теплые сезоны были в 20 и 22-м годах, а самым холодным—в 23-м. В 19-м году не было полных наблюдений за все лето, но августовские температуры с одной стороны, максимальные средние суточные температуры на глубинах 100—200 см. с другой, как видно из нижеследующей таблички, заставляют отнести его к более холодным годам,

Максимальные средние суточные температуры на глубине.	19	20	21	22	23 г.г.
100 см.	15.4	16.7	14.9	16.0	13.7
200 „	12.5	13.3	12.6	13.2	11.6

Таким образом получилось, что в изучаемом пятилетии в нечетные годы почва прогревалась слабее, в четные сильнее.

Интересно сопоставить температуру почвы с другими метеорологическими элементами, в первую очередь конечно с температурой воздуха и осадками. Температура воздуха в среднем за те же летние месяцы, а также в самом теплом месяце сезона по отдельным годам была следующая.

	19	20	21	22	23 г. г.
Ср. т-ра лета	16.6	17.9	16.1	16.3	14.6
Ср. т-ра самого теплого месяца . .	18.9	20.6	16.9	18.1	15.7

Как видим и температура воздуха за исключением 19-го года более высокой была в четные годы, более низкой в нечетные.

Т. о температура воздуха и почвы имеет одинаковый в большинстве случаев ход.

Проверка этого положения по отдельным месяцам (июнь—август) этого пятилетия показала одно и то же: более высокая температура воздуха сопровождается и более высокой температурой почвы *в метровом слое*. Слой следующего метра ведет себя иначе, там такой зависимости нет—повидимому потому, что колебания температуры туда достигают значительно позже.

Поведем дальнейшее сопоставление температуры воздуха и почвы. Сопоставим средние температуры воздуха и почвы в 10 см. слое по отдельным месяцам. В следующей табличке приведены разности этих температур. Знак — (минус) показывает, что *почва теплее воздуха*, + (плюс)—обратно.

	19	20	21	22	23
VI	—	—0.5	—1.3	—1.2	—1.3
VII	—1.4	+0.6	—1.2	—1.1	—1.1
VIII	—0.9	—0.1	—0.5	—1.5	—1.0

Как видно в большинстве случаев почва теплее воздуха, при чем обычное превышение $1^{\circ}_1 — 1^{\circ}_3$. Исключение составляют: июль 20-го года, когда воздух был теплее почвы. Кроме того в 20-м году в июне и августе, в 21-м году в августе почва хотя и была теплее воздуха, но очень незначительно не больше пол градуса.

Сопоставление с осадками показывает, что все эти случаи совпадали с недостатком осадков, т.-е. с сухостью почвы.

Вот как в ‰ нормы выразились количества осадков по отдельным месяцам.

	19	20	21	22	23
VI . .	153	88	117	140	220
VII : .	125	73	95	86	118
VIII . .	165	36	40	184	67

Но надо отметить, что обратно в двух случаях: в августе 23-го и в июле 22-го г. г. это положение не оправдалось, хотя все же коэффициент корреляции между этими рядами равняется примерно 0,7.

Т. о создается впечатление, что при сухости почвы, аккумулярованное верхним слоем почвы тепло легче отдается воздуху, чем передается путем теплопроводности почве.

Для характеристики тепловых условий более глубоких слоев по отдельным годам мы возьмем другое: степень убывания температуры с глубиной в среднем за сезон, выразив ее в тысячных долях градуса на один сантиметр.

	10—25	25—50	50—100	100—200 см.
20 г. . . .	86	24	34	32
21 „ . . .	90	36	28	27
22 „ . . .	67	24	40	27
23 „ . . .	73	24	36	17

Как видно выделяются две особенности: это большой градиент в верхнем слое в 20 и 21 годах и заметно меньший в остальных два года. Если вспомнить, что первые годы были сухие, а последние влажные, то указанную особенность надо отнести к влажности почвы и можно высказать предположение что для верхнего слоя мы имеем в сырые годы меньший градиент, чем в сухие. Что касается более глубоких слоев, то определенной строго выражаемой зависимости нет. Следующей особенностью является убывание градиента с глубиной—идет оно неправильно, но несомненно.

Более детальное рассмотрение по отдельным месяцам не дает чего либо нового: также определенная зависимость для верхнего слоя и полное разнообразие для остальных.

Как пример можно привести данные для июлей, когда колебания температуры вообще бывают наименьшие.

	19	20	21	22	23
Градиент в слое 10—25 см.	6	110	60	80	53
Осадки в ‰ нормы	125	73	95	86	118

Время прохождения максимумов температуры на разных глубинах в разные годы довольно различное.

Обычно одновременно с наступлением наиболее высокой средней суточной температуры воздуха наблюдается наиболее высокая и температура почвы в слое 10—25 см. Максимум температуры на глубине 50 см. проходит через 1—3 дня. На больших же глубинах запаздывание самое разнообразное.

При изучении годового хода в следующем осеннем сезоне может заинтересовать лишь время наблюдения выравнивания температур в том или другом слое. Однако для слоя до 50 см. определить это нельзя, т. к. на этих глубинах наблюдается еще суточный ход и полного выравнивания не наступает. На глубине 50—100 см. выравнивание обычно наблюдается в августе *неоднократно*, т. ч. также трудно установить определенную дату. Сделать это возможно только для слоя больших глубин и лучше всего за такую дату взять день установления зимнего типа распределения почвенных температур, т. е. когда т-ра на 200 см. выше, чем на 100 см.

Такие дни мы наблюдали.

В 19	20	21	22	23
5/X	27/IX	21/IX	25/IX	13/X

В зимние месяцы нас интересуют вопросы установления отрицательных температур—замерзания почвы, наибольшие понижения температуры и время их установления, глубины промерзания и наконец оттаивания весной. Должны оговориться относительно терминологии. Согласно обычному представлению считается, что почва, как и вода, при температуре нуль и ниже нуля находится в „замерзшем“ состоянии. Наблюдения Н. А. Качинского *) над влажностью почвы

*) Н. А. Качинский: Замерзание, разморозание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. (Печатается).

показали, что в то время, как у нас термометры на метеорологической станции (разных систем: в эбонитовых трубках, Шукевича, электрические) показывала температуру нуль или ниже его на несколько десятых, образцы почвы, взятые на соответствующих глубинах на расстоянии от 50 см. до нескольких метров—не носили того обычного вида, что приписывается замерзшей почве т.-е. твердости, спаянности, и т. п. В них отсутствовали и кристаллы льда. Образцы были обычного „талого“ вида, т.-е. почва была сырая, легко растиралась между пальцами и принимала придаваемую ей форму: (лишь в отдельных образцах переходных по замерзанию слоев можно было находить отдельные кристаллы льда). Наконец количественные определения влажности почвы, произведенные Н. А. Качинским показывают резкое различие между „замерзшей“ и „талой“ почвой. Наши наблюдения под электропроводностью почвы показывают, что повидимому резкое падение электропроводности при температуре несколько ниже нуля также может служить показателем состояния почвы. Вопрос о температуре, при которой наша почва, приобретет свойства „мерзлой“ еще не разрешенный. Мы полагаем, что его можно будет решить путем наблюдения над электропроводностью почвы.

Пока же в дальнейшем, говоря о замерзании и разморзании почвы, мы будем иметь в виду только установление температуры нуль, но ни в коем случае не свойства почвы.

Обзор зимних сезонов начнем с рассмотрения окончательного установления отрицательных температур. Таковые наблюдались:

		В 19	20	21	22
На 10 см. . .	1/XI	24/XI	11/XI	22/XI *)	
„ 25 „ . .	—	30/XI	18/XI	12/II	
„ 50 „ . .	—	10/XII	30/XI	—	
„ 100 „ . .	—	—	—	—	
„ 200 „ . .	—	—	—	—	

Как видно, время установления температуры нуль и глубина, до которых она доходила, были довольно различны. В зиму 19—20 г. ее не наблюдалось даже на 25 см., в 22—23 г. меньше 50 см. В 20 и 21 г.г. наоборот мы имели ее значительно ниже 50 см. Различие зависит и от степени холодов зимы, но в особенности от мощности и времени залегания снежного покрова.

Роль последнего общеизвестна. Мы приводим только несколько данных в ее подтверждение.

*) Неоднократно оттаивала до 5-го I.

В 19-м году снег лег почти одновременно с наступлением морозов: 29/X—начало устойчиво морозной погоды, 1/XI—установление снежного покрова. К 1/XII его лежало около почвенных термометров уже 40 см. Несмотря на довольно низкие температуры зимы, температура этого слоя не понижалась далее 1° — 2° ниже нуля. На 25 см. глубины не было ни разу и температуры нуль. В начале марта даже и в 10 см. слое температура повысилась до нуля.

20-ый год дает обратную картину. При отсутствии снежного покрова с конца октября начались морозы до -25° на поверхности почвы и температура 10 см. слоя понизилась до -3° .1. Через 5 суток т-ра ниже нуля установилась и на 25 см. При повторном замерзании после ноябрьской оттепели, при слабом снежном покрове в 6—8 см. и 20° -ных морозов температура ниже нуля упала и в 50 см. слое. Наэтот раз замерзание шло в такой последовательности. Через сутки после начала морозной погоды промерз весь 10 см. слой, через 11 суток—25 см., еще через 10 суток 50 см. При сильных морозах (до 25° на поверхности почвы) 10 см. слой промерз до -8° .5; 25 см.—до 5° .9; 50 см.—до -2° .7.

25/XII выпал снег и несмотря на продолжавшиеся сильные морозы нижние слои стали теплеть, потребляя тепло еще более низких горизонтов. Так в слое 50 см. температура с -2° .7 (19/XII) поднялась до -0° .9 уже к 31/XII. В январе слой прогрелся еще более до -0° .5 и лишь в феврале температура стала понижаться, следуя обычному годовому ходу.

Точно такую же картину дает и 21-ый год. Начало морозной погоды 27/X. Через сутки промерзла почва до 1 см. Через двое—до 10 см. Вторичное после оттепели замерзание: 9/XI вечером мороз на поверхности и на глубине 1 см.; 10/XI вечером на 10 см.; 17/XI—на 25 см., 30/XI—на 50 см. Незначительный снежный покров почти не защищал почву от 30-градусных морозов и температура на 10 см. понижалась до -7° .1; на 25 см. до -4° .5, на 50 см. до -2° .4. В середине декабря (19-го) выпало снега 22—24 см. и сразу же во всем этом слое температура стала повышаться и к концу месяца при 40 см. снега температура была.

На 10 см.	25 см.	50 см.
-1° .3	-1° .1	-0° .7

Мы полагаем что этих примеров, показывающих значение снежного покрова, достаточно и переходим к следующим вопросам: как глубоко промерзает почва, когда и какие минимальные температуры в ней наблюдались.

В верхних слоях почвы обычно наблюдаются два минимума, первый—вначале зимы до установления хорошего снежного покрова. Затем, когда ляжет снег, температура обычно повышается и в дальнейшем при усилении морозов опять наступает медленное вторичное понижение температуры и этот второй минимум наблюдается в феврале. В более глубоких слоях 50—200 см. обычно минимум бывает один и наблюдается во второй половине зимы.

Минимальные температуры, наблюдавшиеся у нас в зимы 19—23 годов были:

		Зимы 19—20 20—21 21—22 22—23 годов.			
Глубины	10 см.	—2.4	—8.4	—7.1	—1.3
"	25 "	0.3	—5.9	—4.5	—0.6
"	50 "	0.6	—2.6	—2.4	0.0
"	100 "	1.2	0.3	0.3	0.9
"	200 "	2.4	2.0	1.8	2.2

Прямолинейно интерполируя получаем следующие глубины до которых доходила температура нуль.

19 см. 92 см. 47 см. 20 см.

Глубокое проникновение отрицательных температур в почву в зимы 20—21 и 21—22 годов обуславливалось незначительным снежным покровом при сильных морозах. Не менее сильные морозы 20 и 22 годов при снежном покрове дали проникание на 25—35 см.

Минимальные температуры в более глубоких слоях 100—200 см. мало разнятся по отдельным годам: на 100 см. различие 0°.9, на 200 см. всего 0°.6.

Колебания температуры по отдельным годам связаны с температурой воздуха, но повидимому не всей зимы, а только декабря. В нижеследующей табличке даны отклонения от нормы средних температур воздуха по месяцам.

Зимы	19—20	20—21	21—22	22—23.
XI . .	—5.3	—0.5	—2.7	—1.6
XII . .	—0.1	—2.5	—2.0	—1.4
I . . .	—0.8	—0.8	—0.1	—0.2
II . .	—1.0	—2.6	—0.3	—5.1

Как видно связь температуры почвы в слое 100—200 см. более выражена с декабрьскими температурами воздуха, чем с высотой

снежного покрова и температурой воздуха в самый холодный месяц.

Что касается времени поступления минимума, то оно зависит главным образом не от зимы, а от весны. В слое 100—200 см. понижение температуры идет неуклонно всю зиму и прекращается после стаивания снега. Минимумы в слое 10—50 см. проходят в зависимости от температуры воздуха и мы разберем их в главе о непериодических колебаниях температуры.

Теперь же переходим к последнему в нашем порядке рассмотрения—к сезону весеннему. Здесь большой интерес представляет процесс „размерзания“ почвы.

В 20-м году его собственно говоря и не наблюдалось, т. к. весь март почва, начиная с глубины 10 см. была уже при температуре выше нуля. Десятисантиметровая глубина—это начальная в наших установках, термометры Савинова, стоявшие на меньших глубинах, были под снегом. Весь март температура держалась удивительно ровно во всем слое 10—50 см. и только на глубинах 100—200 см. шло медленное охлаждение на 2—3 десятых за весь месяц. Оттепели начались с 28/II, средняя суточная температура выше нуля установилась с 28/III. Снежный покров стал быстро таять с 5/IV (1—4-го высота его почти не менялась 45—42 см.). Утром 8-го отмечен последний раз снежный покров в 3 см. около рейки. Повышение температуры началось сверху. В час дня 7-го отмечено первое повышение температуры по глубине 10 см.: утром было $+0^{\circ}.1$, в 1 час было $+0^{\circ}.3$. К вечеру того же дня поднялась на $0^{\circ}.1$ температура на глубине 25 см.; утром 9-го на 50 см.; днем 10-го на 100 см.

На глубине 200 сантиметров в это время еще продолжалось понижение температуры и самая низкая за зиму температура стояла в эти дни. С 13-го началось повышение температуры и здесь. День 13/IV надо отметить и как момент одинаковой температуры в слое 100—200 см.

Не то было в 21-м году. Температура нуль доходила до 92 см. Оттепели начались с начала марта. Средняя суточная температура выше нуля установилась с 16-го марта. Снег, постепенно подтаивавший в второй декаде, резко пошел на убыль с 24-го числа. Температура почвы, опускавшаяся довольно низко в зимние месяцы, в середине второй декады выравнялась. Так 15/III было:

на глубине	10	25	50	100	200 см.
	$-0^{\circ}.5$	$-0^{\circ}.5$	$-0^{\circ}.3$	$0^{\circ}.4$	$2^{\circ}.2$

В следующие дни началось потепление в слое 10 см., где с 19-го по 27-ое установилась постоянная температура $-0^{\circ}.1$ (ниже нуля). В те же дни на 25 см. температура повысилась с $-0^{\circ}.3$ до $-0^{\circ}.1$ и продержалась на последней высоте до 31/III (до окончательного схода снега). На глубине 50 см. температура была $-0^{\circ}.2$. На глубине 100 см. температура поднялась с $+0^{\circ}.3$ до $+0^{\circ}.5$ и так держалась до 8/IV. На глубине 200 см., как и в 19-м году продолжалось понижение температуры даже в те дни, когда снег сошел и верхние слои были уже сильно прогреты.

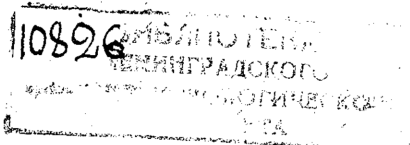
Выше нуля в 10 см. слое температура впервые поднялась 30/III, хотя утром у рейки было еще 2 см. слое, на глубине 25—50 см. с 1/IV, на 100 см. с 8-го, на 200 см.—с 13-го. Таким образом с 29-го по 1-ое мы имели холодную мерзлую прослойку на глубине 25—50 см. а именно:

	10	25	50	100	200 см.	
20 7 h	—0.1	—0.3	—0.3	0.4	2.2	
26 „	—0.1	—0.1	—0.1	0.5	2.1	
28 1 h	0.0	—0.1	—0.1	0.5	2.0	
30 „	0.4	—0.1	—0.1	0.4	2.0	Утром снег окончательно стаял.
31 „	1.3	—0.1	—0.1	0.5	2.0	
1 „	1.0	—0.1	0.0	0.5	2.0	

22-ой год дает аналогичную картину 21-му. Дружное таяние снега пошло с 5/IV. Вскоре после дневных оттепелей температура в 10 см-ом слое повысилась от $-0^{\circ}.8$ до $-0^{\circ}.1$, на глубине 25 см. с -0.6 до -0.2 и оставалась неизменной на 50—100 см. В 10 см-ом слое в дневные часы температура поднималась выше нуля; 25 и 50 см-ые сохраняли все время отрицательную температуру. Вот данные.

	10	25	50	100	200 см.	Высота снега.
5/IV 1 h	—0.1	—0.1	—0.3	0.4	1.8	27 см.
10 „ „	0.2	—0.1	—0.3	0.4	1.8	5
12 „ „	0.4	0.6	—0.2	0.5	1.8	2 стаял утром снег.
19 „ „	8.9	2.7	—0.1	0.5	1.0	
20 „ „	2.9	2.7	0.5	0.5	1.8	

Как видим прослойка отрицательных температур в этом году держалась особенно долго. Но и в этом году повышение температуры началось сверху.



Иную картину дает 23 год. Вот данные:

	10	25	50	100	200 см.	Высота снега.
1/III 1 ^h _p	—0.9	—0.5	—	1.1	2.7	42
5 " "	—0.4	—0.3	0.0	1.1	2.7	56
21 " "	—0.1	—0.1	0.1	0.1	2.5	46
8/IV " "	—0.1	0.0	0.2	0.9	2.3	41
16 " "	0.0	0.0	0.3	0.9	2.3	27
19 " "	0.1	0.1	0.3	0.9	2.2	4 Утром снег стаял.
20 " "	0.5	0.1	0.3	0.9	2.2	0

Как видим повышение температуры и здесь идет сверху. Но граница нулевой температуры поднимается снизу вверх. Так нулевую температуру мы видим на 50 см. 5-го марта. 8-го апреля встречаем ее уже 25 см. причем верхние слои еще находятся при отрицательных температурах под глубоким слоем снега. Наконец 16-го температуру нуль встречаем на 10 см. все еще под глубоким снегом. Но и в данном случае указанная в прошлые годы холодная прослойка в последние дни оказалась в слое около 25 см., но не с отрицательными, а только нулевыми температурами.

Т. е. в весенние месяцы мы наблюдаем такой ход температуры почвы. По ослаблении зимних морозов начинается повышение темпе-

20—21 ИЮ

[illegible]

ратуры и верхнем слое почвы примерно до 50 см. Во время весенних оттепелей, еще при существовании снежного покрова, температура в этом слое держится около нескольких десятых градуса ниже нуля в зависимости от суточного хода температуры. На нижней границе этого слоя это повышение температуры сказывается перемещением вверх нулевой изотермы. В одни годы—с большим снежным покровом и длительной весной—это перемещение может подняться довольно высоко и с температурой ниже нуля окажется только самый верхний слой. В другие годы этот процесс не успевает пойти далеко и тоже высоко, нулевая изотерма появляется и наверху в самом верхнем слое—и тогда наблюдаются отрицательные температуры в слое 25—50 см. которая затем более и менее скоро исчезает.

Выравнивание температуры в верхнем слое 10—50 см. наблюдается гл. обр. в первые дни после схода снега, в более глубоких 100—200 см. несколькими днями позже.

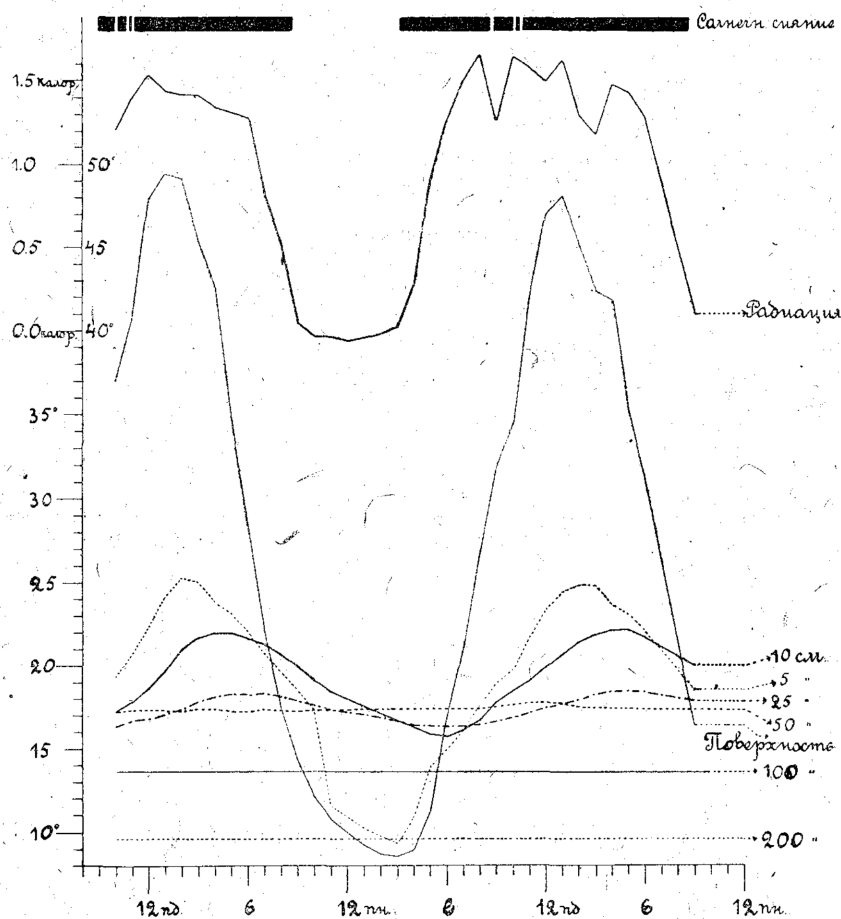
Таков годовой ход температуры почвы в слое первых двух метров.

Суточный ход температуры почвы. Для характеристики суточного хода температуры почвы мы приводим нижеследующую таблицу ежечастных наблюдений в течение полутора суток с 10 часов 20/VI по 21 час 21/VI 1924 г.

24 Г.

[illegible]

Дни были антициклональные средней облачности, с большим количеством кучевых облаков в околополуденные часы, что значительно усиливало прямую солнечную радиацию. Поэтому ход полной радиации находился в зависимости от количества облаков и прибор Араго-Дэви давал значительно осложненную кривую, с несколькими максимумами, вместо простой синусоидальной кривой в безоблачные дни. В первый день наблюдений максимум пришелся на полдень и равнялся $1.54 \frac{\text{cal.}}{\text{cm.}^2 \text{ m.}}$



Черт. № 6. Суточный ход радиации и температуры почвы в ясную погоду.

Максимальная температура на поверхности почвы, измеренная ртутным термометром была $49^{\circ}.5$ в 13 часов. Такой высоты она держалась почти три часа с 12 до 14, изменяясь в пределах от $48^{\circ}.0$ до $49^{\circ}.5$. На глубине 5 см. максимальная температура была почти наполовину ниже—всего $25^{\circ}.3$ с запаздыванием на час—наблюдалась

в 14 часов. На следующих глубинах величины максимумов и время их наблюдений были следующие:

на 10 см.	22° 0	16 часов.	
25 „	18.4	19 „	
50 „	17.8	11 „	следующего дня.
100 „	13.9	11 „	через день. (?)

Как видим поверхностное нагревание очень быстро ослабевает в самом верхнем слое почвы и температура в слое 25—50 см. мало разнится. На прохождении полуметрового слоя требуется около суток. На глубине 100 см. максимум наблюдается также в дневные часы—надо думать это уже след поверхностного нагревания, сказавшееся через двое суток.

На глубине 200 см. колебание температуры в пределах одной десятой, т. е. в пределах ошибок наблюдений и мы можем сказать, что суточный ход там крайне незначителен, практически его нет.

В дневные часы, колеблясь, величина радиации была все же значительна. Резкое убывание ее началось после 18 часов. Но еще несколько минут спустя после захода солнца (в 20 ч. 46 м.) она еще была положительной. Несомненно однако тут есть и ошибка вследствие инерции прибора. Отрицательную радиацию—излучение стали наблюдать с 10 часов вечера до 2 часов ночи. Наибольшая в полночь была шесть сотых калории. Остывание почвы шло с запаздыванием, как и нагревание и минимум на поверхности пришелся в 3 часа—8° 6. Следующий часовой отчет уже после восхода солнца в 3 ч. 17 м. показывал 9° 0. На глубине 5 см. минимум наблюдался одновременно—в 3 часа было 9° 4. На 10 см. он был в 6 часов (15° 8). На 25 см. все три часа от 5 до 7 температура была одинаковая. Берем условно за минимум 6 часов. На 50 см. время прохождения минимум определить трудно—минимальная температура 17.3 наблюдалась несколько раз. Тоже относится и к большим глубинам.

Если условно принять за амплитуду разность между самой высокой и самой низкой температурой за эти полутора суток, то получаем.

Поверхность	5	10	25	50	100	200 см.
40° 9	15° 9	6° 4	2° 0	0° 5	0° 2 (?)	0° 1 (?)

Т. е. суточные колебания температуры достигают в солнечные дни глубины метра с запаздыванием против поверхности на двое суток (?). Но там они крайне незначительны. Практически за их предел лучше принять глубину около 50 см.

Обычно при наблюдениях над температурой почвы ограничиваются тремя сроками наблюдений. Если подсчитать среднее из ежечастных наблюдений и из обычных срочных, то получаем:

	Поверхность	5	10	25 см.
Среднее из ежечастных	25.8	18.3	18.8	17.2
из срочных	28.1	19.5	18.5	17.1
разность	—2.3	—1.2	+0.3	+0.1

Т. е. ошибка для 10 см-ой глубины в солнечные дни около трех десятых градуса, глубже меньше. В пасмурные дни ошибка конечно еще меньше.

Трехсрочными наблюдениями конечно еще менее можно пользоваться для суждения о суточной амплитуде температуры. Так для выше разобранного случая для суточных амплитуд по трех срочным наблюдениям получается:

Поверхность	5	10	25	50 см.
35°.3	8.2	4.1	1.5	0.1

Что, как видим, совершенно расходится с ранее полученными величинами, именно они значительно меньше действительных.

Однако мы все же должны воспользоваться трехсрочными наблюдениями для суждения о суточном ходе при разных погодных условиях, т. к. организовывать ежечастные наблюдения в плохую погоду или в сильные морозы технически было трудно осуществить.

Имея в виду степень искажения действительных величин использованием только трехсрочных наблюдений, мы приводим несколько примеров хода температуры почвы летом в ясные и пасмурные дни, и зимой в снежную и беснежную погоду.

Так в солнечный почти безоблачный день 26/V 23 года разности между самой высокой и самой низкой температурой по трехсрочным наблюдениям были:

На поверхности на глубине	1	10	25	50 см.
22°.6	9°.7	4°.8	1°.5	0°.1

Тоже в пасмурный день в VI т. г.

4°.4	1°.3	0°.8	0°.2	0°.1
------	------	------	------	------

Переходим к холодному полугодию. При существовании снежного покрова колебания температуры поглощаются покровом и почвы достигают в незначительной своей части. Так в сильно морозный день 23/I 22 года изменение температуры на поверхности снега были:

максим.	—18°.5	минимальная	—38°.1	разность	20°.4
в почве на глубине 10 см.	—2°.0	„	—2°.2	„	0°.2
„ „ 25 „	—1°.3	„	—1°.5	„	0°.2
„ „ 50 „	—0°.6	„	—0°.6	„	0°.0

Высота снежного покрова 52 см.

При снежном покрове проникает глубоко в почву только более длительные, чем суточные колебания температуры. Но и в безснежные зимы, хотя суточные колебания становятся заметнее, они все же меньше летних. Вот пример 4/XII 21 года. Снега нет.

На поверхности почвы	максим.	—8° 8	миним.	—17° 0	разность	8° 2
на глубине 1 см.		—5° 2	„	—6° 0	„	0° 8
„ 10 „		—4° 6	„	—5° 8	„	1° 2
„ 25 „		—3° 3	„	—3° 3	„	0° 0
„ 25 „		—1° 0	„	—1° 1	„	0° 1

Как видно несмотря на значительные колебания температуры на поверхности в глубь в мерзлую почву они передаются слабо, меньше, чем летом в пасмурную погоду.

Для изучения распространения непериодических колебаний температуры почвы лучше всего воспользоваться тем временем года, когда изменения температуры от годового хода возможно наименьшие. Иначе будут накладываться эти величины и разобраться будет труднее. Как в главе о годовом ходе температуры было показано, в теплое полугодие таким временем являются июнь—август, в зимнем январь—март. В настоящей главе и использованы наблюдения 5 лет за эти месяцы.

Наблюдения показывают довольно сложную картину. Тепловые волны в поверхностном слое—одного сантиметра короткие в 1—3 суток как таковые обычно в глубину не проникают. Туда идет суммарная волна из ряда таких небольших волн. На 10 см-ой глубине колебания уже более правильные и спокойные. Поэтому при изучении непериодических колебаний за начальные величины лучше принимать ход температуры на этой глубине по средним суточным данным.

Как общее правило продолжительность (период ?) температурной волны остается почти неизменной по всем проходным ею глубинам или немного—на сутки—двое увеличивается с глубиной. Амплитуды с глубиной уменьшаются и обычно закупают:

При амплитуде в 10 см.-ом слое	около	1°—2°	на	50 см.
„ „ „ „		3°—7°	„	100 см.
„ „ „ „		более 7°	„	ниже 100 см.

Глубины 200 см. ни одна волна не достигла и там мы имеем плавный годовой ход с замедлениями и остановками, но без колебаний.

в пределах ошибок наблюдения—около одной десятой. Вот несколько примеров таких неперiodических колебаний в летние и зимние месяцы.

25 июль—3 августа 1921 г.

Глубина.	Минимум.	Максимум.	Минимум.	Амплитуда.	Продолжительность периода от минимума до минимума.
10 см.	19.7 (25)	21.3 (26)	14.1 (29)	7.3	4 суток.
25 „	19.5 (25)	19.6 (26)	13.8 (29)	5.8	4 „
50 „	17.9 (25)	17.9 (?)	15.7 (29)	2.2	4 „
100 „	15.8 (28)	15.8 (?)	15.1 (3/VIII)	0.7	6 „
200 „	затухла.				

Глубина.	Минимум.	Максимум.	Минимум.	Амплитуда.	Продолжительность периода от максимума до минимума.
17—24 июля т. г.					
10 „	19.3 (17)	22.1 (19)	19.3 (22)	2.8	5 „
25 „	19.1 (17)	22.0 (19)	19.2 (23)	2.9	6 „
50 „	18.1 (18)	18.6 (20)	17.9 (24)	0.7	6 „
100 „	затухла.				

22—25 июля т. г.					
10 „	19.3 (22)	20.5 (24)	19.7 (25)	1.2	3 „
25 „	19.2 (23)	20.2 (24)	19.5 (25)	1.0	2 „
50 „	затухла.				

4—19 января т. г.					
10 „	—3.4 (5)	—0.2 (12)	—2.2 (17)	3.2	12 „
25 „	—2.1 (5)	—0.4 (13)	—1.4 (17-18)	1.7	12 „
50 „	—1.1 (6-7)	—0.4 (14-15)	—0.6 (18-19)	0.7	12 „
100 „	перебои.				

В предшествующих главах подробно был рассмотрен температурный режим почвы в естественной обстановке, подразумеваемая под таковой ее ненарушенную обработкой структура и естественный травяной покров. Последний для однородности всегда поддерживался на одной высоте около 10 ст.

Различные условия, в которых наблюдалась температура почвы, были следующие: высокий естественный травяной покров, пар, овес и рожь с одной стороны, различные типы грядок с другой. Мы начнем наш обзор с наблюдений на паровом поле. Наблюдения производились на полевом участке в нескольких саженях от серии основных термометров. В отличие от метеорологической станции полевой участок находился непрерывно под обработкой. Площадка, на которой были установлены термометры было размером 14×15 метров, термометры были установлены на середине площадки. На глубине 1, 10, 25 см. термометры были Савинова, на 50 см. Шукевича. Наблюдения велись в 20-м году с 8-го мая до посева в начале августа. Участок, находился под черным паром, непрерывно поддерживавшимся свободным от растительности обработкой орудиями и полкой.

Вот средние температуры на пару и на аналогичных глубинах на станции.

			1 см.			10 см.			25 см.			50 см.		
			7	1	9	Ср.	7	1	9	Ср.	7	1	9	Ср.
Май	Пар. .		16.1	31.4	14.7	21.4	13.0	18.1	17.5	16.2	13.7	14.1	15.6	14.5
	Станц.		14.5	24.2	16.2	18.3	14.1	20.6	15.0	16.6	13.4	15.7	15.3	14.8
	Разн. .		+1.6	+7.2	-1.5	+3.1	-1.1	-2.5	+2.5	-0.4	+0.4	-1.6	+0.3	-0.3
Июнь	Пар. .		15.2	25.7	14.2	18.4	13.2	17.0	16.7	15.6	14.0	14.4	14.8	14.4
	Станц.		14.4	22.3	15.9	17.5	14.1	18.7	15.4	16.1	14.3	15.4	15.8	15.2
	Разн. .		+0.8	+3.4	-1.7	+0.9	-0.9	-1.7	+1.3	-0.5	-0.3	-1.0	-1.0	-0.8
Июль	Пар. .		20.4	33.2	18.3	24.0	17.3	22.8	21.3	20.5	—	—	—	—
	Станц.		18.2	28.3	19.9	22.1	17.9	23.5	18.5	20.0	—	—	—	—
	Разн. .		+2.2	+4.9	-1.4	+1.9	-0.6	-0.7	2.8	+0.4	—	—	—	—

+ — Пар теплее станции (залежи), — холоднее.

Сводя в общую таблицу получаем такой результат, показывающий насколько пар теплее или холоднее залежи в среднем за три летние месяца.

	7	1	9	Ср.
1 см.	1.5	5.2	—1.5	2.0
10 „	—0.9	—1.6	2.2	—0.2
25 „	0.0	—1.3	—0.4	—0.6
50 „	0.5	0.3	0.1	0.4

В общем итоге только верхний слой нагрет сильнее в паровом поле. Ниже лежащие слои 10—25 см. холоднее под паром; температуры же на 50 см. глубине в общем уже мало отличаются друг от друга. К сожалению должны здесь опять оговориться, что для решения поставленной задачи наших только трехсрочных наблюдений далеко недостаточно.

Сравнение по отдельным срокам наблюдений показывает, что начиная с утренних часов пар успевает уже прогреться в самом верхнем слое (1 см.) выше залежи. Колеблясь в средних за отдельные месяцы от 0°.8 до 2°.2, за лето в среднем утром пар теплее залежи на 1°.5. В полуденные часы пар теплее в среднем на 5°.0, в мае даже на 7°.2. Но как быстро пар нагревается, так быстро он и остывает. К 9 часам во все месяцы он на 1°.5 холоднее с поверхности. Мало того пар так простывает за ночь, что эта холодная волна на 10 см. сказывается целое утро и день и сглаживается только к вечеру: в 9 часов вечера пар на 10 см. теплее залежи.

С опозданием на полсутки теплая волна доходит до 25 см.; здесь максимум проходит ночью, ближе к утру. Глубины 50 см. теплая волна доходит на пару только на следующие сутки между 7 и 1 часом дня. На залежи теплая волна достигает этого слоя гораздо скорее — в ту же ночь. Причина запаздывания лежит повидимому в большей рыхлости почвы на паровом клину, чем на залежи.

Таково в среднем. Интересно расценить наш материал на наблюдениях в ясную и пасмурную погоду — посмотреть как увеличивается разница в солнечные дни и как сглаживается в пасмурные. Мы выбрали все дни, когда в срочные часы облачность была менее двух десятых. Таких дней оказалось 11, из них 10 пришлись на сухую погоду, когда по нескольку дней не было дождя, и один случай на сырой, за день — два до разбираемого случая выпало около 28 мм. дождя.

В ясные сухие дни почва прогревалась до следующей степени:

	4/V	16/V	20/V	24/V	18/VI	19/VI	20/VI	21/VI	4/VII	10/VII
пар	31.1	30.4	34.2	37.8	29.3	34.6	35.2	37.4	42.8	41.4
станция	21.2	21.0	26.5	29.9	22.7	25.6	27.8	29.0	32.4	33.7
разность	9.9	9.4	7.7	7.9	6.6	9.0	7.4	8.4	10.4	7.7

Как видно в отдельные дни разность доходит до 10°, в среднем же она около 8,5°. И при большой облачности в солнечные дни разности сохраняют свою величину, иногда даже бывают больше. Так например, 22/VII после четырех выше указанных сухих дней, несмотря на увеличившуюся до 5/10 облачность, на пару в 1 час дня было 39,6, на станции же 29,1, т. е. на 10,5 выше.

Иное дело, как и следовало конечно ожидать, наблюдается в пасмурную погоду. Тогда разности незначительны. Вот напр. один такой случай 28/V:

	7 ч.			1 ч.			9 ч.		
	пар.	ст.	разн.	пар.	ст.	разн.	пар.	ст.	разн.
1 см.	13.1	13.3	—0.2	26.2	21.5	4.7	11.8	13.8	—1.6
10 „	12.3	11.9	0.4	17.5	17.8	—0.3	16.6	13.3	3.3
20 „	14.6	13.9	0.7	14.5	15.2	—0.7	16.1	15.3	0.8
50 „	14.6	14.4	0.2	14.6	14.0	0.6	13.8	14.0	—0.2

Общий характер соотношения температур остается прежний, но различие в нагревании на поверхности ослабевает примерно на половину.

Разобранные случаи относятся к длительной сухой погоде, когда почва была сильно пересушена. Иную картину дает ход температур в сырой почве. Такой случай наблюдали 26—27/VII. После дождей выпавших 24—25 числа в количестве 12—15 мм., а всего около 28 мм. 26—27-го июня почва была конечно сильно увлажнена. Вот какие температуры наблюдались:

26/VII.

	7.			1.			9.		
	пар.	ст.	разн.	пар.	ст.	разн.	пар.	ст.	разн.
1 см.	18.1	19.9	—1.8	27.9	27.7	0.2	15.2	19.3	—4.1
10 „	17.9	18.8	—0.8	21.6	23.6	—2.0	19.6	18.8	0.8
25 „	—	18.7	—	—	19.8	—	—	20.1	—
50 „	18.3	17.8	0.5	18.3	17.7	0.6	17.8	17.9	—0.1

27/VII.

	7.			1.			9.		
	пар.	ст.	разн.	пар.	ст.	разн.	пар.	ст.	разн.
1 см.	15.9	15.9	0.0	28.7	27.8	0.9	17.6	20.8	—3.2
10 „	14.5	16.3	—1.8	21.1	22.5	—1.4	20.6	20.1	0.5
25 „	—	17.5	—	—	19.4	—	—	20.6	—
50 „	18.3	17.4	0.9	18.2	17.4	0.8	17.6	17.8	—0.2

Общий характер в распределении температур и здесь тот же. Но обращает внимание одинаковая температура поверхности в дневные часы и большие расхождения в вечерние часы в поверхностном слое. Повидимому это следует приписать значительному испарению с поверхности почвы.

В пасмурную погоду при сырой почве картина аналогична предшествующей: характер хода глубинных температур остается тот же а на полметре температуры почти сравниваются. Поверхностный слой прогревается на паровом поле также, как и в естественных условиях.

4/XI.

	7.			1.			9.		
	пар.	ст.	разн.	пар.	ст.	разн.	пар.	ст.	разн.
1 см.	4.2	10.5	—6.3	16.0	16.2	—0.2	10.0	12.7	—2.7
10 „	10.8	10.5	0.3	13.5	14.8	—0.7	12.8	12.7	0.1
25 „	13.0	12.5	0.5	12.6	13.3	—0.7	13.3	13.3	0.0
50 „	13.3	13.2	0.1	13.1	12.9	0.2	12.8	12.8	0.0

27/VII.

	7.			1.			9.		
	пар.	ст.	разн.	пар.	ст.	разн.	пар.	ст.	разн.
1 см.	14.0	16.2	—2.2	24.8	22.4	2.4	15.2	17.4	—2.2
10 „	15.1	15.2	—0.1	18.6	19.8	—1.2	17.2	17.8	0.4
25 „	15.6	15.4	0.2	15.6	16.7	—1.1	—	—	—
50 „	15.0	14.8	0.2	15.2	14.7	0.5	15.0	14.8	+0.2

Можно привести и еще ряд случаев, показавших бы, что сырая почва все равно в пасмурную или в ясную погоду в поверхностном слое (около 1-го сантиметра) имеет близкую температуру, что при паровом состоянии, что при естественном. На больших же глубинах различие, хотя и сохраняет в общем свой характер, но значительно сглаживает свои размеры.

Резюмируя все сказанное приходим к выводу, что при паровом состоянии поверхностный слой почвы прогревается в сухом состоянии значительно больше естественного, в особенности это сказывается в ясные солнечные дни, когда разность температур доходит до 10°, в пасмурные дни она падает до 5°.

В сырой почве, что в ясные, что в пасмурные дни различие в тепловом режиме значительно уравнивается. При чем это более заметно в пасмурную погоду. Влияние облачности здесь само собой понятно, что касается влажности почвы, то повидимому в влажной почве много тратится тепла на испарение, почему в ясные дни это различие и сглаживается. На то же указывает и большая разность температур поверхностного слоя в вечерние часы.

Следующим видом почвы в полевой обстановке мы ставим *почву под озимью*. В первое время, когда озимь еще не раскустилась, по внешним условиям эта почва больше подходит к парю. И температурные условия здесь тоже аналогичные. Озимь была посеяна в начале августа, термометры поставлены через пять дней после посева и вот результаты наблюдений за 25 дней августа:

	7.	1.	9.	Ср.	Амплитуда.
1 см.	15.5	25.6	15.6	18.9	10.1
5 „	14.6	20.2	17.8	17.5	5.2
10 „	15.9	17.5	18.4	17.3	2.5
25 „	17.0	17.2	17.7	17.3	0.7

Эти цифры представляют ряд интересных выводов. Во первых это то, что общий режим температуры почвы в конце лета также сказывается и на почве под паром. Именно наступает инверсия и потому летнее падение температуры с глубиной здесь сказывается слабо: всего на 1,6 на 25 см. (в мае пар 6,9 станция 3,5). Во вторых, что суточный максимум в мае в слое 1—5 см. приходится также на полуденные и послеполуденные часы, на 10—25 см. в вечерние часы.

Сентябрьские и октябрьские наблюдения происходили уже на озими, покрывшей почву довольно густым покровом, в особенности в октябре. Высота его была от 8 до 15 см.

		Сентябрь.				Октябрь 1-я декада.			
		7.	1.	9.	Ср.	7.	1.	9.	Ср.
1 см.	Озимь	8.4	16.1	11.0	11.8	4.8	7.3	5.3	5.8
	Станция	9.2	14.9	11.3	11.8	4.0	7.0	4.2	5.1
5 см.	Озимь	—	—	—	—	5.8	7.1	6.3	6.4
	Станция	—	—	—	—	—	—	—	—

		Сентябрь.				Октябрь 1-ая декада.			
10 см.	Озимь	11.1	12.5	13.0	12.3	7.0	7.3	7.4	7.2
	Станция	9.6	14.0	11.2	11.6	4.6	6.4	4.7	5.2
25 см.	Озимь	12.4	12.4	12.7	12.5	8.1	8.2	7.9	8.1
	Станция	11.5	12.2	12.4	10.0	6.4	6.6	6.6	6.5
		Октябрь 2-ая декада.				Октябрь первая половина 3-ей декады.			
		7.	1.	9.	Ср.	7.	1.	9.	Ср.
1 см.	Озимь	4.3	5.7	4.9	5.0	1.2	1.6	1.1	1.3
	Станция	3.6	5.5	4.3	4.5	—	—	—	—
5 см.	Озимь	4.9	5.4	5.4	5.3	2.0	2.1	2.3	2.1
	Станция	—	—	—	—	—	—	—	—
10 см.	Озимь	5.9	6.0	6.2	6.0	3.2	3.3	3.3	3.3
	Станция	4.2	5.5	4.6	4.8	—	—	—	—
25 см.	Озимь	6.8	6.9	6.7	6.8	4.2	4.2	4.0	4.1
	Станция	5.7	5.9	5.8	5.8	—	—	—	—

Таблица показывает, что в озими в сентябре—октябре мы имеем уже иную картину, чем в почве в естественном состоянии. Во первых она значительно теплее последней: в сентябре гл. обр. на больших глубинах, в октябре на всех. Это превышение достигает в среднем за декаду до $1^{\circ}5-2^{\circ}0$. Во вторых по сравнению с летом резко уменьшаются суточные колебания, как в глубинных, так и в поверхностном слое. В сентябре на глубине 10 см. разность между наивысшей и наинизшей температурой по срочным наблюдениям в среднем была около 2° , тогда как в мае—июле $4^{\circ}-5^{\circ}$. В октябре эта разность совсем ничтожна. И лишь в поверхностном слое колебания в первую декаду около $2^{\circ}5$, во вторую— $1^{\circ}4$, в третью же только $0^{\circ}5$. Обращает внимание, что с сентября 10 см. слой по своему режиму суточных температур приближается к 25 см-ому: максимум т-ры вместо полуденных часов переходит на вечерние, что указывает на худшую передачу тепла в более глубокий слой. Причиной всех этих изменений надо считать именно присутствие нового фактора—*густого, хотя и не высокого растительного покрова*—озими, которая воспринимает на себя все внешние тепловые воздействия. Не стоит оговариваться, что как по залежи, так и по озими в сентябре и октябре более глубокие слои или были теплее верхних.

Особого внимания заслуживают наблюдения последней декады октября, когда начались заморозки. Они начались еще во второй половине сентября, в начале октября доходя до $-3^{\circ}5$ на поверхности почвы, но в глубину не распространялись. Лишь после *двух морозных дней* 19 и 20/X с минимумом в $3^{\circ}0-4^{\circ}7$ ниже нуля по за-

лежи по глубине 1 см. температура понизилась до -0.3 , на озими же было $+0.8$. На следующий день тепла было не более 1° . почва же получила тепло более глубоких слоев и термометры показывали: в 7 часов утра $\frac{\text{озимь } 1.7}{\text{станц. } 1.2}$; в 1 час $\frac{\text{озимь } 3.0}{\text{станц. } 2.5}$; в 9 часов $\frac{\text{озимь } 1.7}{\text{станц. } 2.0}$. В следующие дни (с 22-го) начались регулярные заморозки значительной силы ($4^\circ-10^\circ$), на залежи уже с 23-го температура падала ниже нуля во всем слое 1—10 см. На озими же отрицательные температуры появлялись лишь 26-го на 1 см., 27-го на 5 см и 29-го на 10 см. т. е. на 3—6 дней позже. После 25-го мороза 30 октября на залежи замерз и 25 см-ый слой, на озими же в нем было 1.6 тепла. В конце октября выпал снег и вся первая декада ноября прошла при снежном покрове. На зеленях он лежал плотной пеленой и это повидимому еще более способствовало сохранению тепла. На залежи почва промерзла до 25 см., в зеленях на 10 см. было $0.2-0.3$ тепла. После оттепелей, согнавших весь снег во второй декаде, в третью снова начались заморозки, вначале без снежного покрова, потом с очень плохим в 3—5 см. На залежи снова почва промерзла до 25 см., на озимях на 10 см. было $0.4-0.8$ тепла. И лишь в декабре после устойчивых морозов сильнее 15° при незначительном снежном покрове температура ниже нуля установилась в озими в слое 10—25 см. На последней глубине однако, как только несколько спустились морозы почва восприняла тепло с глубины и температура повысилась до $0.1-0.2$ тепла. На сколько же теплее была почва под озимыми видно хотя бы из декадных средних за 11—20/XII в час дня:

	10 см.	25 см.	50 см.
Озимь	-2.0	-0.4	—
Станция	-5.2	-3.9	-1.4

Итак, в озими вначале ее развития, пока она не прикрыла почву, температурный режим мало отличается от пара. В дальнейшем, когда она покрывает почву плотным, густым, хотя и низким покровом, температурные условия заметно меняются, а именно почва под озимью значительно теплее, чем в залежи. колебания температуры в ней незначительны и промерзает она позже ее и мельче как в более сухом, так и в более сыром состоянии.

Переходим теперь к рассмотрению температурных условий в овсяном поле. Наблюдения производились также в 1920 году на полевом участке Отдела на расстоянии нескольких саженей от метеорологической станции и от парового поля, где велись выше указанные наблюдения. Посев овса был произведен 30-го апреля рядовой сеялкой, всходы на всем участке появились к 14-му мая. К 21-му мая

высота растений была 9 см., к 31-му—14 см. Майские наблюдения поэтому приходится разделить по крайней мере на два периода, когда растений или еще не было или они мало затеняли землю и когда это последнее произошло. Термометры были поставлены 8-го мая днем. И первые дни т-ры под паром и овсом были в поверхностном слое (1 см.) приблизительно одинаковы.

	9/V			10/V		
	7	1	9	7	1	9
Пар . .	12.0	19.6	11.7	11.2	27.6	13.1
Овес . .	11.7	18.9	12.3	11.5	24.5	13.7

Во втором периоде наблюдалось в среднем в последнюю декаду мая при высоте растений 10—15 см.

Пар.			Овес.			Станция.		
7	1	9	7	1	9	7	1	9
17.2	35.1	15.0	22.5	36.0	14.9	15.7	27.4	16.4.

Обращают внимание значительно более высокие температуры под овсом, чем под паром в утренние часы, полуденные и вечерние дают величины пока еще одинаковые.

Что касается больших глубин, то как видно из следующих чисел:

	Пар.			Овес.			Станция.		
	7	1	9	7	1	9	7	1	9
10 см.	13.0	18.1	17.5	13.2	18.7	18.2	14.1	10.6	15.0
15 „	13.7	14.1	15.6	13.8	14.4	15.9	13.4	15.7	15.3
50 „	13.0	13.0	12.6	13.0	13.3	13.1	12.5	12.8	12.7

Температура была все сроки несколько выше под овсом по сравнению с паром. Июньские и Июльские наблюдения дают следующую картину:

	И ю н ь.								
	7			1			9		
	П.	О.	Ст.	П.	О.	Ст.	П.	О.	Ст.
1 см.	15.2	13.4	14.4	15.1	15.0	22.3	14.2	15.1	15.9
10 „	13.2	13.3	14.1	17.0	16.8	18.7	16.7	15.2	15.7
25 „	14.0	14.2	14.3	14.4	14.4	15.4	14.8	15.6	15.8
50 „	14.1	13.7	13.9	14.1	14.1	13.8	13.8	14.2	13.9

И ю л ь.

	7			1			9		
	П.	О.	Ст.	П.	О.	Ст.	П.	О.	Ст.
1 см.	20.4	18.4	18.2	33.2	31.8	28.3	18.3	20.1	19.9
10 „	17.3	16.0	17.9	22.8	22.0	23.5	21.3	22.1	18.5
25 „	—	18.0	18.0	—	18.2	19.5	—	19.8	14.2
50 „	18.2	16.8	17.3	18.5	16.6	17.2	17.9	16.6	17.4

В утренние часы поверхностный слой почвы под овсом прогревается почти на 2° меньше, чем пар, и на 1° меньше дерна на станции. Это по-видимому результат затемнения растениями, которых высота в течении месяца с 18 см. возросла до 36, в июле до 56 см. Тоже происходит и в дневные часы. Что касается вечерних, то густой покров в июле хорошо предохраняет почву от остывания и в 9 часов вечера например поверхностный слой под овсом на 2° теплее пара. На больших глубинах 10—25 см. температуры в срочные утренние и дневные часы одинаковы—вечерние выше. Глубина 50 см. дает очень незначительный суточный ход, по характеру своему приближающим более к пару. При этом в июле—при густом растительном покрове—температура ниже, чем на пару и в дернине.

В итоге мы получаем такую картину. Первое время развития температурные условия в овсяном поле схожи с паром. По мере роста растений намечается различие—поверхностный слой прогревается меньше градуса на два, но зато дольше держит тепло в вечерние часы. Это в особенности резко выступает в июле при наличии густого и высокого покрова. Что касается больших глубин (10—25 см.), то в среднем условия почти одинаковые.

Это в среднем. А любопытно посмотреть, что происходит в пасмурные или ясные дни подобно тому, как мы это сделали для пара. Следующая таблица дает это.

Май 24.				Июнь 20.				Июль 4.			
	7	1	9	7	1	9		7	1	9	
1 см.	п	17.6	37.8	15.1	14.6	35.2	15.4	27.4	42.8	22.6	
	о	20.1	38.1	14.6	13.8	32.6	16.8	21.8	37.0	23.8	
10 см.	п	16.7	20.4	20.0	13.0	18.7	18.2	18.8	25.2	23.6	
	о	15.7	21.1	20.0	12.4	18.4	18.4	16.8	23.1	23.4	
25 см.	п	16.2	17.4	18.0	14.6	15.0	16.7	—	—	—	
	о	16.3	16.6	18.2	14.4	15.0	16.6	17.2	17.8	19.8	
50 см.	п	15.0	15.1	14.5	14.3	14.4	14.0	18.5	17.5	17.1	
	о	14.9	14.8	14.5	14.1	14.0	13.7	15.9	15.9	15.9	

п—пар, о—овес.

Числа ясно показывают действие растительного покрова на температуру почвы. И чем выше растительность, тем на большую глубину сказывается этот эффект. Обычно же глубинные температуры

начиная с 10 см. различаются мало. Обращает внимание заметно более низкая температура почвы на глубине 50 см. Не есть-ли это действие влажности почвы: на паровом поле она выше, а потому почва лучше проводит тепло. (?)

В пасмурную погоду различие небольшое; в дождливую—овсяное поле приближается к условиям дерна, а именно утром и днем температуры близки, в вечерние часы оно теплее пара, но все же холоднее дерна.

Следующим растением мы берем *рожь*. Мы уже разобрали температурные условия осенью на озимом поле. Теперь переходим к весенним месяцам. Наблюдения были начаты немедленно после схода снега. В первый же день после схода температура почвы днем поднялась до $6^{\circ}.1$ в поверхностном слое, до $2^{\circ}.5$ на 10 см. На 10—25 см. она была уже выше нуля все сутки и лишь на 50 см. температура была около $0,0$ или $0^{\circ}.1$. На почве в естественном состоянии (залежи) т-ра была на 10 см. от $-0^{\circ}.3$ до $+1^{\circ}.0$, на 25 см: от $-0^{\circ}.1$ до $+0^{\circ}.1$, на 50 см. см. 0.0 . В последующее время примерно всю первую декаду 10 см-ый слой был теплее в ржи, чем в залежи, на 25—50 см. почти весь месяц. В мае—июне по мере развития растений днем ржаное поле прогревалось меньше с поверхности, но дольше держало тепло в вечерние часы. В более глубоких слоях 25—50 см.—различие собственно говоря небольшое. Обращает внимание только заметно больший суточный ход: в среднем разность между наивысшим и наименьшей температурой по срочным наблюдениям в среднем была:

на 25 см. в июне около $2^{\circ}.0$ в июле*) около $3^{\circ}.0$
 „ 50 „ „ „ $1^{\circ}.0$ „ „ $1^{\circ}.5$

Повидимому это стоит в связи с влажностью почвы: под ржаным полем она была меньше.

Последним из изучавшихся условий была почва под травяным покровом в естественном состоянии. Термометры были Шукевича на две глубины: на 25 и 50 см. Вот результаты:

	Май.			Июнь.			Июль.		
	7	1	9	7	1	9	7	1	9
станция . .	13.4	15.7	15.3	14.3	15.4	15.8	—	—	—
25 см. трава	13.1	14.2	14.3	13.8	14.2	14.6	17.6	19.0	19.5
станция . .	12.5	12.8	12.7	13.9	13.8	13.9	17.2	17.2	17.4
50 см. трава	11.8	11.9	11.6	13.2	13.7	13.7	16.0	16.5	16.2
Высота травы	5—30 см.			30—50 см.			около 50 см.		

*) За первую декаду.

Наблюдения показывают, что травяной покров мешает почве в естественном состоянии прогреваться и тем больше, чем выше покров. Обращает внимание увеличивающийся суточный ход на обеих глубинах в середине лета в почве под травой. Повидимому это также как и в ржи влияние уменьшения влажности почвы, которая под густой травой более расходуется, чем под всегда подстригавшейся до высоты 5—10 см. на залежи.

Таков тепловой режим почвы под паром и различными сельскохозяйственными культурами при условии ровной поверхности. Иную картину наблюдаем на грядках и на бороздах, которые можно считать как частный случай грядки.

Об этом в следующей статье.

С. Небольсин.

Направление и скорость ветра до высоты 3000 метров.

В. А. Ханевский.

ВВЕДЕНИЕ.

По вопросу об изменении ветра по вертикали в свободной атмосфере имеется довольно большая литература, но несмотря на это вопрос этот далеко еще не получил той разработки, которая соответствовала бы тому огромному значению, какое имеет он для динамической метеорологии, и тому большому интересу, какой представляет он в практическом отношении.

Одни из существующих научных работ основываются на малочисленном наблюдательном материале, а потому полученные в них выводы недостаточно надежны, так как ветер является одним из самых капризных метеорологических элементов; другие рассматривают изменение ветра с высотой в некоторых специальных случаях, преимущественно в главных барических системах; наконец, третья группа работ представляет собой простые суммарные сводки. В некоторых из этих работ даются даже формулы для изменений скорости ветра с высотой, но рядом же приводятся значения постоянных, входящих в формулы, для каждой высотной ступени.

Желая подвергнуть более тщательному изучению вопрос и таким образом восполнить существенный пробел в области метеорологического знания, мною и была предпринята настоящая работа. Материалом для нее послужили подъемы змеев и привязных шаров, произведенные с 1905 по 1913 год в Линденбергской Аэронавтической Обсерватории, этой лучшей в мире Обсерватории по исследованию высоких слоев свободной атмосферы. Так как скорость ветра, как показано А. Перплером¹⁾, академиком Рыкачевым²⁾ и более обстоятельно мною³⁾, по крайней мере до высоты 4000 метров, под-

¹⁾ А. Перплер. Der tägliche Gang der Windgeschwindigkeit bis 2000 m. über Lindenberg. Beitr. z. Physik d. fr. Atmosphäre. Bd VI, 1913, стр. 32.

²⁾ М. Рыкачев. Некоторые результаты исследований разных слоев атмосферы, произведенных помощью змеев в Павловске с 1904 по 1911 г. Геофиз. Сбор. Т. I. вып. 1, стр. 94.

³⁾ В. Ханевский. Суточный ход скорости ветра в своб. атм. до высоты 3000 м. Метеор. Вестник. 1919 г., стр. 89.

вержена суточным изменениям, то пришлось ограничиться только утренними подъемами (7—11 час.) Далее, стремясь получить средние величины по возможности из одинакового числа случаев, ибо только при этом условии, строго говоря, они сравнимы между собою, с одной стороны, и так как высота отдельных подъемов различна—с другой, то я исключил все те подъемы, которые не достигали 2000 метров, а к более высоким применил метод дифференций, т.е. для этих подъемов вычислил не простые средние из наличных чисел, а средние из их разностей относительно значений на высоте 2000 метров, которые затем прибавлялись к средним значениям на этой последней высоте. Всего таким образом выбранных подъемов оказалось 2548, которые довольно равномерно распределены по месяцам:

Январь.	Февраль.	Март.	Апрель.	Май.	Июнь.	Июль.	Август.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.
182	180	199	211	216	237	221	230	235	230	215	192

Из этих 2548 подъемов произведены 41 в Рейниккендорфе (40 м. н. у. м.) близ Берлина, а остальные в Линденберге (122 м. н. у. м.), расположенном в 68 километрах к юг—юго-востоку от Берлина. По годам подъемы распределены также довольно равномерно:

Год	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913
Число подъем.	243	270	248	276	265	283	302	321	330

В среднем на год приходится, следовательно, 283 подъема.

Практически, особенно важно знание движений воздуха в приземном слое толщиной в несколько десятков метров. Аэрологический материал вообще и в частности легший в основу настоящей работы не дает данных для этого. Поэтому я воспользовался наблюдениями на Науэнской радиостанции, производившимися с декабря 1912 по август 1916 г. по инициативе и специальным установкам G. Hellmann'a и под его непосредственным руководством на высотах 2, 16, 32, 123 и 258 м. над почвой¹⁾. Измерялась при этом только скорость ветра с помощью регистрирующих анемометров. Поэтому эта серия наблюдений рассматривается во второй части настоящей работы.

¹⁾ Meteor Zeitschr. Bd 33, 1915, стр. 1 и Bd. 35. 1917, стр. 273.

1. Направление ветра.

1. Повторяемость различных направлений ветра. Ветры того или другого направления встречаются на различных высотах неодинаково часто. В годовом среднем наибольшее процентное число, как показывает таблица 1, приходится вблизи земной поверхности на юго-западные ветры; начиная с высоты 500 м., преобладающее значение получают запад—юго-западные и запад-северо-западные ветры, при чем число тех и других почти одинаково. Наиболее

Таблица 1.

Повторяемость ветров в %.

Высота м.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Штгль.
	З И М А.																
122	1	—	4	3	4	8	6	7	5	8	17	11	7	10	6	3	—
500	1	2	2	2	3	4	6	4	3	6	13	15	8	15	11	5	—
1000	2	1	3	2	2	5	6	3	2	5	13	14	8	16	12	5	1
1500	2	2	4	1	1	5	5	3	3	5	10	14	9	17	11	7	1
2000	2	2	3	2	1	4	6	3	2	6	12	12	9	15	13	7	1
2500	2	2	4	2	1	4	5	3	2	6	12	13	9	14	13	7	1
3000	2	2	4	2	1	4	5	3	2	6	15	13	9	13	12	6	1
	В Е С Н А.																
122	4	3	6	5	5	7	7	4	4	5	10	9	9	11	7	4	—
500	3	4	4	5	4	7	7	4	3	6	9	11	6	14	9	4	—
1000	2	4	4	4	3	7	7	4	2	5	10	12	7	14	9	5	1
1500	2	3	4	3	3	8	7	4	2	5	10	12	7	12	10	6	2
2000	3	3	4	3	3	6	7	5	2	6	10	11	7	12	11	5	2
2500	3	3	4	3	3	6	8	4	2	6	11	12	6	12	10	5	2
3000	3	3	4	3	3	7	7	4	2	6	11	12	6	12	10	5	2

Высота м.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Шталь.
Л Е Т О.																	
122	3	3	4	3	3	4	5	2	2	5	11	12	10	19	9	4	1
500	2	3	4	3	2	4	4	2	2	3	10	12	11	20	13	5	—
1000	3	3	3	3	2	4	3	2	2	3	10	13	9	21	13	4	2
1500	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3	10	14	9	21	13	4	2
2000	2	4	3	3	2	3	3	2	2	3	10	14	9	20	13	4	3
2500	2	5	3	3	2	2	3	2	2	3	10	14	8	19	14	4	4
3000	1	5	4	2	2	1	3	2	1	4	10	14	8	18	16	5	4
О С Е Н Ь.																	
122	2	2	4	5	6	5	6	6	6	7	13	11	8	7	7	3	2
500	2	2	4	4	3	7	6	5	2	7	14	14	8	11	8	3	—
1000	1	3	3	4	3	7	5	5	2	5	13	15	8	11	9	4	2
1500	1	3	3	4	2	6	6	4	2	6	12	15	8	12	9	5	2
2000	1	2	3	3	3	5	7	4	2	6	12	16	8	11	9	6	2
2500	1	3	2	2	2	5	7	4	2	6	13	16	8	12	9	6	2
3000	1	3	2	2	2	4	7	4	2	6	13	17	8	11	9	6	3
Г О Д.																	
122	2	2	4	4	5	6	6	5	4	6	14	10	8	12	8	3	1
500	2	3	4	4	3	6	6	4	2	4	12	13	8	15	10	4	—
1000	2	3	3	3	2	6	6	4	2	5	11	14	8	15	10	4	2
1500	2	3	4	3	2	6	5	3	2	5	11	14	8	15	10	5	2
2000	2	3	4	2	2	4	6	3	2	5	11	14	8	15	11	6	2
2500	2	3	4	2	2	4	5	4	2	6	11	14	8	14	11	6	2
3000	2	3	4	2	2	4	5	4	2	6	12	14	8	13	11	6	2

редкими у земной поверхности являются северные и северо-восточные ветры; вверху положение минимума расплыв-

чато, минимум падает на северный, восток-северо-восточный, восточный и южный румбы.

Зимой наиболее часто дуют внизу юго-западные, между 500 и 2500 м. запад-северо-западные ветры, выше максимум переходит на юго-западный румб, как у земной поверхности. Наиболее малочисленны на всех высотах ветры северные, север-северо-восточные, восток-северо-восточные, восточные и южные.

Весною и особенно летом во всей рассматриваемой нами толще атмосферы преобладающими являются запад-северо-западные ветры. Весной на высоте 2500 м. преобладающие ветры, повидимому, имеют стремление к повороту влево, как в зимнее время года, но здесь это стремление выражено слабее. Минимальную повторяемость имеют весною южный, летом восточный, юг-юго-восточный, южный и северный ветры.

Осенью наиболее часты внизу юго-западные, а с высоты 500 м. запад-юго-западные ветры. Минимум в это время года падает на северный ветер.

Таким образом, наибольшее отклонение на север преобладающих ветров наблюдается летом, наименьшее осенью, что можно объяснить господствующим в наших широтах движением циклонов и антициклонов и вообще более высоких слоев атмосферы. Зимой и весной замечается тенденция к отклонению влево с высоты 2500 м., к восстановлению направления ветра, дующего у земной поверхности.

Для облегчения обзора ветры сгруппированы мною также по 4 главным румбам. Результаты этой группировки приведены в таблице 2.

Западные ветры являются преобладающими, особенно летом, когда на этот румб приходится больше половины всех ветров. Рас-

Таблица 2.

Процентное распределение ветров по квадрантам.

Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
Квадрант.	З И М А.						
N	9,0	14,5	15,5	18,5	19,0	19,5	18,0
E	20,0	13,0	13,5	11,5	11,5	11,5	11,5
S	31,5	22,5	19,5	18,5	20,5	19,5	21,0
W	39,5	50,0	50,5	50,5	48,5	48,5	48,5

Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
Квадрант.							
	В	Е	С	Н	А.		
N	17,5	17,5	17,5	18,0	18,5	18,0	18,0
E	23,5	21,5	19,5	19,5	17,5	18,0	18,5
S	21,5	21,0	19,5	19,5	21,5	21,5	21,0
W	37,5	40,0	42,5	41,0	40,5	40,5	40,5
	Л	Е	Т	О.			
N	16,5	18,5	18,5	18,0	18,0	19,5	21,0
E	14,5	13,0	12,0	11,0	11,0	10,0	8,5
S	17,0	14,0	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
W	51,0	54,5	54,5	55,5	54,5	53,0	53,0
	О	С	Е	Н	Б.		
N	12,5	13,0	14,0	15,0	15,0	15,5	15,5
E	21,0	19,0	18,0	16,5	16,0	13,5	12,5
S	28,5	24,0	21,0	21,0	21,5	22,0	22,0
W	36,0	44,0	45,0	45,5	45,5	47,0	47,0
	Г	О	Д.				
N	13,8	15,9	16,1	17,3	17,6	18,2	18,2
E	19,7	16,6	15,6	14,5	14,0	13,3	12,9
S	24,7	20,4	18,3	18,1	19,1	19,2	19,6
W	41,0	47,1	48,3	48,1	47,3	47,3	47,3

сма тривая повторяемость главных направлений ветра в их вертикальном распределении, видим, что в годовом среднем она наиболее сильно изменяется между земною поверхностью и 500 м., при чем это изменение для северных и западных ветров положительно, а для восточных и южных ветров отрицательно.

Северные ветры увеличиваются в числе до высоты 2500 м., где они достигают своего максимума, выше число их остается без изменения; наиболее сильное изменение происходит зимой.

Восточные ветры убывают с высотой непрерывно; их максимум у земной поверхности, а минимум на высоте 3000 м. Быстрее всего уменьшаются они зимой и летом. Незначительное распространение вверх восточных ветров обнаружено было впервые А. Версоп'ом¹⁾ в 1900 году.

Южные ветры имеют минимум на высоте 1500 м.; наиболее малочисленны они летом.

Западные ветры достигают своего максимума на высоте 1500 м.; уменьшившись затем приблизительно на один процент, число этих ветров остается постоянным.

Соединяя ветры с восточной и западной слагающей отдельно, получаем две группы (табл. 3), из которых одна содержит, считая по часовой стрелке, ветры $N_{1/2}-S_{1/2}$, а другая $S_{1/2}-N_{1/2}$. Изменение ветров той и другой группы с высотой происходит главным образом на первых трех ступенях; выше оно или совершенно прекращается, как зимой и весной, или очень незначительно, как летом и осенью. В годовом среднем ветры с западной слагающей превосходят по числу ветры с восточной слагающей у земной поверхности приблизительно в 2, а на высоте 3000 м. в 3 раза. Наиболее быстрое уменьшение числа ветров первой

Таблица 3.

Изменение ветров с восточной и западной слагающей с высотой в ‰.

Группы.	Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
		З И М А.						
Группа с Е слаг.		35	25	24	23	23	23	23
„ „ W „		65	75	75	76	76	76	76
		В Е С Н А.						
Группа с Е слаг.		41	38	35	34	34	34	34
„ „ W „		59	62	64	64	64	64	64

¹⁾ Wissenschaftliche Luftfahrten. Bd. III. 1900, стр. 207.

Г р у п п ы.	В ы с о т а м.						
	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
Л Е Т О.							
Группа с Е слаг.	27	24	23	22	22	22	20
„ „ W „	72	76	75	76	75	74	76
О С Е Н Ь.							
Группа с Е слаг.	38	35	31	29	28	26	25
„ „ W „	60	65	67	69	70	72	72
Г О Д.							
Группа с Е слаг.	35	32	29	28	26	26	26
„ „ W „	64	68	69	70	72	72	72

группы и увеличение второй происходит осенью и зимой, наиболее медленное весной.

Совершенно такой же результат получен был Көррен¹⁾ для Гамбурга: у поверхности земли ветры восточного направления наблюдаются там в 34%, а выше 2200 м. в 26% всех случаев. Воспользовавшись таблицей повторяемости различных направлений ветра, данной Рыкачевым²⁾ для Павловска по наблюдениям с 1904 по 1911 год, и произведя группировку, я получил соответственно у земной поверхности и на высоте 1500 м. для ветров западного направления 66% и 73%, а для ветров восточного направления 34% и 27%, т.-е. результат опять-таки очень близкий к найденному мною для Линденберга. Очень интересен результат, полученный А. Негу³⁾ из наблюдений в 1908 и 1909 гг. в Mount Weather Обсерватории: при подъемах, превышающих 1000 м., направление ветра было у земной поверхности в 58% западное (NW до SE) и в 25% восточное (NE до SE), а выше 1000 м. в 79% ветер имел западное и лишь в 7% восточное направление; для высот от 3000 до 4000 м. получено было

¹⁾ W. Kөрren. Die Windrichtung in 800 Drathenaufstiegen bei Hamburg 1908/9. Ann. d. Hydr. u. Marit. Meteor. 1908: стр. 50.

²⁾ М. Рыкачев. Некоторые результаты исследований и пр. Геофиз. Сбор. Т. I, вып. I, стр. 96.

³⁾ А. Негу. The Changes of the wind with Altitude. Bulletin of the Mount Weather Observatory. Vol. II, Part 6. 1910, стр. 362.

даже 88% для западных и всего 3% для восточных ветров. Малая высота восточных ветров в С. Америке сравнительно с Европой является, вероятно, одной из особенностей более сильной циркуляции атмосферы над этим материком.

Повторяемость ветров с восточной и западной слагающей имеет ясно выраженный годовой ход с двумя максимумами и двумя минимумами. Ветры первой группы имеют главный максимум весной и вторичный осенью; главный минимум у них падает на летнее, вторичный на зимнее время года. Ветры с западной слагающей имеют годовой ход обратный.

2. Среднее направление ветра на разных высотах. Умножая число ветров различных направлений на соответствующие средние скорости и применяя формулу Lambert'a, находим средние направления ветра на разных высотах и их процентное отношение к общему числу ветров. Из таблицы 4 мы видим прежде всего, что по мере удаления от земной поверхности ветры становятся более однородными по своему

Таблица 4.

Среднее направление ветра и его процентное отношение к общему числу ветров.

Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000	Среднее.
Январь.	S16°W 26	S66°W 28	S82°W 28	W 30	W 2°N 33	S88°W 33	S83°W 34	S74°W 30%
Февраль.	S55°W 28	S81°W 44	W 2°N 44	W 5°N 47	W10°N 43	W11°N 41	W20°N 43	W 41%
Март.	S44°W 31	S56°W 33	S65°W 37	S67°W 39	S68°W 38	S65°W 39	S59°W 42	S61°W 37%
Апрель.	S72°W 13	W 4°N 15	S88°W 20	S75°W 22	S 84°W 23	S81°W 24	S81°W 24	S82°W 20%
Май.	W38°N 12	W32°N 10	W 7°N 12	W 9°N 19	W 9°N 22	W 6°N 22	W20°N 22	W17°N 17%
Июнь.	W 5°N 30	W 6°N 34	W 7°N 38	W 4°N 40	W 2°N 41	W 3°N 42	W 6°N 38	W 5°N 38%

Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000	Среднее.
Июль.	W 1°N 38	W 14°N 42	W 14°N 44	W 12°N 48	W 11°N 49	W 13°N 51	W 12°N 52	W 11°N 46%
Август.	S 84°W 44	W 5°N 51	W 6°N 54	W 3°N 54	W 1°N 56	W 55	W 1°N 51	W 1°N 52%
Сентябрь.	W 21	W 24	W 2°N 28	W 5°N 31	W 4°N 34	W 5°N 33	W 8°N 33	W 3°N 29%
Октябрь.	S 1°E 26	S 39°W 29	S 47°W 30	S 54°W 32	S 60°W 34	S 62°W 35	S 60°W 34	S 46°W 31%
Ноябрь.	S 50°W 23	S 65°W 37	S 73°W 42	S 82°W 40	S 77°W 41	S 77°W 47	S 75°W 48	S 71°W 40%
Декабрь.	S 46°W 35	S 75°W 40	S 80°W 42	S 84°W 39	S 84°W 41	S 80°W 46	S 76°W 48	S 75°W 42%
Зима.	S 39°W 30	S 74°W 37	S 85°W 38	W 39	W 2°N 39	W 40	W 42	S 85°W 38%
Весна.	S 51°W 19	W 1°N 19	S 83°W 23	S 80°W 27	S 84°W 28	S 81°W 28	S 83°W 29	S 79°W 25%
Лето.	W 37	W 8°N 42	W 9°N 45	W 6°N 47	W 5°N 49	W 5°N 49	W 6°N 47	W 6°N 45%
Осень.	S 46°W 23	S 65°W 30	S 71°W 33	S 77°W 34	S 77°W 36	S 78°W 38	S 78°W 38	S 70°W 33%
Г о д.	S 56°W 27	S 82°W 33	S 84°W 35	S 86°W 36	S 87°W 38	S 86°W 39	S 87°W 39	S 81°W 35%

направлению, процентное отношение преобладающих ветров вообще увеличивается с высотой. Далее, летом и зимою ветры однороднее, чем в переходные времена года; весной, когда атмосфера отличается наибольшей неустойчивостью, направления ветров наиболее разно-

образны. Из отдельных месяцев наибольшим постоянством в отношении направления ветра отличаются февраль, июль и в особенности август, в котором на преобладающее направление падает больше половины всех ветров, наименьшим — апрель и май. В среднем за год для всего столба воздуха высотой в 3000 м. ветер имеет направление S 81° W, т.-е. западное с небольшим южным компонентом, что вполне согласуется с общим распространением давления и действующими на движущийся воздух силами.

3. Изменение направления ветра с высотой. Переходя к изменению направления ветра с высотой, рассмотрим прежде всего, насколько часто бывают на различных высотах правые и левые вращения ветра и случаи, когда ветер вовсе не меняет своего направления (табл. 5). Ветер во все месяцы, за исключением июня и июля, в значительном большинстве случаев при поднятии с земной поверхности на высоту

Таблица 5.

Число случаев с правым (+) и левым (—) вращением и без вращения (0) ветра в ‰.

Враще- ние.	122/500	500/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	2500/3000	122/500	500/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	2500/3000
Я Н В А Р Ь.							Ф Е В Р А Л Ь.					
+	66	27	16	16	12	11	55	31	23	22	12	15
—	7	14	13	6	5	12	10	17	11	9	8	11
0	27	59	71	78	83	77	35	52	66	69	80	74
М А Р Т.							А П Р Е Л Ь.					
+	55	25	22	13	14	8	47	20	17	16	12	7
—	9	15	9	12	9	8	15	10	14	12	6	9
0	36	60	69	75	77	84	38	70	69	72	82	84
М А Й.							И Ю Н Ь.					
+	45	26	19	16	11	11	39	23	16	13	12	14
—	12	13	15	12	12	12	18	16	18	12	8	14
0	43	61	66	72	77	77	43	61	66	75	80	72
И Ю Л Ь.							А В Г У С Т.					
+	40	16	15	12	14	10	50	22	19	14	9	9
—	16	15	10	11	8	8	14	13	14	10	9	12
0	44	69	75	77	78	82	36	65	67	76	82	79

Враще- ние.	122/500	500/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	2500/3000	122/500	500/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	2500/3000
С Е Н Т Я Б Р Ь.							О К Т Я Б Р Ь.					
+	48	25	18	18	12	11	61	26	24	15	10	8
—	14	15	14	9	7	8	12	13	10	7	8	9
0	38	60	68	73	81	81	27	61	66	78	82	83
Н О Я Б Р Ь.							Д Е К А Б Р Ь.					
+	60	25	20	15	12	9	72	28	23	16	12	9
—	10	11	11	10	8	6	7	15	12	9	9	7
0	30	64	69	75	80	85	21	57	65	75	79	84
З И М А.							В Е С Н А.					
+	64	29	21	18	12	12	49	24	19	15	12	9
—	8	15	12	8	7	10	12	13	13	12	9	9
0	28	56	67	74	81	78	39	63	68	73	79	82
Л Е Т О.							О С Е Н Ь.					
+	43	20	17	13	12	11	56	25	21	16	11	9
—	16	15	14	11	8	11	12	13	12	9	8	8
0	41	65	69	76	80	78	32	62	67	75	81	83
Г О Д.												
+	53	24	19	16	12	10	500 м. вращается вправо. На следующей ступени число слу- чаев с правым вращением вет- ра претерпевает резкое (более, чем в 2 раза) уменьшение,					
—	12	14	13	10	8	10						
0	35	62	68	74	80	80						

которое продолжается и выше. В июне и июле с самой поверхности земли, а в остальные месяцы с высоты 500 м. доминируют случаи без вращения, число которых растет по направлению вверх и на высоте 3000 м. составляет в годовом среднем 30%. Таким образом, число случаев с правым вращением ветра убывает с высотой, особенно в толще атмосферы между 500 и 1000 м.; напротив, число случаев без вращения увеличивается по мере удаления от земной поверхности. Случаи с ле-

вым вращением такой правильности в своем изменении по вертикали не показывают. Число этих случаев в общем несколько увеличивается на второй ($500/1000$) ступени, затем идет уменьшение вплоть до 2500 м., а выше снова увеличение. Особенно резко это выражено в зимнее время года. На высоте 3000 м. случаи с правым и левым вращением встречаются, повидимому, одинаково часто.

Коррен на основании 800 змейковых подъемов, произведенных в 1903—6 гг. близ Гамбурга, вывел положение, что с увеличением высоты ветер вращается гораздо чаще вправо, чем влево. Полученные нами выводы ограничивают справедливость этого положения первым слоем или, самое большее, первыми двумя слоями (земля—500—1000 м.).

Сопоставляя направление ветра на высоте 3000 м. с направлением ветра у земной поверхности, находим (табл. 6), что в значительном большинстве случаев верхний ветер отклонен относительно нижнего вправо: в годовом в среднем

Таблица 6.

**Отклонение ветра на высоте 3000 м. относительно
ветра у земной поверхности в ‰.**

Враще- ние.	Январь.	Февраль.	Март.	Апрель.	Май.	Июнь.	Июль.	Август.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.	Год.
+	80	75	59	58	59	50	52	55	63	70	71	83	64
—	7	12	13	19	20	23	24	20	19	11	14	4	16
0	13	13	28	23	21	27	24	25	18	19	15	13	20

случаи с уклоном вправо составляют 64‰, с уклоном влево 16‰ и с одинаковым направлением 20‰. Наиболее часто наблюдается правое отклонение в зимние месяцы (79‰), наиболее редко летом (52‰); наоборот, левое вращение всего чаще встречается летом (22‰) и реже зимой (8‰), особенно в декабре месяце (4‰).

В таблице 7 дано вращение ветра от ступени к ступени и для всего воздушного столба высотой в 3000 м. в градусах, при чем вращение влево отмечено знаком минус. Из таблицы этой видно, что наибольший поворот ветра и притом вправо происходит на первых 500 (точнее 378 м.); около 60‰ величины угла поворота ветра во всей толще атмосферы в 3000 м. приходится на этот ближайший к земной поверхности слой. Самое сильное вращение здесь имеет место зимой

Таблица 7.

Вращение ветра с высотой (— левое вращение).

С л о и.	122/300	500/1000	1000/1300	1500/2000	2000/2500	2500/3000	122/3000
Январь	18,9	5,2	—2,3	3,7	1,3	1,2	28,0
Февраль	12,8	2,7	3,0	5,0	2,8	—0,5	25,8
Март	20,7	—0,2	1,8	—0,5	2,3	0,6	24,7
Апрель	15,0	3,5	0,7	0,2	0,3	0,5	20,2
Май	13,9	4,5	3,0	1,7	0,7	—0,2	23,6
Июнь	9,6	3,0	—1,6	1,8	2,1	1,5	16,4
Июль	8,2	0,8	2,2	1,8	0,6	2,7	16,3
Август	13,6	4,3	2,7	3,7	1,2	—1,5	24,0
Сентябрь	13,2	4,0	3,2	3,4	0,9	0,1	24,8
Октябрь	13,3	7,5	4,2	3,8	0,2	0,5	29,5
Ноябрь	17,2	4,5	0,9	—1,9	3,2	0,2	24,1
Декабрь	25,0	10,9	4,1	1,8	0,4	2,2	44,4
Зима	18,7	6,3	1,6	3,5	1,5	1,0	32,6
Весна	16,5	2,6	1,8	0,5	1,1	0,3	22,8
Лето	10,5	2,7	1,1	2,4	1,3	0,9	18,9
Осень	14,6	5,3	2,8	1,8	1,4	0,3	26,2
Год	15,08	4,22	1,82	2,05	1,32	0,62	25,12

(около 19°), самое слабое летом (около 10°), весной несколько больше, чем осенью. Главной причиной такого резкого изменения направления ветра является весьма быстрое уменьшение трения с удалением от земной поверхности со всеми ее неровностями, шероховатостями, растительным покровом и пр. Значительная разница величины угла поворота (почти в два раза) зимой и летом в этом слое может быть объяснена более сильными ветрами в холодное время года, чем в теплое.

В следующем слое вращение ветра, и притом опять-таки вправо, гораздо слабее, угол поворота в годовом среднем в 3,6 раза здесь меньше, чем в предыдущем. Особенно резко выражено это ослабление вращения ветра летом и весной: величина угла поворота в первом случае уменьшается приблизительно в 4, а во втором в 6 раз. Это, очевидно, стоит в связи с восходящими воздушными токами в атмосфере, а также с тем, что в рассматриваемом слое случаи с правым вращением ветра не имеют значительного перевеса над случаями с вращением влево; в марте месяце в среднем имеет место отрицательное вращение.

Выше вращение ветра становится очень незначительным и вообще убывает с высотой; при подъеме с 2500 до 3000 м. величина угла поворота вправо изменяется всего на $0^{\circ},6$ или $0^{\circ},12$ на каждые 100 м. В этом слое, как мы видели выше, число случаев с правым и левым вращением в годовом среднем одинаково; поэтому естественно, что результирующий угол поворота ветра близок к нулю.

Переходя от вращений ветра в отдельных слоях толщиной в 500 м. к общему вращению ветра от земной поверхности до различных высот, получаем углы поворота вправо, приведенные в таблице 8. Наибольшие углы поворота ветра в столбах воздуха различной высоты и при этом исчислении приходится на зимнее время, наименьшие на лето.

Таблица 8.
Вращение ветра при поднятии с земной поверхности на различные высоты.

С л о н.	$122/500$	$122/1000$	$122/1500$	$122/2000$	$122/2500$	$122/3000$
Зима	18 $^{\circ},7$	25 $^{\circ},9$	26 $^{\circ},6$	30 $^{\circ},1$	31 $^{\circ},6$	32 $^{\circ},6$
Весна	16,5	19,1	20,9	21,4	22,5	22,8
Лето	10,5	13,2	14,3	16,7	18,0	18,9
Осень	14,6	19,9	22,7	24,5	25,9	26,2
Год	15,1	19,3	21,1	23,1	24,4	25,1

Рыкачевым¹⁾ для Павловска из результатов поднятий, произведенных с 1904 по 1911 г., найдены следующие углы поворота ветра:

	500	1000	1500 м.
Холодное полугодие . .	17 $^{\circ}$	24 $^{\circ}$	26 $^{\circ}$
Теплое	6 $^{\circ}$	12 $^{\circ}$	16 $^{\circ}$

¹⁾ Рыкачев. Некоторые результаты и пр. Геоф. Сб. стр. 98.

Эти числа очень близки к найденным нами для Линденберга; только для 500 м. в теплое полугодие разница довольно значительная, — над Павловском на этой высоте в теплое полугодие получается угол поворота ветра почти в 2 раза меньший, чем над Линденбергом. Такой же результат для Павловска получен и по вычислениям Трея¹⁾.

Средний угол отклонения ветра от градиента над сушею в наших широтах заключается между 40° и 50° ²⁾; на высоте 3000 м. над Линденбергом этот угол достигает, согласно нашим вычислениям, в годовом среднем 65° — 75° . Следовательно, тот слой, в котором направление ветра становится параллельным течению изобар у земной поверхности, лежит выше 3000 м. Высота эта несколько больше, чем получается она из наблюдений над облаками. Например, по наблюдениям в Упсале³⁾ на высоте 2000—2500 м. движение облаков отклонено от направления ветра внизу в среднем на 27° . Полученные до сих пор разными исследователями (Поморцевым, Verson'ом Кёрпер'ом и др.) высоты для т. наз. изобарного ветра, т.-е. ветра, совпадающего с направлением изобар у земной поверхности, колеблются в весьма широких пределах, от 1500 до 4000 м. По нашим выводам высота изобарного ветра в среднем около 3000 м. Зимой она меньше, летом больше, осенью ниже, чем весной.

4. Вращение ветра при различных давлениях воздуха. Как при высоком, так и при низком давлении воздуха в годовом среднем право вращение является обычным (табл. 9); только при давлениях, боль-

Таблица 9.

Вращение ветра в градусах.

Давление в мм.	122/300	300/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	2500/3000	122/3000
При давлении > 760	11,2	8,1	0,5	3,6	-0,4	0,8	23,8
„ „ $= 760-750$	16,9	4,7	3,2	1,5	1,2	1,5	29,0
„ „ < 750	15,2	4,0	2,5	2,4	2,2	1,1	27,4
В антициклонах	19,0	6,0	2,3	2,4	0,9	0,6	31,2
„ циклонах	19,8	6,3	3,1	1,5	1,4	1,5	33,6

¹⁾ Курс Аэронавигации. Часть метеорологическая. Петроград 1917, стр. 159.

²⁾ З. J. Hann. Lehrbuch der Meteorologie. 3. Aufl. 1915, стр. 516.

³⁾ Н. Н. Hildebrandsson. Atlas des mouvements supérieurs de l'atmosphère. Stockholm 1877 г.

ших 760 мм. (н. у. м.) между 2000 и 2500 м. заметна очень слабая тенденция к левому вращению. Две последние горизонтальные строчки заимствованы у А. Репплера¹⁾. Следует заметить, что данные для давлений, больших 760 мм., ненадежны, так как получены из сравнительно небольшого числа случаев. Как при низких давлениях, так и при высоких вращение ветра меньше, чем при средних. Сопоставление второй и последней горизонтальных строчек показывает почти полное совпадение величин углов вращения ветра за исключением первых двух ступеней.

¹⁾ А. Репплер. Windgeschwindigkeit und—Drehungen in Cyklonen und Anticyklonen. Beiträge z. Physik d. fr. Atmosph. Bd. VI, 1912, стр. 114.

II. Скорость ветра.

5. Средние скорости ветра на разных высотах и их годовой ход.

Общее представление о характере распределения скоростей ветра до высоты 3000 м. над уровнем моря дает таблица 10. В ней приведены сезонные и годовые средние скорости ветра, выраженные в метрах в секунду, без различия направлений и барического рельефа, при чем скорости для высот 2500 и 3000 м. вычислены по методу дифференций.

Таблица 10.

Средние скорости ветра (м/сек.).

Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
Зима	6,1	11,3	11,4	11,5	11,9	12,4	13,0
Весна	6,3	9,6	10,0	10,1	10,3	10,7	11,2
Лето	5,2	8,2	8,6	8,9	9,2	9,5	10,0
Осень	5,2	9,3	9,5	9,6	10,1	10,5	10,9
Год	5,70	9,60	9,88	10,02	10,38	10,78	11,28

Из рассмотрения этой таблицы следует, что скорости ветра на всех высотах, за исключением самой земной поверхности, наибольшие в зимнее время года (соответственно наибольшим градиентам давления в это время года), наименьшие в летнее, весной несколько больше, чем осенью. Следовательно, в рассматриваемой нами толще атмосферы скорости ветра на различных высотах претерпевают изменение в течение года, обнаруживают ясно выраженную годовую периодичность.

Для более детального рассмотрения этой периодичности обратимся к таблице 11, в которой даны средние скорости ветра по месяцам. У земной поверхности максимальная скорость ветра имеет ме-

Таблица 11.

Месячные средние скорости ветра (м/сек.).

Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
Январь	6,4	11,8	11,6	11,7	12,1	12,5	13,0
Февраль	6,0	11,1	11,4	11,7	12,2	12,8	13,6
Март	6,8	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,4
Апрель	6,5	9,6	10,1	10,1	10,3	10,6	11,2
Май	5,5	8,3	8,7	8,9	9,1	9,5	9,9
Июнь	5,1	8,0	8,3	8,7	9,0	9,3	9,7
Июль	5,3	8,0	8,5	8,7	9,0	9,4	9,8
Август	5,3	8,7	9,0	9,3	9,6	9,9	10,4
Сентябрь	4,7	8,0	8,3	8,5	8,7	9,0	9,4
Октябрь	5,1	8,9	9,3	9,4	9,8	10,2	10,7
Ноябрь	5,8	11,1	10,8	10,8	11,7	12,2	12,6
Декабрь	5,8	11,1	11,0	11,2	11,4	12,0	12,5

сто в марте (что, вероятно, случайность), на высоте 500 и 1000 м. в январе, а с 1500 м. она переходит на февраль. Этот переход, повидому, стоит в связи с температурой, так как с этой приблизительно высоты средние февральские температуры ниже средних январских. Минимум скорости ветра на всех высотах падает на сентябрь. Очень близки (а на некоторых высотах даже равны) к этому минимуму скорости ветра в мае, июне и июле. Несколько выделяется своими скоростями ветер в августе: в этом месяце скорости ветра больше, чем в июле и сентябре.

Чтобы нагляднее видеть характер годового изменения скорости ветра на различных высотах, в таблице 12 приведены изменения скорости ветра от месяца к месяцу. Оказывается, что эти измене-

Таблица 12.

Изменение скорости ветра от месяца к месяцу.

В ы с о т а м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000	Среднее 500—3000
Январь—февраль	0,4	0,7	0,2	0,0	0,1	0,3	0,6	0,3
Февраль—март	—0,8	0,1	0,2	0,3	0,6	0,9	1,2	0,5
Март—апрель	0,3	1,4	1,1	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3
Апрель—май	1,0	1,3	1,4	1,2	1,2	1,1	1,3	1,2
Май—июнь	0,4	0,3	0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Июнь—июль	—0,2	0,0	—0,2	0,0	0,0	0,3	—0,1	0,0
Июль—август	0,0	—0,7	—0,5	—0,6	—0,6	—0,5	—0,6	—0,6
Август—сентябрь	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	0,8
Сентябрь—октябрь	—0,4	—0,9	—1,0	—0,9	—1,1	—1,2	—1,3	—1,1
Октябрь—ноябрь	—0,7	—2,2	—1,5	—1,4	—1,9	—2,0	—1,9	—1,8
Ноябрь—декабрь	0,0	0,0	—0,2	—0,4	0,3	0,2	0,1	0,0

ния имеют с 500 до 3000 м. не только одинаковый характер для каждого из переходов, но близко одинаковы по числовой величине. Иными словами, в толще атмосферы, указанной мощности, происходит переход из одного состояния движения в другое одновременно на разных высотах. Исключение составляет переход от февраля к марту; в этом случае имеет место увеличение изменение скорости ветра с высотой, т.е. на больших высотах при переходе от февраля к марту скорость ветра претерпевает более сильное ослабление, чем в нижележащих слоях. В теплые месяцы, когда связь между слоями воздуха благодаря вертикальным движениям более тесна, указанная закономерность выступает особенно ясно. Наиболее сильное ослабление скорости ветра претерпевает в два первых весенних месяца и при переходе от августа к сентябрю. Резкое усиление ветра имеет место от сентября к октябрю и в особенности от октября к ноябрю. Причиной как резкого ослабления ветра в весенние месяцы, так и резкого усиления его осенью служат вертикальные токи—в первом случае эти токи интенсивны, во втором они почти отсутствуют. Неясна причина уменьшения скорости ветра при переходе от августа к сентябрю. Над Павловском этого явления не

наблюдается; впрочем над Павловском и годовая периодичность иная: максимум скорости ветра наблюдается не зимой, а осенью, и вообще в годовом ходе нет той правильности, какую мы имеем над Линденбергом¹⁾. Не наблюдается над Павловском также явления, что скорость ветра в ноябре, декабре и январе, увеличившись при поднятии от земной поверхности на высоту 500 м., уменьшается затем до высоты 1000 м., что является, вероятно, результатом температурных инверсий, наблюдающихся обыкновенно на этих высотах в это время. Все эти расхождения нельзя приписать различию в географическом положении; здесь не малую роль играют способы наблюдений. В то время, как в Павловске производились поднятия только змеев, возможные лишь при известной скорости ветра, в Линденберге на ряду со змеями применялись и привязные шары, что делало возможным подъемы при всяких условиях погоды, даже при полном безветрии. Последнее обстоятельство между прочим было решающим при выборе материала для намеченного мною исследования, главной целью которого было установление нормальных, так сказать климатологических, условий ветра, чтобы иметь возможность сравнения при рассмотрении ряда предполагавшихся первоначально и пока еще не исследованных по чисто техническим причинам (требуется большая черновая работа) специальных случаев большой практической важности.

Амплитуда годового колебания скорости ветра на различных высотах неодинакова:

Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
Ампл. над Линд. . . .	2,1	3,8	3,3	3,2	3,5	3,8	4,2
„ „ Павл.	1,2	2,3	1,6	1,5	2,1	—	—

до 500 м. амплитуда увеличивается, затем до 1500 м. она уменьшается, выше снова возрастает. На высоте 3000 м. амплитуда, ровно в 2 раза больше, чем у земной поверхности. Над Павловском изменение амплитуды годового колебания скорости ветра с высотой имеет точно такой же характер; величины амплитуд на соответственных высотах над Павловском, однако, почти в 2 раза меньше.

Интересно сопоставить годовые средние скорости ветра на разных высотах над Линденбергом со скоростями, полученными Рыкачевым²⁾ для Павловска (1904—1911 гг.), Коррен'ом³⁾ для Гам-

¹⁾ Геофиз. Сбор. Т. I, вып. 1, стр. 91.

²⁾ Там же, стр. 91.

³⁾ Archiv d. Deutsch. Seewarte. Jahrg. 1908, № 1, стр. 11.

бурга (1903—1906 гг.) и Miss Margaret White¹⁾ для Glossop Moor (в Дербишире), 1908—1909 гг. Скорость ветра у земной поверхности в

Высота м.	Земля.	500	1000	1500	2000	2500	3000	
Линденберг . . .	5,7	9,6	9,9	10,0	10,4	10,8	11,3	м/сек.
Павловск	5,2	8,8	9,7	10,0	10,4	—	—	„
Гамбург	5,2	11,0	11,8	—	12,6	—	14,6	„
Glossop Moor . .	5,0	8,5	11,8	12,9	13,6	—	—	„

Линденберге несколько больше, чем в других пунктах, что можно объяснить необыкновенно свободным положением анемометра в Линденберге на вершине холма, господствующего над открытой окружающей местностью. Вверху на всех высотах скорости ветра над Линденбергом и Павловском почти одинаковы, а над Гамбургом и Glossop Moor'ом они, будучи близкими между собою, больше (если низкое значение скорости на высоте 500 м. над Glossop Moor'ом приписать влиянию топографических условий Дербишира—его гористости). Эти большие скорости ветра на высотах над Гамбургом, чем над Линденбергом, Кёрпен²⁾ объясняет большей в среднем близостью Гамбурга к барометрическим минимумам. Но такому объяснению противоречат, мне кажется, скорости ветра над Павловском. Пожалуй, мы будем ближе к истине, если припишем это явление влиянию открытого моря.

6. Изменение скорости ветра с высотой. По мере удаления от земной поверхности скорость ветра, как мы видели, вообще увеличивается. Увеличение это происходит неравномерно. Таблица 13 содержит изменения скорости ветра, вычисленные для времен года и года.

Таблица 13.

Изменение скорости ветра на 100 м. поднятия.

С л о н.	122/500	500/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	2500/3000	Среднее.
Зима	1,38	0,02	0,02	0,08	0,10	0,10	0,28
Весна	0,87	0,08	0,02	0,04	0,08	0,10	0,20
Лето	0,79	0,08	0,06	0,06	0,06	0,10	0,19
Осень	1,08	0,04	0,02	0,10	0,08	0,08	0,23
Год	1,03	0,06	0,03	0,07	0,09	0,10	0,23

1) Report British Association Meeting Dundee, 1912, стр. 421.

2) W. K ö p p e n. Luftbahnen am Erdboden und in der fr. Atm. Met. Z. 1911, стр. 162.

а также среднее изменение для всего столба воздуха мощностью в 3000 м. Иногда изменение скорости на 100 м. называют градиентом скорости; было бы правильнее назвать эту величину асцен-том, так как здесь мы имеем дело не с падением, а возрастанием скорости.

Наиболее резкое изменение скорости ветра с высотой происходит в ближайшем к земной поверхности слое воздуха, т.-е. между землею и 500 м. над уровнем моря. В годовом среднем нарастание скорости ветра на каждые 100 м. поднятия в этом слое составляет около 1 м. Явление это обуславливается главным образом быстрым уменьшением трения и отчасти убыванием плотности движущихся воздушных масс.

Выше 500 м. увеличение скорости ветра с высотой очень незначительно; особенно медленно нарастает скорость ветра с высотой в слое между 1000 и 1500 м., т.-е. в зоне наиболее частого образования кучевых облаков. Так как рассматриваемая нами сейчас толща (500—3000 м.) атмосферы является зоной, где происходят преимущественно процессы конденсации, то можно сказать вообще, что вся зона главной конденсации водяного пара характеризуется медленным увеличением скорости ветра с высотой. Замечательно, что среднее изменение скорости ветра с высотой для этой зоны зимой, весной и осенью совершенно одинаково (0,064), летом оно лишь несколько больше (0,072). Отметим здесь, что над Павловском „градиенты“ (или, вернее, асценды) скорости ветра в слое 500—1000 м. во все сезоны значительно (от 3 до 5 раз) больше, чем над Линденбергом¹⁾. Это явление имеет свою причину, по всей вероятности, в том, что в Павловске подьемы производились исключительно при помощи змеев, возможных, как сказано выше, только при известных условиях ветра в нижних слоях.

Изменение скорости ветра с высотой обнаруживает годовой ход. До высоты 500 м. максимум падает на зиму, минимум на лето. Между 500 и 1000 м. и, пожалуй, также между 1000 и 1500 м. ход обратный, т.-е. максимум летом и минимум зимою. В слоях 1500—2000 и 2000—2500 м. годовой ход такой же, как в слое, прилегающем к земной поверхности. В следующем по вертикали слое (2500—3000 м.) изменение скорости ветра с высотой, повидимому, мало зависит от времени года. Вывод Verzon'a²⁾ из трехлетних (1903—1905 гг.) ежедневных поднятий в Рейниккендорфе и Линденберге, что самое медленное увеличение скорости ветра с высотой имеет место весной,

¹⁾ Геофиз. Сборник Гл. Ф. Обсер. Т. I, вып. 1, стр. 92.

²⁾ Komm. für Wissenschaftl. Luftschiffahrt. 5. Konfer. Mailand 1906, стр. 100.

а самое сильное осенью, таким образом, не оправдывается, является случайным. Не оправдывается он и для Павловска.

Из изменений скорости ветра с высотой, вычисленных для каждого из месяцев (табл. 14), отметим только убывание скорости ветра с высотой в январе, ноябре и декабре между 500 и 1000 м. и равномерное возрастание ее в августе от 500 до 2500 м. Август и в этом случае выделяется как указанной правильностью, так и величиной нарастания скорости ветра по сравнению с соседними с ним месяцами. Наиболее сильное в среднем увеличение скорости ветра с высотой имеет место в феврале.

Таблица 14.

Изменение скорости ветра с высотой по месяцам.

С л о н.	122/ 300	500/ 1000	1000/ 1500	1500/ 2000	2000/ 2500	2500/ 3000	Среднее.
Январь	1,46	-0,04	0,02	0,08	0,08	0,10	0,28
Февраль	1,35	0,06	0,06	0,10	0,12	0,16	0,31
Март	1,11	0,04	0,04	0,04	0,06	0,10	0,23
Апрель	0,82	0,10	0,00	0,04	0,06	0,12	0,19
Май	0,74	0,08	0,04	0,04	0,08	0,08	0,18
Июнь	0,77	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,18
Июль	0,71	0,10	0,04	0,06	0,08	0,08	0,18
Август	0,90	0,06	0,06	0,06	0,06	0,10	0,21
Сентябрь	0,87	0,06	0,04	0,04	0,06	0,08	0,19
Октябрь	1,01	0,08	0,02	0,08	0,08	0,10	0,23
Ноябрь	1,40	-0,06	0,00	0,18	0,10	0,08	0,28
Декабрь	1,40	-0,02	0,04	0,04	0,12	0,10	0,28

Если взять отношения скорости ветра на 500 м. к скорости у земной поверхности и скорости на высоте 3000 м. к скорости на 500 м., то получается:

Зимою. Весною. Летом. Осенью.

500: земля . .	1,85	1,52	1,58	1,79
3000: 500 . . .	1,15	1,17	1,22	1,17

В годовом среднем скорость ветра на высоте 500 м. в 1,68 раза больше, чем вблизи земной поверхности, тогда как при поднятии с 500 на 3000 м. она увеличивается всего только в 1,18 раза, т.-е. увеличение в интервале 2500 м. составляет лишь 0,70 возрастания ее в первом случае.

7. Скорости ветра на разных высотах, приведенные к плотности воздуха у земной поверхности. В 1903 г. Axel Egnell¹⁾ на основании измерений скорости облаков в Траппах (близ Парижа) пришел к заключению, что выше 3000 м. над поверхностью земли скорость ветра увеличивается лишь в отношении уменьшения плотности воздуха, и если помножить ее на отношение давления на данной высоте к давлению воздуха на уровне моря ($b/760$), то получаются почти одинаковые произведения. Еще раньше к такому же результату пришел и Н. Clayton²⁾. По Egnell'ю, указанные произведения в среднем равны скорости ветра на Эйфелевой башне, т.-е. на высоте 300 м. То же самое наблюдается и во многих других местах; исключение составляет Манилла (тропики), где это правило не оправдывается. Egnell держится того мнения, что каждая местность имеет свое характеристическое число и для определения его достаточно поднять анемометр на высоту 300 м. над уровнем моря.

Если бы правило Egnell'я оказалось верным, то, имея наблюдения на высоте 300 м., можно было бы получить понятие о средней скорости движения воздуха до высоты 12 км., а вероятно и выше, что имело бы, конечно, огромное значение.

Мною вычислены для Линденберга, с одной стороны, отношения скоростей ветра на разных высотах к скорости у земной поверхности (v_h/v_0) и с другой—отношения плотности воздуха вблизи земли к плотностям на разных высотах (ρ_0/ρ_h):

Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
Отношение v_h/v_0 . .	1,00	1,68	1,73	1,76	1,82	1,89	1,98
Отношение ρ_0/ρ_h . .	1,00	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,40

Мы видим отсюда, что в годовом среднем скорость ветра увеличивается с высотой быстрее, чем уменьшается плотность воздуха. В таблице 15 приведены плотности воздуха на разных высотах над Линденбергом. Образует произведения

¹⁾ Comptes rendus de l'académie des sciences à Paris, 9 février 1903.

²⁾ Ann. Harvard Obs. Vol XXX, P III. 1892.—The American Met. Journal Vol. X, August 1893.

Таблица 15.

Плотность воздуха на разных высотах.

$\delta \times 10^4$.

Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
Зима	12,81	12,02	11,34	10,71	10,12	9,58	9,07
Весна	12,34	11,69	11,09	10,52	9,97	9,44	8,93
Лето	11,96	11,36	10,78	10,23	9,70	9,18	8,68
Осень	12,39	11,66	11,03	10,44	9,86	9,33	8,81
Год	12,38	11,68	11,06	10,48	9,91	9,38	8,87

из скоростей ветра и из отношений плотностей воздуха на соответственных высотах к плотности у земной поверхности (табл. 16). Видим, что эти произведения или приведенные скорости убыв-

Таблица 16.

Произведения скоростей ветра на отношения плотностей воздуха.

Высота м.	500	1000	1500	2000	2500	3000
Зима	10,62	10,03	9,66	9,40	9,30	9,23
Весна	9,12	9,00	8,58	8,34	8,13	8,06
Лето	7,79	7,74	7,65	7,45	7,35	7,30
Осень	8,74	8,46	8,16	8,08	7,88	7,74
Год	9,07	8,81	8,51	8,32	8,16	8,08

вают с высотой. Таким образом, по крайней мере, для слоев до 3000 м. высоты над Линденбергом правило Clayton—Eggenell'я не совсем оправдывается.

Сравнительно небольшие отклонения от правила Clayton—Eggenell'я указывают на тот большой важности факт, что движения атмосферы не слишком далеки от стационарного состояния, так ка

правило Clayton-Egnell'я представляет собою по существу лишь другое выражение этого факта, что нетрудно показать.

Согласно правилу Clayton-Egnell'я Δv не должно зависеть от высоты. Приблизительно можно положить

$$2\alpha v \sin \alpha = \frac{1}{\delta} \frac{dp}{dx},$$

при чем под v мы разумеем „градиентный (или, по терминологии англичан, геострофический) ветер“, полную скорость ветра при движении без ускорения, и под $\frac{dp}{dx}$ полный градиент в горизонтальной плоскости. Следовательно, условием справедливости правила Clayton-Egnell'я будет

$$\frac{dp}{dx} = \text{const.}$$

для всех высот. Для осуществления этого необходимо совершенно определенное распределение температуры.

Пусть в двух соседних пунктах давление у земной поверхности будет P_1 и P_2 , и градиент действует по линии, соединяющей эти пункты, так что $\delta P = P_2 - P_1$. Если T_1 и T_2 средние температуры и p_1 и p_2 давления на высоте h над обоими пунктами, то, так как

$$p_2 = P_2 e^{-\frac{gh}{RT_2}} \text{ и } p_1 = P_1 e^{-\frac{gh}{RT_1}},$$

и в первом приближении может быть принято

$$e^{-\frac{gh}{RT}} = 1 - \frac{gh}{RT},$$

из правила Clayton-Egnell'я следует:

$$p_2 - p_1 = P_2 \left(1 - \frac{gh}{RT_2}\right) - P_1 \left(1 - \frac{gh}{RT_1}\right) = P_2 - P_1;$$

следовательно:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_1}{T_2}$$

и если $T_2 - T_1 = \delta T$, то также

$$\frac{\delta P}{P_1} = \frac{\delta T}{T_1}$$

Таким образом получается, что над пунктом с более высоким давлением должна быть и более высокая температура и притом согласно последним уравнениям. Если более теплый воздух лежит над более высоким давлением, и при этом скорость ветра увеличивается с высотой (как это соответствует постоянству градиента), то этим дается также условие для стационарного состояния движения.

8. Повторяемость различных скоростей ветра на различных высотах.

Интересен и практически весьма важен вопрос о том, как часто на той или другой высоте бывает ветер той или другой скорости. В таблице 17 приведены повторяемости различных скоростей, выра-

женные в процентах, при этом скорости ветра соединены в шесть групп: штиль, 1—2, 3—5, 6—10, 11—15 и больше 15 м. в секунду.

Таблица 17.

Повторяемость скоростей ветра в %.

Скорости ветра м/сек.	Высота м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
З И М А.								
Штиль		1	—	1	1	1	1	2
1—2		7	5	6	6	6	6	6
3—5		36	9	8	9	11	10	8
6—10		49	29	25	24	19	17	14
11—15		6	33	38	36	35	30	31
Больше 15		1	24	22	24	28	36	39
В Е С Н А.								
Штиль		—	—	1	2	2	2	1
1—2		7	7	8	7	7	7	7
3—5		31	16	14	15	15	15	13
6—10		52	33	28	23	22	19	17
11—15		9	34	36	38	34	34	33
Больше 15		1	10	13	15	28	23	29
Л Е Т О.								
Штиль		1	—	2	2	3	4	4
1—2		12	12	10	11	10	10	9
3—5		40	19	19	20	18	17	13
6—10		43	37	30	25	23	20	19
11—15		4	28	32	33	32	31	32
Больше 15		—	4	7	9	14	18	23

Скорости ветра м/сек.	Высота м.						
	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
	О С Е Н Б.						
Штиль	2	—	2	2	2	2	3
1—2	12	8	9	9	9	9	9
3—5	39	17	15	14	14	15	12
6—10	44	35	31	29	27	22	20
11—15	3	7	31	33	31	31	31
Больше 15	—	13	12	13	17	21	25
	Г О Д.						
Штиль	1	—	1	2	2	2	2
1—2	10	8	8	8	8	8	8
3—5	37	15	14	15	14	14	12
6—10	47	34	28	25	23	20	17
11—15	5	30	35	35	33	32	32
Больше 15	—	13	14	15	20	24	29

Так как вопрос о вертикальном распределении различных скоростей ветра имеет по преимуществу практическое значение, особенно для авиации, то при указанном делении на группы принята во внимание степень того влияния, какое ветер может оказывать на аэропланы при полетах. При штиле и ветрах второй группы возможно совершенно беспрепятственное движение моторных воздушных кораблей по любому направлению, тогда как при жестких и сильных ветрах со скоростью в 11—15 м. в секунду полеты требуют машин с очень сильным собственным движением и искусного пилота. Ветры последней группы, скорость которых в отдельных случаях может достигать до 38 м. в секунду, и которые характеризуются резкими порывами, исключают какие бы то ни было маневрирования аэропланов, по крайней мере для большинства из них.

Из годовых средних видно, что число штилей, составляя на высоте Обсерватории 1%, проходит на 500 м. через нуль и затем увеличивается при дальнейшем поднятии над земной поверхностью; достигнув на высоте 1500 м. 2%, оно остается без изменения вплоть до высоты 3000 м. Наибольшее число штилей падает у земной поверх-

ности на осень, а вверху на лето; наиболее редки штили зимой. Высота 500 м. характеризуется полным отсутствием штилей для рассматриваемой части суток (7—11 ч. у.).

Слабые ветры (1—2 м/сек) имеют наибольшую повторяемость у земной поверхности, что вполне естественно; уменьшившись незначительно в числе при поднятии на 500 м., они сохраняют выше свою повторяемость в годовом среднем неизменной. По временам года изменение слабых ветров с высотой несколько различно: их число претерпевает уменьшение при поднятии осенью на 500, летом на 1000 м. и выше почти не меняется, тогда как зимой и весной повторяемость слабых ветров во всей толще от земной поверхности до высоты 3000 м. остается одной и той же.

Умеренные ветры (3—5 м/сек.) в годовом среднем претерпевают резкое уменьшение между земной поверхностью и 500 м.; затем до 2500 м. число их не изменяется, выше снова незначительное уменьшение. Аналогичное изменение показывает и каждое из времен года. Отметим очень сильное уменьшение (с 36% на 9%) повторяемости умеренных ветров зимою в ближайшем к земле 500-метровом слое воздуха.

Свежие ветры (6—10 м/сек.) непрерывно убывают в числе с высотой; повторяемость их составляет у земной поверхности 47%, а на высоте 3000 м. 17%. Наиболее сильное уменьшение происходит на первых 500 м. Из времен года наиболее быстро убывают с высотой ветры этой группы осенью и зимою.

Сильные ветры (11—15 м/сек.) имеют в годовом среднем свой минимум в 5% вблизи земной поверхности, резко возрастают в своей повторяемости до 500 м. и увеличиваются затем медленно до 1500 м., где достигают своего максимума в 35%; выше их повторяемость незначительно уменьшается. Что касается времен года, то наиболее сильное изменение с высотой эта группа ветров претерпевает осенью: у земной поверхности повторяемость их составляет всего 3%, а на высоте 1500 м. 33%, т.-е. в 11 раз больше.

Очень сильные ветры со скоростями, превышающими 15 м. в секунду, внизу составляют в годовом среднем не более $\frac{1}{2}$ %, резко увеличиваются до 500 м. (с $\frac{1}{2}$ на 13%), затем до 1500 м. они изменяются мало, выше увеличение происходит снова быстро, и на высоте 3000 м. достигается максимум повторяемости в 29%.

Из только что приведенного обзора следует, что:

- 1) наиболее резкое изменение повторяемости различных скоростей происходит между землею и 500 м.;
- 2) большие скорости подвержены большим изменениям с высотой;

3) повторяемость слабых и умеренных ветров от 500 до 3000 м. остается почти постоянной; эти ветры отличаются большою стойкостью;

4) свежие и очень сильные ветры имеют противоположные изменения с высотой: первые непрерывно уменьшаются, вторые непрерывно увеличиваются в числе с высотой; уменьшение повторяемости свежих ветров во всем столбе воздуха в 3000 м. составляет 30%, увеличение повторяемости очень сильных ветров 29%.

Числа таблицы 17 очень поучительны. Каждый воздухоплаватель должен был бы вывести из нее свои заключения. В то время, как опасные ветры у земной поверхности наблюдаются лишь очень редко, с высотой они увеличиваются в числе и выше 3000 м. становятся самыми частыми.

9. Годовые средние скорости ветра при правом и левом вращении и без вращения и их изменения с высотой. Интересно посмотреть, каковы скорости ветра на различных высотах в случаях с правым и левым вращением и без вращения и как они изменяются с высотой в каждом из этих трех случаев. В таблице 18 приведены скорости ветра в среднем за год. В случаях с правым вращением и без вра-

Таблица 18.

Годовые скорости ветра (м/сек.).

В ы с о т а м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
При левом вращении	3,9	5,7	5,8	5,9	6,1	6,5	6,9
„ правом „	5,3	8,5	9,0	9,0	9,3	9,7	10,2
Без вращения	5,8	9,1	9,2	9,3	9,5	9,9	10,3

щения скорости ветра почти одинаковы; при левом вращении скорости ветра на всех высотах раза в полтора меньше. Эту разницу в скоростях ветра можно было бы приписать, на первый взгляд, более сильному перемешиванию слоев вышележащих с нижележащими; но рассмотрение изменения скоростей ветра с высотой (табл. 19) противоречит этому, так как это изменение при левом вращении ветра совершенно такое, как и без вращения, за исключением самого нижнего, непосредственно прилегающего к земной поверхности слоя

Таблица 19.

Изменение скорости ветра с высотой ($\frac{dv}{100 \text{ м.}}$).

С л о и.	122/500	500/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	2500/3000	Среднее 122/3000
При левом вращении	0,48	0,02	0,02	0,04	0,08	0,08	0,12
„ правом „	0,85	0,10	0,00	0,06	0,08	0,10	0,20
Без вращения	0,87	0,02	0,02	0,04	0,08	0,08	0,18

воздуха. Повидимому, здесь мы имеем перед собою случаи с различными изменениями барометрического градиента с высотой.

10. Изменение скорости ветра с высотой при различных давлениях воздуха. Какова зависимость скорости ветра и ее изменений с высотой от атмосферного давления (н. у. м.), показывают таблицы 20 и 21. В первой таблице даны величины скоростей в годовом среднем,

Таблица 20.

Скорости ветра при разных давлениях (м/сек.).

В ы с о т а м.	122	500	1000	1500	2000	2500	3000
При давлении < 750 мм.	6,1	9,9	9,8	9,7	9,8	10,2	10,6
„ „ = 750—760 мм.	5,0	8,1	8,1	8,1	8,4	8,8	9,2
„ „ > 760 мм.	4,4	6,8	6,9	7,0	7,7	8,3	8,9
В циклонах	5,2	10,3	10,6	10,9	11,3	12,0	12,7
В антициклонах	4,0	7,3	7,5	7,7	8,0	8,4	8,9

а во второй—изменение по вертикали на каждые 100 м. Две последние горизонтальные строчки таблицы 20 для циклонов и антициклонов заимствованы у А. Перплера¹⁾ Наименее низким давлениям воздуха соответствуют и наибольшие скорости ветра. С высотой это различие скоростей ветра становится, повидимому, меньше. Сопоста-

¹⁾ Beiträge z. Physik d. fr. Atmosphäre. Bd. IV, 1912, стр. 110.

Таблица 21.

**Изменение скорости ветра с высотой при разных да-
влениях ($\frac{dv}{100 \text{ м.}}$).**

С л о и.	122/500	500/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	2500/3000	Среднее 122/3000
При давлении < 750 мм.	1,01	-0,02	-0,02	0,02	0,08	0,08	0,19
„ „ = 750—760 мм.	0,82	0,00	0,00	0,06	0,08	0,08	0,17
„ „ > 760 мм.	0,64	0,02	0,02	0,14	0,12	0,12	0,18
В циклонах	1,34	0,06	0,05	0,08	0,14	0,16	0,30
В антициклонах	0,83	0,04	0,04	0,06	0,09	0,09	0,19

вление скоростей для давлений воздуха, меньших 750 мм. (н. у. м.), со скоростями, найденными Перрле'ом для циклонов, показывает значительное расхождение, особенно в более высоких слоях, где оно достигает 2 м. Для давлений, больших 760 мм., и антициклонов получается довольно хорошее согласие, а с высоты 2500 м. полное совпадение. При давлениях ниже 750 мм. скорости обнаруживают уменьшение между 500 и 1500 м.; это же уменьшение наблюдается и в циклонах между 1000 и 1500 м., однако, по величине, изменения скорости с высотой в том и другом случае значительно разнятся. Лучшее согласие в изменении скорости с высотой имеет место при давлениях, превышающих 760 мм., и при антициклонах.

11. Движение воздуха в приземном слое атмосферы. Особенный интерес в практическом отношении (для авиации, при расчетах ветреных двигателей и пр.) представляют условия ветра в воздушном слое, прилегающем непосредственно к земной поверхности. На Науэнской радиостанции были установлены анемометры на 5 высотах: 2, 16, 32, 123 и 258 м. Присоединяя сюда анемограф Потсдамской Обсерватории, высота которого около 70 м. получаем 6 ступеней высотных в интересующем нас слое атмосферы.

В статье „Суточный ход скорости ветра в свободной атмосфере до высоты 3000 м.“ мы показали, что на высоте 500 м. максимум скорости ветра падает на ночные часы, а минимум на дневные, т.-е. имеет место обращение суточного хода скорости ветра, наблюдаемого у земной поверхности. Рассматриваемый нами здесь материал наблюдений позволяет ближе определить ту высоту, на которой это обращение происходит. Таблица 22 дает суточный ход скорости ветра в годовом среднем на различных высотах в приземном слое, а

Таблица 22.

Суточный ход скорости ветра (м/сек.).

Часы.	На узн.			Пот. сдам.	На узн.		Часы.	На узн.			Пот. сдам.	На узн.	
	2 м.	16 м.	32 м.	70 м.	123 м.	258 м.		2 м.	16 м.	32 м.	70 м.	123 м.	258 м.
0—1	2,75	4,23	5,16	5,39	7,43	9,60	13—14	4,31	5,52	6,01	5,56	6,49	7,27
1—2	2,72	4,20	5,08	5,39	7,31	9,09	14—15	4,19	5,43	5,96	5,49	6,68	7,27
2—3	2,70	4,15	5,01	5,39	7,21	9,27	15—16	3,95	5,24	5,81	5,39	6,62	7,15
3—4	2,72	4,15	5,01	5,38	7,36	8,82	16—17	3,68	5,04	5,67	5,30	6,75	7,54
4—5	2,74	4,14	4,96	5,36	7,29	8,73	17—18	3,43	4,86	5,57	5,21	7,07	7,69
5—6	2,86	4,22	5,02	5,32	7,28	8,88	18—19	3,13	4,65	5,42	5,17	7,21	7,42
6—7	3,05	4,30	5,03	5,24	7,24	8,65	19—20	2,96	4,52	5,33	5,18	7,38	7,94
7—8	3,32	4,50	5,11	5,18	6,90	8,38	20—21	2,83	4,40	5,26	5,26	7,52	8,42
8—9	3,65	4,80	5,34	5,22	6,51	7,90	21—22	2,76	4,33	5,25	5,31	7,56	8,82
9—10	3,93	5,07	5,56	5,31	6,45	8,01	22—23	2,75	4,32	5,25	5,37	7,66	9,19
10—11	4,20	5,32	5,78	5,45	6,40	7,46	23—24	2,73	4,28	5,20	5,40	7,54	9,83
11—12	4,28	5,47	5,92	5,53	6,33	7,34	Среднее	3,33	4,69	5,40	5,35	7,02	8,26
12—13	4,33	5,54	6,02	5,57	6,44	7,28	Амплит.	1,63	1,40	1,06	0,40	1,33	2,68

также средние значения и амплитуды колебаний на этих высотах. Из таблицы видно, что на высоте 2 и 16 м. над почвой весь процесс разыгрывается собственно только в дневные часы, ночью изменения скорости ветра от часа к часу весьма незначительны, меньше 0,1 м. в секунду. Амплитуда на высоте 2 м. несколько больше, чем на высоте 16 м. Это уменьшение амплитуды суточных колебаний скорости ветра продолжается до высоты 70 м., а дальше вверх амплитуда увеличивается. На высоте 70 м. ясно намечается вторичный максимум скорости ветра в ночные часы. На высотах 123 и 258 м. максимум падает уже на ночное время. Таким образом, зона обращения, где скорость ветра в течение суток не испытывает заметных изменений, лежит между 70 и 123 м., в среднем около 93 м. В слоях над этой высотой имеет место верхний тип суточного хода скорости ветра с максимумом ночью и минимумом днем. Зимой зона обращения лежит ниже, летом выше.

Скорость ветра в приземном слое увеличивается по мере поднятия над земной поверхностью; меньшее значение скорости на 70 м. в Потсдаме, чем на 32 м. в Науэне, может быть приписано, повидимому, замедляющему влиянию Потсдамской башни, на которой установлен анемограф (его в дальнейшем мы не будем принимать во внимание). Если рассчитать изменение скорости от одной высоты к другой на 100 м., то получается следующее:

2—16	16—32	32—123	123—258 м.
9,70	4,40	1,80	0,90 м.

Следовательно, наиболее сильное нарастание скорости ветра происходит в приземных частях слоя.

Для математического выражения изменения скорости ветра с высотой можно, казалось бы, воспользоваться большою аналогиею между движущимся воздухом и течением воды в реках и, следовательно, формулами гидравлики, дающими распределение скоростей на различных глубинах, например, логарифмической формулой вида

$$v = a + b \lg(h + c),$$

где a , b и c — постоянные, h — высота. Однако, вычисление показывает, что такую сравнительно простую формулою изменение скорости ветра с высотой не выражается с достаточною точностью. Изменение это идет по двум законам: в нижней части рассматриваемого слоя по закону, в котором сказывается влияния трения воздуха о землю, и в верхней по закону, где такое влияние отсутствует. Но если исходить с высоты 16 м., то скорости ветра для 16, 32, 123 и 258 м. хорошо представляются формулою Douglass'a¹⁾, если в ней показатель корня 4 заменить 5:

$$\frac{v}{v_0} = \sqrt[5]{\frac{h}{h_0}},$$

т.е. средние скорости на указанных высотах относятся между собою, как корни пятой степени из высот.

Так как $v^5 = \frac{v_0^5}{h_0} h = ah$, то для изменения скорости ветра с высотой получаем выражение:

$$\frac{dv}{dh} = \frac{a}{5v^4};$$

на высоте 100 м. оно, напр., составляет 0,013 м/сек. для 1 м. поднятия. Для практических целей для высот, превышающих 16 м., можно пользоваться более простою формулою

$$v = 2,7 \sqrt[5]{h} \quad \text{и} \quad \frac{dv}{dh} = 0,54 h^{-\frac{4}{5}}.$$

¹⁾ Nature, 33, 1885, стр. 593.

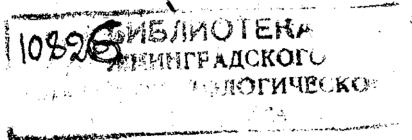
Скорости ветра на различных высотах в приземном слое атмосферы имеют, как видно из следующей таблички, годовой ход:

	2	16	32	123	258 м.
Холодн. полугод.	3,73	5,14	5,84	7,30	9,21 м/сек.
Теплое „	2,93	4,24	4,97	6,91	7,42 „

зимой эти скорости больше, чем летом.

Если вычертить кривую увеличения скорости ветра с высотой в приземном слое воздуха, то с помощью ее легко найти скорости ветра для любой высоты между 2 и 258 м., с одной стороны, и определить ту высоту, которая является наиболее целесообразной для установки стационарных анемометров—с другой. При решении второго вопроса приходится считаться с двумя требованиями: 1) чтобы даваемые анемометром показания были по возможности свободны от больших возмущающих влияний, и 2) чтобы установка анемометров обходилась возможно дешевле. Тщательный анализ кривой увеличения скорости ветра с высотой показывает, что высота в 16 м. может считаться уже достаточной для установки анемометров, так как наиболее сильные возмущающие факторы находятся ниже.

Было бы весьма интересно определить измерениями, на какой высоте над земной поверхностью скорость ветра равна нулю. До сих пор произведено было всего 4 таких измерения, именно Th. Stevenson'ом в Эдинбурге (Journ. Scott. Meteorol. Soc. V, 1880, стр. 1348), но не дано при этом подробного описания самой установки анемометра и поэтому трудно сказать, насколько надежны полученные им результаты.



ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Тепловой режим почвы. (Температура суглинистой подзолистой почвы, при разном растительном покрове.	3.
Годовой ход температуры почвы.	5.
Суточный ход температуры почвы	19.
Непериодические колебания температуры почвы.	23.
Направление и скорость ветра до высоты 3000 метров. (Введение)	36.
1. Повторяемость различных направлений ветра	38.
2. Среднее направление ветра на разных высотах	44.
3. Изменение направления ветра с высотой.	46.
4. Вращение ветра при различных давлениях воздуха.	51.
5. Средние скорости ветра на разных высотах и их годовой ход	53.
6. Изменение скорости ветра с высотой!	57.
7. Скорость ветра на разных высотах, приведенные к плотности воздуха у земной поверхности	60.
8. Повторяемость различных скоростей ветра на различных высотах	62.
9. Годовые средние скорости ветра при правом и левом вращении и без вращения и их изменения с высотой	66.
10. Изменение скорости ветра с высотой при различных давлениях воздуха.	67.
11. Движение воздуха в приземном слое атмосферы	68.

БИБЛИОТЕКА
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Физико-математический факультет