

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

06
Т 78

ПРОБЛЕМНО
133 0г.

Т Р У Д Ы ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

имени А. И. Воейкова

ВЫПУСК 36 (98)

МАТЕРИАЛЫ К ПРОБЛЕМЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИРОДЫ
ЗАСУШЛИВЫХ РАЙОНОВ СССР

Под редакцией
д-ра географ. наук
С. А. САПОЖНИКОВОЙ

БИБЛИОТЕКА
ЛЕНИНГРАДСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1952

АННОТАЦИЯ

Настоящий сборник посвящен проблеме преобразования природы в засушливых районах СССР. Статьи базируются в основном на материалах Каменностепной экспедиции ГГО 1951 года и на наблюдениях лесогидрометеорологических станций и освещают метеорологическую эффективность полевых лесоразведения и орошения, а также метеорологический режим внутри лесных полос.

Редактор *С. А. Сапожникова.*

Техн. редактор *М. И. Брайнина.*

Корректор *Ф. И. Межиковская.*

Сдано в набор 24/III 1952 г.

Подписано к печати 5/IX 1952 г.

Изд. № 18.

Индекс М-Л-18.

Бумага 70×108¹/₁₆.

Бум. л. 4,5.

Печ. зн. в 1 бум. л. 121 780 зн.

Печ. л. 12,33.

Уч.-изд. л. 13,7.

Тираж 700 экз.

Гидрометеиздат, г. Ленинград 1952 г.

Цена 9 руб. 60 коп.

М-33795.

Заказ 811.

2-я типо-литография Гидрометеиздата, Ленинград, Прачечный пер., д. 6.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	4
О. А. Дроздов. О некоторых особенностях влагооборота в связи с мелиоративными мероприятиями	5
С. А. Сапожникова. О расположении лесных полос для защиты полей от вредоносных ветров в засушливых районах Европейской территории СССР	21
Е. П. Архипова. Влияние лесных полос на режим температуры почвы	27
Е. П. Архипова и М. Я. Глебова. Микроклиматические особенности орошаемого поля	39
М. Я. Глебова. Температура воздуха в лесных полезащитных полосах	54
Т. А. Голубова. Некоторые особенности влажности воздуха в лесных полосах	72
Т. А. Голубова. О радиационном режиме внутри лесной полосы	79
Е. Н. Романова. О влиянии лесных полос на турбулентный обмен	83
Н. А. Брилева. О влиянии травостоя сельскохозяйственных посевов среди лесных полос на термический режим приземного слоя воздуха	88
И. А. Гольцберг. Изменение длительности безморозного периода на межполосных полях	94
П. А. Воронцов. Аэрологические условия засушливых периодов летом 1951 г. в Каменной Стени	105
М. В. Заварина. Суховеи 1949 г.	127
И. В. Свисюк. Распределение снежного покрова в условиях комплексной полупустыни Заволжья (по наблюдениям лесогидрометстанции Джаныбек)	137
Г. П. Липина. Влияние лесных полос на температуру почвы и приземный слой воздуха над паровым полем	142

ПРЕДИСЛОВИЕ

Помещенные в настоящем выпуске работы Е. П. Архиповой, Н. А. Брилевой, П. А. Воронцова, М. Я. Глебовой, Т. А. Голубовой и Е. Н. Романовой целиком или частично выполнены по материалам Каменноостепной экспедиции, проведенной Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова летом 1951 г. с целью изучения метеорологической эффективности полезащитного лесоразведения и орошения. Специальные градиентные наблюдения в приземном слое воздуха, радиозондовые, аэростатные, самолетные и др. позволили сделать ряд новых выводов, важных для теории и практики. Начальник экспедиции проф. О. А. Дроздов принимал непосредственное участие в редактировании данных работ. В части работ (Е. П. Архиповой и М. Я. Глебовой, Т. А. Голубовой), кроме того, используются данные лесогидрометстанций Гигант и Деркул, что позволило сделать первый опыт оценки влияния общих климатических условий на метеорологическую эффективность полезащитного лесоразведения.

Работа О. А. Дроздова является дальнейшим развитием его исследований по вопросу о влиянии преобразования природы на осадки.

В статье С. А. Сапожниковой дается обоснование размещения полезащитных лесных полос с точки зрения максимальной ветрозащиты полей.

Обобщению результатов исследований о влиянии лесных полос на морозоопасность межполосных полей посвящена работа И. А. Гольцберг.

Статья М. В. Завариной, совместно с упомянутой выше статьей П. А. Воронцова, характеризует аэросиноптические условия суховеев и в совокупности с ранее проведенными исследованиями раскрывает природу суховейных потоков.

Статья начальника лесогидрометстанции Джаныбек И. В. Свисюк освещает малоисследованный вопрос об особенностях залегания снежного покрова в комплексной полупустыне и соответствующей роли агротехники и полезащитного лесоразведения.

Особенности метеорологического режима парового поля, расположенного между лесными полосами, по наблюдениям в Каменной Степи в 1950 г., освещаются рефератом работы Г. П. Липиной.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ВЛАГООБОРОТА В СВЯЗИ С МЕЛИОРАТИВНЫМИ МЕРОПРИЯТИЯМИ

I. О влагообороте на ограниченной территории суши

В стране социализма при современном уровне техники имеется полная возможность ставить и решать вопросы об изменении режима осадков на значительной территории. В связи с этим выяснение основных закономерностей влагооборота представляет не только теоретическое, но и практическое значение.

Основные факторы увлажнения суши. Как известно, в связи с потерями на сток поддержание влагосодержания на суше возможно лишь за счет непрерывной адвекции водяного пара с мирового океана; а когда рассматривается сравнительно небольшой участок суши, то за счет адвекции с окружающих территорий. В связи с большими скоростями ветра, в свободной атмосфере проносится большое количество водяного пара. Подсчеты Х. П. Погосяна и К. И. Кашина [12], а также М. И. Будыко и О. А. Дроздова [1] сходятся на том, что если осадить весь пар, проносимый над Европейской территорией СССР за год, то он должен был бы дать слой воды около 150 см. Между тем, в среднем на Европейской территории СССР выпадает менее $\frac{1}{3}$ этого количества.

Таким образом, большая часть водяного пара проносится над данной территорией без существенной пользы для ее увлажнения и имеет значение лишь для увлажнения соседних территорий.

Если наложить на карту абсолютной влажности средний перенос воздуха в тропосфере в теплый период над территорией, где планируются защитные мероприятия, то видно, что этот, в основном западный перенос направлен из районов, где влажность приблизительно та же, что и над данной территорией.

Дело в том, что, как уже отмечал в свое время А. А. Каминский [11], северная часть Атлантики летом в температурном отношении представляется относительно холодным районом и не сможет служить значительным источником водяного пара.

Таким образом, средний перенос мало обогащает территорию мелиорации паром и создает лишь пронос над ней некоторого количества влаги.

В большей степени увеличение притока водяного пара происходит благодаря макротурбулентному переносу влаги в результате циклонической деятельности, при котором, за счет межширотного обмена, с юга поступает значительное количество водяного пара, обогащающее данную территорию влагой (более 80% осадков умеренных широт имеют фронтальное происхождение). Поскольку изменение влагосодержания в атмосфере происходит приблизительно параллельно с изменением температуры, которая в теплый период возрастает в среднем с севера на юг, главная часть осадков циклонов образуется за счет пара, приносимого благодаря обмену с юга. Наложение же на циклоничность общего западного переноса приводит к тому, что фактически водяной пар, образующий осадки, чаще всего приходит с юго-запада.

Потери влаги на материке, осуществляющиеся стоком (речным и атмосферным), должны компенсироваться переносом влаги в процессе циклонической деятельности с юга и частично с запада за счет среднего переноса влаги.

Анализ ежедневного материала за 1945 г. показал, что изменение удельной влажности в слоях до уровня конденсации близко к линейному, что должно соответствовать переносу потока водяного пара от земли в свободную атмосферу под влиянием турбулентного перемешивания. Однако сравнивая распределение влажности и температуры по высоте в дни с осадками и без них, можно было сделать вывод, что решающим фактором для образования осадков является прохождение атмосферных фронтов, связанное с горизонтальной неоднородностью распределения температуры и сопровождающееся обычно выносом водяного пара в более северные районы. Непосредственный анализ влагосодержания воздушных масс, приходящих из более южных по сравнению с остальными районов, подтверждает повышенное влагосодержание в первых, что очень важно для образования осадков.

Основные уравнения влагооборота

Основные уравнения влагооборота при его устойчивости могут быть написаны для года в следующем виде:

$$R = E + F, \quad (1)$$

$$r = c + F, \quad (2)$$

где R — атмосферные осадки, выпадающие над данной территорией, r — количество осадков, возникшее за счет пара адвективного происхождения, E — испарение, F — сток, c — количество испарившейся влаги, выносимое атмосферной циркуляцией за пределы района (атмосферный сток).

Уравнение (2) выражает то, что при устойчивом влагообороте количество воды, теряемое за год территорией за счет стока, в том числе атмосферного, компенсируется осадками, образующимися за счет пара адвективного происхождения.

Из этих уравнений следует, что

$$E = R - r + c. \quad (3)$$

Кроме того, допустимо считать, что роль пара, образовавшегося над данной территорией и принесенного адвекцией в общем процессе образования осадков, пропорционально количеству того и другого пара, а также времени нахождения их на территории, учитывая, что испарение происходит со всей территории в целом и поэтому путь, проходимый в среднем частично испарившейся влагой, равен над данной территорией половине пути, проделываемого паром адвективного происхождения (A). Вероятность образования осадков из пара того и другого происхождения можно представить в следующем виде:

$$\frac{r}{R-r} = \frac{A}{0,5E}. \quad (4)$$

В дальнейшем обозначим через $m = R - r$ количество осадков, образующееся над данной территорией в единицу времени из пара местного происхождения.

Попытаемся количественно определить соотношение осадков адвективного и местного происхождения. Схема влагооборота, рассчитанная для Европейской территории СССР К. И. Кашиным и Х. П. Погосьяном, а так же схема М. И. Будыко и О. А. Дроздова для среднегодовых условий имеют одну и ту же принципиальную основу. Тем не менее в этих работах имеются и существенные расхождения в схеме переноса. Устранение этих расхождений должно было явиться задачей уточненного синоптико-аэрологического исследования.

К. И. Кашин и Х. П. Погосьян считали, что водяной пар переносится по территории вместе с воздушной массой в целом. Поэтому они пренебрегли различием в ветрах на разных высотах в атмосфере, а за скорость общего переноса принимали результирующую скорость переноса во всей нижней тропосфере на уровне 3 км над землей. Это было бы справедливо лишь при чрезвычайно большой скорости перемешивания по вертикали водяного пара, во всей тропосфере, которое в действительности значительно слабее. Наоборот, М. И. Будыко и О. А. Дроздов, учитывая, что большая часть водяного пара сосредоточена ниже уровня 1,5 км

над землей, приняли за эффективную высоту переноса 1,25 км. На этой высоте скорости ветра значительно слабее, чем на высоте 3 км, и, главное, западный перенос здесь не является столь устойчивым, как на больших высотах. Тем не менее, последние авторы, учитывая рассеяние, вызванное различием в скорости и направлении ветра на высотах, и макротурбулентное перемешивание в барических системах, получили величины переноса пара над исследуемой территорией того же порядка, что и в ранее упомянутой работе К. И. Кашина и Х. П. Погосяна.

В работе О. А. Дроздова [9], выполненной специально для районов полезного лесоразведения за пять летних месяцев, эффективная высота переноса принималась такой же, как в работе [1], а влагосодержание в атмосфере было заведомо преуменьшено тем, что оно учитывалось только в нижнем 5-километровом слое.

Расчеты, сделанные в этих предположениях, основаны на пренебрежении влиянием вертикального перемешивания на формирование воздушной массы (кроме перераспределения влажности) и рассмотрении переноса водяного пара в атмосфере на каждой высоте изолированно.

И тот и другой вид расчета заведомо несколько преуменьшают перенос водяного пара над территорией СССР. К. И. Кашин и Х. П. Погосян пренебрегают рассеянием водяного пара по горизонтали, а М. И. Будыко и О. А. Дроздов пренебрегали влиянием перемешивания водяного пара по вертикали на ускорение и упорядочение общего переноса.

В настоящей работе расчет производился для тех же пяти месяцев теплого периода (май—сентябрь) на основании тех же предпосылок, что и в предыдущих наших работах [1, 3].

Однако используя фактический материал ежедневных аэрологических наблюдений за 1945 г., который на юге Европейской территории СССР близок к годам с нормальным увлажнением, был проведен ряд существенных уточнений ранее применявшихся схем.

При этом средняя высота неупорядоченного переноса, так же как и сама его скорость, оказалась больше принятой ранее на 8⁰/₁₀, что можно отнести за счет более интенсивной циркуляции в 1945 г. по сравнению с нормой. Зато эффективная высота упорядоченного переноса оказалась значительно выше, чем предполагалось М. И. Будыко и О. А. Дроздовым, — в среднем около 1,6—1,8 км. Последнее связано с тем, что с высотой растет абсолютная скорость переноса и ее упорядоченность. В соответствии с этим и средняя скорость упорядоченного переноса получилась в 1,85 раз больше принимавшейся ранее. Это различие не может быть объяснено только большей интенсивностью циркуляции в данном году по сравнению со средней, а является следствием сделанного ранее ошибочного предположения, что средние высоты упорядоченного и неупорядоченного переноса можно признать одинаковыми. Направление среднего переноса оказалось западным с небольшой северной составляющей, что подтверждает сказанное выше об относительной роли макротурбулентного и среднего переносов во влагообороте. Несколько большим оказалось и среднее влагосодержание в атмосфере. В прежней работе [1] оно для данного района было принято равным 15—20 мм слоя воды, позднее [3] по средним данным во всем слое атмосферы было оценено в 21 мм, а за 1945 г. оказалось около 22 мм — это различие, возможно, определяется особенностями данного года.

Просмотр конкретных синоптических карт показал, что вероятность возврата водяного пара, вынесенного атмосферной циркуляцией за пределы рассматриваемого района (1620 км по долготе и 1040 км по широте), в общем очень мала, так как либо имеет место хорошо выраженный западно-восточный перенос во всем слое атмосферы, либо если этот перенос неустойчив, рассеяние водяного пара по траекториям движения частиц на разных высотах чрезвычайно велико. Пока мы оставили вероятность возврата порядка $\frac{1}{8}$, что заведомо преувеличено, так как эта величина была получена из формулы, в которой средний перенос принимался значительно меньшим действительного (1). Поскольку даже один средний перенос

выносит весь пар с данной территории за четверо с небольшим суток, случайные изменения направления ветра не могут существенно сказаться на вероятности возврата воздушной массы на данную территорию.

Вычисления слагающих влагооборота велись непосредственно по данным о потоках пара, выходящих за контуры района, поэтому окончательный результат несколько отличается от того, который получился бы при учете только средней скорости и влагосодержания, но это отличие не существенно.

Исходные данные для расчета слагающих влагооборота за указанный теплый период, кроме упомянутых выше, оказались в среднем для всего района равными $R = 25$ см (норма), $E = 27$ см (норма). Превышение испарения над осадками $\Delta = -2$ см осуществлялось за счет уменьшения запасов влаги в почве с начала мая по начало октября и вычислялось по этим данным конкретно для рассматриваемого года. Поверхностный сток был равным нулю. Уточняя уравнения (1) и (2), имеем:

$$R = E + F + \Delta, \quad (5)$$

$$r = F + \Delta + c.$$

Вставляя в уравнения (4) и (5) значения R , E , F , Δ , указанные ранее, и A , определенное из ежедневных данных за 1945 г., уменьшенное на $12,5\%$ ($1/8$) за счет возможных возвратов водяного пара на данную территорию ($A = 178,6$ см), получаем:

$$r = 23,2 \text{ см}, \quad R - r = 1,8 \text{ см}, \quad c = 25,2 \text{ см}.$$

Роль внутренних осадков в общем влагообороте в данном районе оказывается совершенно ничтожной. Даже если учесть, что испарение в данном районе происходит неравномерно, а больше на западе, чем на востоке района, количество внутренних осадков не превышает 3 см^1 .

На этом основании, однако, еще нельзя делать вывод о незначительности влияния местного испарения на осадки.

Обозначим коэффициент использования адвективной $\left(\frac{r}{A}\right)$ и местной $\left(\frac{m}{E}\right)$ влаги, который согласно ранее принятым допущениям одинаков (4), через α , тогда

$$r = \alpha A,$$

$$m = 0,5\alpha E.$$

Вообще одинаковость коэффициента благоприятствования образования осадков из адвективного и местного пара не очевидна, но на данной стадии состояния вопроса нет достаточных данных для его уточнения, зато уместно ставить вопрос о возможности влиять на значение α посредством мелиоративных мероприятий. Коэффициент α является функцией многих переменных, в первую очередь, горизонтальных и вертикальных температурных градиентов, абсолютного значения температуры и влагосодержания (или относительной влажности), а также горизонтальных и вертикальных градиентов влажности.

Значительная роль принадлежит также шероховатости подстилающей поверхности, стимулирующей вертикальные движения в атмосфере, а также рельефу местности. Коэффициент α может быть также несколько повышен путем активного воздействия на облачность с целью осаднения тех облаков, из которых в обычных условиях дождя не выпадает, или более полного осаднения облачности, дающей в обычных условиях лишь небольшие осадки.

Возможности изменения α пока не установлены, и лишь для некоторых частных вопросов, приобретающих серьезное значение в связи с системой мероприятий

¹ Все расчеты произведены мл. научным сотрудником А. С. Григорьевой.

по полезащитному лесоразведению, травопольному земледелию и орошению, получены некоторые сведения о возможности изменения α .

Рассмотрим влияние на α относительной влажности и уровня температуры воздушной массы в условиях засушливой зоны Европейской территории СССР.

Количественное влияние фактора относительного увлажнения территории на осадки, повидимому, довольно велико, хотя выявление его в чистом виде весьма сложно. Дело в том, что не только уровень влажности сказывается на осадках, но и, наоборот, даже в большей степени выпадающие осадки повышают влажность, особенно в нижних слоях атмосферы над данной территорией. Тем не менее, если сравнить юго-восток и юго-запад Европейской территории СССР, то различия в количестве осадков, которые здесь очень велики (на юго-востоке 200—250 мм за год, на юго-западе 350—400 мм за год), приходится в большей части отнести за счет изменения уровня относительной влажности, обусловленного прогревом территории. В самом деле абсолютное значение влагосодержания в атмосфере на западе и на востоке Европейской территории СССР различается в общем мало. Характер циркуляции на востоке (периферия антициклона) менее благоприятен весной (апрель, май), т. е. как раз в те месяцы, когда различия в средних суммах осадков сравнительно невелики. Начиная же с июня в среднем давлении на востоке несколько ниже, чем на западе. Вертикальная стратификация температуры на востоке в течение всего теплого периода более благоприятна, чем на западе. Синоптическая практика в Нижнем Поволжье, Южном Зауралье и в Северной Азии говорит о том, что фронты, доходящие до этих районов, размываются и перестают образовывать осадки. Повидимому, главной причиной такого размывания и является прогрев воздуха и удаление его от состояния насыщения, хотя термический контраст по разные стороны фронта еще остается. Это особенно заметно в Средней Азии, где фронты проходят летом даже без образования облачности или все дело ограничивается образованием облаков верхних форм. К аналогичному выводу о причинах сухости климата юго-востока пришел и Б. Л. Дзержевский [5].

Известное влияние на осадки оказывает и абсолютное влагосодержание, если его рассматривать при данном уровне относительной влажности. В этом случае следует ожидать, что осадки будут пропорциональны влагосодержанию. Изменение абсолютного влагосодержания при данной относительной влажности следует учитывать при изменении уровня температуры, например, в годовом ходе. Зависимость количества осадков от относительного влагосодержания довольно сложна. Большая относительная влажность, понижая уровень конденсации, способствует более частому образованию местной облачности и осадков (как внутримассовых, так и фронтальных).

Для оценки связи количества выпадающих осадков с относительным увлажнением и температурой (последняя при данной относительной влажности характеризует абсолютное увлажнение) произведено исследование показаний ряда станций южной половины Европейской территории СССР. Станции выбирались таким образом, чтобы возвышенности не могли существенно сказаться на наблюдаемом ими количестве осадков. Иначе, как показало сравнение, на наветренных, по отношению к ветрам, несущим влагу, склонах возвышенностей (западных и южных) при том же влагосодержании осадков оказывается значительно больше, а на подветренных склонах значительно меньше, чем получается для средних условий.

Из аналогичных соображений пришлось исключить из рассмотрения пункты, относящиеся к побережьям морей, для которых характерно сравнительно малое количество осадков при повышенном влагосодержании. Подобные нарушения закономерности могли быть обусловлены, во-первых, нерепрезентативностью наземной влажности, по которой приходилось рассчитывать влагосодержание (по формуле Н. Ф. Накоренко) из-за отсутствия достаточного количества прямых наблюдений над влажностью; во-вторых, иными условиями шероховатости и температурной стратификации над морем, не сразу изменяющимся на побережье; к тому же бризовая циркуляция своей инверсией также задерживает образование осадков. Использование для той же цели связи между изменением во времени осадков и влажности для одного пункта нам представляется менее надежным, так как здесь в большей

степени будет проявляться обратный эффект, т. е. увеличение относительной влажности, вызываемое увеличением осадков в связи с особенностью атмосферных процессов различных лет.

Зависимость осадков от температуры и влажности оказалась настолько тесной, что появилась возможность провести изоплеты их количества и даже грубо рассчитать производные количества осадков с изменением относительной влажности при той же температуре [9].

С уменьшением относительной влажности осадки убывают сначала довольно медленно, а затем этот процесс ускоряется, повидимому, в связи с тем, что при средней сезонной влажности около 60—65% значительно изменяется вероятность образования осадков, и они выпадают лишь в тех случаях, когда условия погоды существенно отличаются от средних (при прохождении циклонов). При относительной влажности за сезон ниже 50% осадков становится очень мало (менее 300 мм) и дальнейшая убыль их в зависимости от падения относительной влажности замедляется в связи с тем, что отдельные случаи сильно развитой циклонической деятельности мало сказываются на среднем уровне влажности в воздушных массах. Фактически при этой влажности развивается внутриматериковая пустыня. Если привести абсолютное влагосодержание к температуре 18° за сезон, то связь количества осадков с относительной влажностью h будет выглядеть так, как показано в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

h . . .	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45
R . . .	590	555	520	483	442	400	355	295	220	135	85	62

Таким образом, например, понижение относительной влажности на 10% (с 65 до 55%) вызовет изменение осадков на 160 мм — больше чем на половину всего количества осадков, выпавшего при влажности равной 55%, в то время как абсолютное влагосодержание убывает менее чем на 15%. Эти цифры наглядно иллюстрируют влияние относительного влагосодержания на количество осадков. Правда, они могут быть несколько преувеличенными из-за трудности исключения обратного влияния количества осадков на относительную влажность. Эти же данные свидетельствуют о большой роли местного испарения в образовании осадков в том случае, если оно поддерживает увлажнение воздушной массы на достаточном уровне.

Форма связи между температурой, относительной влажностью и осадками, как показали специальные исследования [3], оказалась довольно устойчивой во времени и в пространстве и может применяться даже к отдельным месяцам, а также для территорий, далеко выходящих за пределы района, для которого она получена.

На основании сделанных выше вычислений можно в небольших пределах изменения влажности положить

$$\alpha = \alpha_1 + a \Delta h$$

или, учитывая, что изменение h над той или другой территорией в процессе преобразования природы практически достигается увеличением на ней испарения,

$$\alpha = \alpha_1 + b \Delta E.$$

В связи с этим можно показать, что при увеличении местного испарения местные осадки должны возрастать в процентном отношении несколько больше адвективных. В самом деле, поскольку увеличение испарения приводит к росту α ,

$$\Delta r = \Delta \alpha A = b A \Delta E,$$

$$\begin{aligned} \Delta m &= \frac{1}{2} (\alpha_1 + \Delta \alpha) (E + \Delta E) - \frac{1}{2} \alpha_1 E = \\ &= \frac{1}{2} (\Delta \alpha E + \alpha_1 \Delta E + \Delta \alpha \Delta E) = \frac{1}{2} b E \Delta E + \frac{1}{2} \alpha_1 \Delta E + \frac{1}{2} b \Delta E^2 = \\ &= \frac{1}{2} (b E + \alpha_1) \Delta E + \frac{1}{2} b \Delta E^2. \end{aligned}$$

Отсюда, пренебрегая членом, содержащим ΔE^2 , находим

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{b\Delta E}{\alpha} = \frac{\Delta \alpha}{\alpha},$$

$$\frac{\Delta m}{m} \approx \frac{b\Delta E}{\alpha} + \frac{\Delta E}{E}.$$

Таким образом, $\frac{\Delta m}{m}$ растет быстрее, чем $\frac{\Delta r}{r}$, и быстрее относительного увеличения испарения.

II. Ожидаемые изменения режима осадков

На пути исследования влияния лесоразведения на осадки стояли большие трудности, преодолеть которые удалось лишь в недавнее время. Эти трудности заключались в том, что неясен был сам механизм влияния леса на осадки. Большинство ученых (Г. Н. Высоцкий, И. И. Касаткин и др.) сводило действие леса на осадки к влиянию дополнительного испарения, которое, как уже говорилось выше, не всегда велико.

Некоторые ученые, например М. А. Великанов, указывали на возможную причину влияния леса на осадки — на подъем линий тока лесом при его обтекании. Наконец, многие ученые, ссылаясь на систематические ошибки показаний дождемера, находящегося под воздействием ветра, считали влияние леса на осадки вообще недоказанным. Действительно, дождемер улавливает, как правило, тем меньший процент выпадающих осадков, чем сильнее ветер. Различия, вызванные этой причиной, очень велики зимой для твердых осадков, однако, в литературе имеются указания и на недоучет 10—15% летних осадков из-за влияния сильных ветров.

В то же время дождемер, находящийся под защитой близлежащего леса, расположенный в условиях ослабленных ветров, по сравнению с дождемером, установленным в поле, может улавливать осадки, сдуваемые с поля и крон деревьев, получая больше осадков, чем их выпадает в действительности, особенно зимой, что и наблюдалось на практике. Следовательно, для того чтобы доказать влияние местности на осадки, надо было или доказать, что различия в осадках лесистой и безлесной местности с одними и теми же макроклиматическими условиями выходят за пределы ошибок наблюдений, или анализировать подобные расхождения после исключения ошибок наблюдений. Весьма интересной явилась сводка С. И. Костина [13] по данным влияния леса на осадки в условиях Воронежской области. Там было наглядно показано, что различия в осадках теплой части года между лесистыми и безлесными районами достигают 10—15% суммы осадков. Впрочем, оставался неясным второй вопрос: в какой мере сама лесистость была связана с более благоприятным режимом увлажнения того или другого места.

Влияние шероховатости подстилающей поверхности на осадки. Наиболее интересная работа в отношении выявления влияния лесистости территории, а именно — ее шероховатости, на осадки была проведена Г. П. Калининым [10], при выполнении которой были приняты все меры для исключения возможного влияния систематических ошибок наблюдений над осадками. Напомним механизм действия шероховатости.

Шероховатость местности, тормозя движение воздуха в нижних слоях, вызывает значительное увеличение турбулентности воздушного потока и связанные с этим восходящие и нисходящие движения, особенно существенные при неустойчивом состоянии атмосферы. Кроме того, вышележащие слои атмосферы, вынужденные обтекать образовавшееся препятствие, также поднимаются в подветренной части шероховатой поверхности. Г. П. Калинин исходил из оценки шероховатости, обусловленной уклонами между вершинами леса и безлесными местами, хотя получающиеся уклоны (6°) были сравнимы с уклонами, обусловленными рельефом; такой способ оценки шероховатости леса в силу вертикальности границ лес — поле сильно преуменьшает оценку шероховатости и Г. П. Калинин отдает себе в этом

отчет. Очевидно также, что влияние шероховатости на осадки сказывается не сразу, а лишь по прохождении воздушной массой некоторого пути в пределах местности, характеризующейся определенной шероховатостью.

Исходя из указанных выше теоретических предпосылок, Г. П. Калинин произвел сравнение количества выпадающих осадков за пять месяцев вегетационного периода (май—октябрь) с суммарной длиной лесных опушек на территории в радиусе 30 км вокруг пунктов наблюдений. Исследованию подвергались территории Московской и окружающих ее областей. Однако непосредственно сравнивать осадки и лесистость нельзя, так как они зависят еще от географического положения района.

Наибольшая лесистость имеет место на возвышенностях северной и восточной частей территории в силу меньшей густоты там населенных пунктов и более низких температур, поэтому данные районы в ландшафтном отношении образуют лесную зону. На этих же возвышенностях увеличены и количества осадков. Наоборот, юго-восточная часть района, сравнительно низкая, лесостепная, издавна густо заселенная, имеет небольшую лесистость и меньшие осадки за счет макроклиматических условий. Необходимо было найти пути исключения влияния исторических и макроклиматических факторов на распределение осадков и на распределение лесистости, что оказалось очень трудно сделать до конца. Для данной цели мы с Г. П. Калининым применяли разные методы. В частности, если разбить рассматриваемую территорию на шесть более однородных в климатическом отношении районов, то в каждом из них остается еще достаточно станций, чтобы учесть реальные колебания осадков в связи с лесистостью.

Исключив различия в осадках между районами, независимые от лесистости, и нанеся все результаты на один график, мы получим, что различия в лесистости вызывают некоторое изменение осадков, составляющее, при изменении длин контуров леса от 100 до 1400 км, около 35 мм.

Если же не учитывать известной доли ложной корреляции между лесистостью и осадками, то различия в осадках составляли бы около 75 мм. Учитывая, что фон осадков в этих районах еще не вполне однороден, следует снизить влияние лесистости на осадки в летние месяцы до 30 мм, или 9% от суммы осадков за период. Исследования Г. П. Калинина показали, что в холодную часть года рост осадков с увеличением лесистости получается более слабый, но вместе с тем нами было установлено, что исключение из расчета данных тех станций, на которых недостаток осадков холодной части года особенно велик, не уничтожает рассмотренных выше зависимостей. И в целом для года колебания количества осадков под влиянием лесистости на рассмотренной территории составляют 7—8% годовой суммы, или около 45—50 мм.

Для перехода от выводов, полученных Г. П. Калининым для лесной зоны, к степной необходимо учесть следующие обстоятельства. Реальная длина контуров леса по указанию самого автора была им преуменьшена в 2—3 раза ввиду недостаточного масштаба карты, и следует считать, что фактическая длина опушек в районе, где проводились исследования, достигает 4000 км. Если учесть длину контуров леса, покрывающих всю территорию по клеткам $0,6 \times 1,7$ км, то длина контуров для площади круга радиуса 30 км (2800 км^2) составит 13 000 км. Около 30% площади надо скинуть со счета на населенные пункты, неудобные земли, водоемы и прочие места, где лесоразведение проводиться не будет. И с учетом этого обстоятельства длина контуров леса должна возрасти до 9000 км. Однако нет оснований непосредственно экстраполировать увеличение осадков в зависимости от лесистости по выводам, установленным Г. П. Калининым на будущий эффект лесных полос. Дело в том, что продуваемые полосы и непродуваемые лесные массивы будут влиять на вытеснение воздуха неодинаково. Поэтому осторожнее считать эффект увеличения осадков при полосном облесении территорий приблизительно равным максимальному эффекту облесения, т. е. около 8% годовой суммы осадков; на западе территории это составляет от 40 (на северо-западе) до 30 (на юго-западе) мм.

Сравнивая эффекты восходящих движений в зоне лесных полезащитных полос с тем, что должен давать рельеф, можно согласиться, что влияние шероховатости,

вызываемое системой лесных позахщитных полос, приблизительно соответствует влиянию возвышенности высотой 50 м [6, 7, 8]. Так, исследования ГГИ и ГГО в 1950 г. и ГГО в 1951 г. в Каменной Степи показали, во-первых, что коэффициент

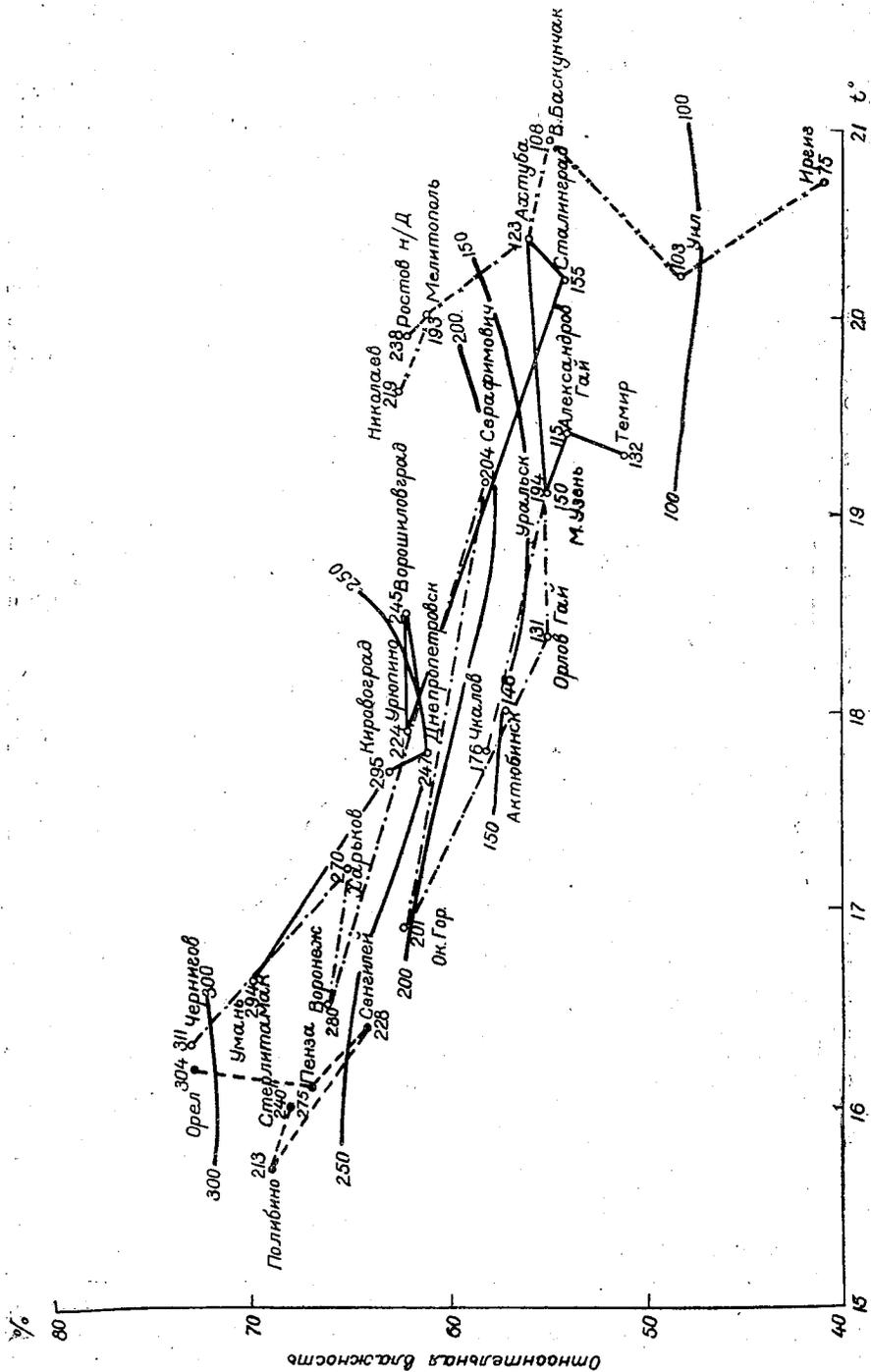


Рис. 1. Количество осадков в миллиметрах в функции температуры и относительной влажности (май — сентябрь).

обмена над полосами оазисов на высотах 100—1000 м в среднем в 1,5 раза больше, чем в открытой степи, а токи обтекания вызывают колебание высоты неуправляемого самолета на тех же высотах в среднем около 100 м, а в отдельных случаях до 300—400 м [3]. Интересно, что по наблюдениям 1950 г. над Шипов-

ским лесным массивом коэффициент обмена оказался значительно меньше, чем над степью, но потоки оттекания весьма велики.

Рассмотрим, что произойдет в более восточных районах. В пересеченной местности обычно увеличение осадков с наветренной (западной) стороны возвышенности приводит к уменьшению осадков в восточной части. Такая дождевая тень есть прямое следствие обеднения атмосферы влагой под влиянием восходящих движений перед возвышенностью и соответствующего уменьшения α , а также нисходящих движений. При рассмотрении условий, связанных с комплексом мероприятий сталинского плана преобразования природы, опасность обеднения воздушных масс водяным паром в общем отпадает; однако нельзя допускать увеличения стока в районах будущего увеличения осадков, а необходимо всю дополнительную воду использовать для транспирации растительности. Но и в этом случае эффект увеличения осадков под влиянием шероховатости будет к востоку все же ослабевать и, возможно, дойдет до нуля, а за пределами зоны полосного облесения опускание воздуха вызовет уменьшение количества осадков на величину, несколько меньшую величины увеличения осадков на западной периферии района. Этот эффект, однако, будет устранен влиянием дополнительного испарения в районах искусственного орошения.

Влияние дополнительного испарения. Учет влияния дополнительного испарения комплексом мероприятий травопольной системы земледелия, полезащитного лесоразведения и орошения на местный сток затрудняется тем, что гидрологическая сторона формирования стока в новых условиях еще недостаточно изучена. Качественно заметно значительное уменьшение поверхностного стока, которое уменьшит размер паводков на реках степной и лесостепной полосы. Наоборот, грунтовый сток должен несколько увеличиваться в связи со способностью структурной почвы забирать в себя больше воды и лучше ее пропускать в грунт, чем бесструктурной.

Это увеличение грунтового стока несколько увеличит уровень рек в меженное время, и, таким образом, вся система мероприятий окажет положительное влияние на режим рек в течение года. Однако увеличение грунтового стока будет меньше, чем задержание поверхностного стока, на величину влаги, дополнительно потребляемой сельскохозяйственными растениями и лесными полосами, которая даже с учетом влияния уменьшения неэффективного испарения с почвы будет не малой. К сожалению, окончательный расчет осадков, идущих на сток, вызывает среди гидрологов значительные споры, поэтому пришлось несколько условно принять наиболее вероятное уменьшение стока на 25% в лесостепи и северной части степи и до 50% на юге степей с площадей, которые будут обсажены полезащитными лесонасаждениями. В связи с этим можно оценить общее дополнительное испарение с районов полезащитных насаждений Европейской территории СССР за пять летних месяцев около 17,5 мм, что дает дополнительное испарение около 0,11 мм в сутки. Это количество, поступая в атмосферу, быстро перемешивается с ранее бывшим в атмосфере водяным паром в результате процессов динамической турбулентности и термической конвекции, пребывает над районом полезащитных насаждений некоторое время и постепенно рассеивается или выносится за пределы района.

Как уже говорилось выше, эффективная высота переноса водяного пара ниже эффективной высоты переноса тропосферных процессов в целом как в силу падения давления в перемешивающейся атмосфере с высотой, так и вследствие уменьшения температуры с высотой. Половина всего содержащегося в атмосфере водяного пара лежит где-то на высоте 1,0—1,5 км над землей. В связи с этим за эффективную скорость потока воздуха, увлекающего водяной пар, следует взять скорость воздуха на высоте 1250 м. В летнее время на этой высоте средние скорости ветра по данным наблюдений в сравнительно ясную погоду составляют около 7,5 м/сек. В основном это случайные переносы на расстояния от одной до нескольких тысяч километров, однако, средний перенос на этой высоте все же составляет несколько метров в секунду. Перенос водяного пара сопровождается сильнейшим его рассеянием, порядка самих скоростей ветра. В самом деле, в слое трения происходит быстрый поворот ветра с высотой, содержание же водяного

пара здесь наиболее высокое. На больших высотах имеет место значительное преобладание западных переносов. Средний угол поворота ветра от земли до уровня 5 км во всяком случае не меньше 60° , средняя же скорость ветра возрастает от 3—4 м/сек. у земли, до 10 м/сек. и более в верхних слоях атмосферы. Вследствие этого рассеяние водяного пара в столбе с основанием 1 см^2 и высотой до 7 км составляет в первую же секунду величину того же порядка, что и средняя скорость, т. е. порядка 7,5 м/сек., а в дальнейшем должно еще увеличиваться за счет влияния турбулентности больших масштабов. Размер района полезащитного лесоразведения составляет около 1060 км по широте и 1640 км по долготе.

При указанных выше скоростях ветра среднее время смены воздуха над территорией оказывается около 2 дней. Конечно, в дальнейшем при перемене направления ветра часть водяного пара может попасть обратно на данную территорию, однако, доля возврата сравнительно невелика, как это уже было указано выше.

Среднее влагосодержание в 7-километровом слое атмосферы на данной территории составляет 18—24 мм (в среднем около 22 мм); за 2 дня, в течение которых влага в среднем остается над территорией района дополнительно испарится 0,22 мм, что может вызвать увеличение влагосодержания над данной территорией на 1% ее абсолютной величины или 0,4—0,8% (в среднем 0,6%) относительной влажности во всем столбе атмосферы (принимая ее в среднем 60%). В соответствии с данными рассчитанной нами табл. 1 это может вызвать увеличение осадков в подветренной части района полезащитного лесоразведения до 16 мм, а на юго-востоке побережья Каспия, в полупустыне, — всего до 2—3 мм.

Этот эффект, однако, будет неодинаков по долготе. На западе эффект будет меньше, поскольку преобладающий перенос снизу доверху является западным и пар будет относиться к востоку; при обратном, т. е. восточном переносе влажность вообще бывает низкой и осадков не образуется. На северо-западе, кроме того, средние значения влажности настолько высоки, а влагосодержание настолько значительно, что уже одно это обстоятельство снижает эффективность влияния испарения на осадки более чем в 2 раза. Следовательно, увеличение осадков, вызванное увеличением влагосодержания из-за задержки поверхностного стока, оказывается минимальным на западе и на юго-востоке и максимальным на северо-востоке района. За пределами района полезащитного лесоразведения часть влаги оседает на Уральском хребте, где также можно ожидать некоторого увеличения осадков, которое пока еще не рассчитано. Часть влаги будет вынесена в равнинные районы СССР к северу от районов полезащитного лесоразведения, где также будет иметь место некоторое увеличение осадков. Если учесть, что направление циклонов летом таково, что они в общем развиваются над материком, то этот эффект может оказаться, согласно формуле (2), не очень малым.

В данном случае слагающая пути переноса вдоль долготы составляет 2000—3000 км. Средний градиент влагосодержания составляет здесь летом около 10 мм на 1000 км. Увеличение его на $1-2\%$ приводит к возрастанию там осадков и стока примерно на такой же процент, т. е. около 3—6 мм в северо-восточной четверти Европейской территории СССР, с уменьшением этого эффекта к западу. Общее увеличение осадков по всей территории, однако, будет меньше количества пара, которое дополнительно испарится с территории мелиорации.

Перейдем теперь к влиянию на осадки Европейской территории СССР пара, который будет дополнительно получаться с районов, орошаемых водами Днепра, Дона и Волги.

Произведен расчет поступления в атмосферу водяного пара под влиянием мероприятий по искусственному орошению на Европейской территории СССР.

Официальные данные о заборе воды на орошение опубликованы не по всем рекам и наши данные могут явиться несколько ориентировочными. Точно известен забор воды из Днепра, равный 600 м³/сек., что составляет около 19 км³/год. Для Волги забор воды на каждом из водохранилищ принят нами равным 15 км³/год, т. е. примерно соответствующий существующим проектам, по которым по всей Волге забор воды составляет 30 км³/год. Данных по Дону нет, но, исходя из

площадей орошения, мы приняли этот забор равным около $8 \text{ км}^3/\text{год}$. Итого по всем великим стройкам коммунизма, расположенным на Европейской территории СССР, имеем забор воды равный

$$19 + 30 + 8 = 57 \text{ км}^3/\text{год}.$$

Это количество почти вдвое больше количества влаги, дополнительно испаряющейся благодаря мероприятиям полезащитного лесоразведения и составляющей 17 мм со всей площади района, т. е.

$$1060 \times 1620 \times 0,000017 = 29,2 \text{ км}^3/\text{год}.$$

Расположение районов орошения таково, что большая часть пара должна выноситься за пределы района мелиорации западными и частично южными ветрами.

Учитывая соотношение между средней скоростью ветра и преобладающим западным переносом, вероятность попадания пара внутрь контура полезащитного лесоразведения и орошения на юге и востоке составляет около $\frac{1}{3}$, причем наибольшее количество пара будет естественно концентрироваться в районах орошения. Общее увеличение осадков, вызванное испарением вод Днепра, Волги и Дона, почти такое же, как под влиянием мероприятий по полезащитному лесоразведению. Оно может составить около 10 мм в лесостепи и около 2 мм в полупустыне. Предполагать большее увеличение осадков в районах искусственного орошения нет оснований в связи с тем, что орошение само по себе создает неблагоприятную стратификацию в атмосфере для выпадения осадков. Таким образом, совместный эффект обоих мероприятий вызывает увеличение осадков за шесть летних месяцев, по сравнению с существующими в лесостепи, от нескольких миллиметров на западе до 25 мм на востоке в Заволжье. На южной периферии района мелиорации увеличение осадков составляет всего несколько миллиметров; оно вероятно дойдет до 6 мм на Приазовской возвышенности и около 4 мм в полупустыне и Заволжье. За пределами зоны мелиорации можно ожидать увеличения осадков на несколько миллиметров в северном Казахстане и заметного возрастания облачности и осадков на Урале и частично за Уралом, количественно пока не определенных.

Особо следует остановиться на изменении этого эффекта в различные годы. В очень дождливые и в очень сухие годы в лесостепи эффект дополнительного испарения на увеличение осадков будет меньше, чем в обычные годы. Это видно из того, что увеличение осадков в зависимости от роста влажности будет меньше как для сравнительно большой, так и для малой влажности.

Кроме того, в дождливые годы почва остается постоянно влажной, и дополнительное испарение вообще будет сравнительно невелико. В засушливые годы на неорошаемой площади ресурсы воды будут меньше, чем в обычные годы.

На крайнем юге эффект испарения, в том числе и за счет искусственного орошения, должен больше сказаться в засушливые годы при отсутствии неблагоприятных для образования осадков форм циркуляции (антициклональных и пр.).

После произведенного расчета уместно сравнить, что дает одно увеличение внутренних осадков по сравнению с общим увеличением их количества под влиянием изменения относительной влажности. Эффект изменения влажности на данной территории соответствует увеличению испарения с данной территории в результате мелиорации на 20% . Это давало бы увеличение внутренних осадков на 4—5 мм. Между тем, фактическое изменение осадков под влиянием того же фактора составляет в средней части района около 10—15 мм, т. е. в 2—3 раза больше. Если же учесть еще и явление шероховатости, то общий эффект увеличения осадков под совместным влиянием полезащитного лесоразведения и орошения в 5—6 раз превышает прирост количества внутренних осадков.

Это количество, однако, оказывается в 2—3 раза меньше дополнительного увеличения испарения на данной территории и лишь далеко за ее пределами дополнительный стимул к выпадению осадков вызовет, вероятно, суммарное выпадение воды, приблизительно равное указанному увеличению испарения. Иначе будет обстоять дело, если рассматривать увеличение испарения на большой площади, но об этом будет сказано в следующем разделе.

III. Влагооборот обширного материка и перспективы дальнейших мероприятий по мелиорации режима осадков

На основании имеющихся данных можно рассчитать влагооборот не только ограниченной территории, но и целого материка. Такой расчет дает возможность оценить рациональные пути воздействия на режим осадков обширных территорий.

Допустим, что мы имеем дело с материком достаточно обширным, чтобы в его середине образовались сухие степи и пустыни, где влагооборот как с западного, так и с восточного океана ослаблен. Вместе с тем для простоты допустим, что влагосодержанием воздушных масс, приходящих на материк с арктических морей, можно в первом приближении пренебречь. Рассмотрим отдельно особенности влагооборота в условиях западно-восточного переноса и в условиях потоков вдоль меридиана.

По расчетам М. И. Львовича [14] известно, что в северном полушарии на поверхности суши в среднем выпадает 63 см осадков, а испаряется около 41 см, таким образом, сток (22 см) составляет приблизительно 35% выпадающих осадков.

На пути от океана до внутриматериковой пустыни воздух теряет около 40% содержащейся в нем влаги (данные для Евразии вдоль параллели 50°), а 65% от действительных потерь первоначального запаса влаги компенсируются испарением¹:

$$0,40A = R - E = 0,35R$$

или

$$A = 0,875R.$$

Таким образом, от берега до внутриматериковой пустыни выпадает количество осадков, несколько превышающее первоначальную адвекцию с океана. Какая часть осадков при этом образуется из влаги, испарившейся на материке, и какая из влаги, принесенной с океана, точно подсчитать невозможно, но можно разобрать два крайних случая.

1. Все испарение сосредоточено в районах, непосредственно прилегающих к океану. Тогда первоначальный поток влаги с океана A возрастает вначале до

$$\left(1 + \frac{0,65}{0,875}\right) A = 1,75 A,$$

уменьшаясь в пустыне до $0,60 A$. В результате турбулентного перемешивания пар, принесенный с океана и испарившийся с суши, будет практически неразличим и доля того и другого в образовании осадков пропорциональна их доле в общем влагосодержании. Следовательно, общее количество осадков на данной части материка образуется на $\frac{A}{1,75 A} = 57\%$ из пара океанического происхождения и на 43% из пара, образованного испарением на материке. Другими словами, осадки океанического происхождения дают количество воды, равное $1,15 \times 0,57 A = 0,655 A$, а осадки из пара местного происхождения равны $0,495 A$. Отношение внутренних осадков к внешним составляет в этом случае 75% .

2. Допустим, что испарение на всем пути было одинаковым. В этом случае средний путь, проходимый частичкой водяного пара, испарившейся над материком, в среднем равен половине пути от океана до пустынь, и доля осадков, образовавшаяся за счет местного испарения, будет вдвое меньше, чем в предыдущем случае — она составит 37% от внешних осадков.

В действительности испарение хотя и имеет место на всем материке, но оно больше во влажных районах, прилегающих к океану. Поэтому отношение внутренних осадков к внешним будет действительно промежуточным между приведенными выше крайними случаями, т. е. около 56% .

¹ Учитывая, что воздушные массы доходят с Атлантики на континент со средней относительной влажностью около 80% , их влажность в пустыне должна понизиться при условии неизменной температуры до 44% , что на основании табл. 1 соответствует годовым количествам осадков менее 100 мм.

Рассмотрим теперь особенности влагооборота при меридиональных потоках влаги.

Влагосодержание на побережьях арктических морей можно оценить равным около 10⁰/₀ влагосодержания тропической зоны. Считая механизмы турбулентной передачи влаги по меридиану на северной и южной окраине материка одинаковыми, найдем, что турбулентный поток влаги на севере будет равен 10⁰/₀ среднего потока влаги с южного океана a . На этом основании в первом приближении имеем $0,90 a + E = R$ или, поскольку $E = 0,65 R$, $a = 0,39 R$.

Опыт показывает, что вхождение воздушных масс с северных морей (и вообще воздушная масса, достаточно быстро смещающаяся к югу) почти не дает осадков, а, наоборот, создает быстрое испарение. Южное же вторжение воздуха с моря протекает при высокой влажности, замедляющей испарение. Следовательно, влагосодержание воздушных масс, движущихся к югу, можно принять на 40⁰/₀ меньшим влагосодержания воздушных масс, идущих на север, при условии, что в потоке с севера осадки уже практически не образуются.

Отсюда на южной периферии материка при северных переносах выносятся 0,60 A , где A — содержание пара, заключенное во всей совокупности южных вторжений. Сличая это условие с предыдущим, находим, что $a = 0,40 A$, $a = 0,39 R$, откуда $A = 0,98 R$.

Влага, выносимая с материка на юг в количестве 0,60 $A = 0,58 R$, содержит в среднем 0,10 A водяного пара адвективного происхождения и 0,50 $A = 0,49 R$ пара, полученного от испарения на материке.

Таким образом, на образование осадков R (с учетом 10⁰/₀ потери пара на северной периферии материка) идут: 1) адвективный водяной пар океанического происхождения, выносимый речным стоком 0,35 R , выносимый атмосферным стоком 0,49 R ; 2) осадки, образовавшиеся за счет испарения на материке 0,16 R .

Отношение внутренних осадков к внешним получается равным 19⁰/₀.

Таким образом, из рассмотренной схемы видно, что роль местного испарения оказывается сравнительно малой. Однако свободная адвекция водяного пара от тропической до арктической зон наблюдается весьма редко и поэтому такая схема меридиональных воздействий мало соответствует действительным условиям, кроме, разве, Северной Америки.

При такой схеме образование внутриматериковой пустыни было бы невозможно. Для ее образования необходим какой-то барьер, в значительной мере препятствующий продвижению влаги через весь материк; такой барьер может быть орографическим (что характерно для Азии) или динамическим, связанным с особенностями перехода от циркуляции умеренных к циркуляции тропических широт. Это имеет место для всех материков без исключения.

Рассмотренная схема меридиональных потоков может приблизительно оправдываться для отдельных районов тропической зоны, особенно ограниченных с севера горами, например, для Индии, где пассатный поток зимнего периода, идущий с северо-востока, дополнительно иссушается как за счет опускания из свободной атмосферы, так и в результате опускания с Гималаев и плоскогорья Тибета. Этот поток почти не дает осадков, но способствует испарению почвенных запасов влаги. Наоборот, юго-западный поток экваториального воздуха летнего муссона чрезвычайно влажен и выделяет большое количество осадков при малом их испарении. В этих условиях роль местного испарения в образовании осадков на равнине ничтожна. Что же касается меридиональных воздействий для реальных условий Евразии, то вопрос должен быть поставлен там несколько иначе.

Рассмотрим естественную зону циркуляции материка между полярными морями и внутриматериковой пустыней, циркуляционный обмен которой с более южными районами частично затруднен динамическими и орографическими барьерами. Влагосодержание в пустыне здесь приблизительно в 3 раза больше, чем на границе северных морей. Полагая общий характер циркуляции на северной и южной окраинах рассматриваемой зоны одинаковым, можно считать, что в процессе обмена на рассматриваемую зону попадает $\frac{3}{4} A$ водяного пара из пустыни и $\frac{1}{4}$ из северных морей, не учитывая того, что поток влаги направлен

с юга на север. В действительности же, поступление пара с севера будет несколько меньше.

Воздух арктических морей, попадая на материк, может дать некоторые осадки до понижения его влагосодержания на 40% (см. выше), т. е. $0,10A$, после чего в нем происходит только испарение, которое воздух выносит в зону пустыни.

Воздух, идущий от зоны степей и пустынь к северу, дает и осадки, но в то же время, особенно в начале пути, получает влагу за счет испарения. Положим, что испарение E поровну распределяется между северным и южным потоком. На северные моря выносятся $\frac{1}{3}$ первоначальных запасов влаги воздуха пустынь, т. е. $0,25A$. В действительности эти цифры должны быть несколько больше, так как общий поток влаги направлен с юга на север, и влагосодержание воздуха, поступающего с юга через северную береговую линию, больше, чем в обратном потоке. Тогда, на основании сделанных предположений, на образование осадков пойдет разность потоков влаги на юге и севере материка и половины испарения, т. е. $A(0,75 - 0,25 + 0,1) + 0,5E = R$ и $0,6A = R(1 - 0,325)$, отсюда $A = 1,12R$.

Остаток влаги северных потоков после выпадения из них осадков плюс половина испарения составят $0,15R + 0,325R = 0,475R$. Для пополнения $0,75A$, выносимых на север, следует допустить наличие здесь притока с юга в количестве $0,275R$, преодолевающего барьер.

На пути через материк будет выделено влаги $0,60A + 0,5E$, и, следовательно, отношение внутренних осадков к внешним составит

$$\frac{0,5E}{0,6A} = \frac{0,325R}{0,675R} = 0,49.$$

Таким образом, соотношение между внутренними и внешними осадками получается почти то же, что и в предыдущем случае, однако роль местного водяного пара здесь более пассивна, чем в случае циркуляции вдоль параллелей. В случае циркуляции вдоль параллелей местное испарение, стимулируя выпадение влаги из воздушной массы, поддерживает ее влажность на должном уровне и увеличивает осадки с $0,4$ до $1,15A$, т. е. почти в 3 раза. В последнем случае по мере продвижения к северу содержащаяся в воздушной массе влага должна выделяться, и перенос увеличивает осадки только на то добавочное влагосодержание, которое создает. Наиболее существенную роль оно играет в южной части территории, определяя место перехода от пустынь и степей к увлажненной зоне.

В действительности мы имеем дело с комбинацией обоих процессов с большей, однако, ролью западных процессов, по сравнению с меридиональными. Поэтому роль местного испарения в образовании осадков следует признать довольно высокой, и при планировании мероприятий по изменению испарения на площадях, составляющих заметную долю континента, с ним следует считаться, равно как это обстоятельство может в дальнейшем явиться основой мелиоративных мероприятий, распространяемых на большие площади.

Вместе с тем, возможность правильного расчета влияния местного испарения на осадки окружающих районов имеет большое практическое значение в процессах осушки болот и мелких водоемов. Существует необоснованное мнение, защищаемое некоторыми учеными, что каждое такое вмешательство в ход природных процессов неминуемо вызывает существенное уменьшение количества осадков окружающих районов. В действительности в большинстве случаев оно не имеет практического значения, так как распределяется на огромной территории, выходя за пределы возможной точности измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будько М. И. и Дроздов О. А. О влагообороте на ограниченной территории суши. Вопросы гидрометеорологической эффективности полесозащитного лесоразведения. Гидрометеоздат, Л., 1950.
2. Будько М. И. Тепловой баланс Северного полушария. Труды ГГО, вып. 18. 1949.
3. Будько М. И., Дроздов О. А., Львович М. И., Погосян Х. П., Сапожникова С. А., Юдин М. И. Изменение климата в связи с планом преобразования природы в засушливых районах СССР. Гидрометеоздат, Л., 1952.

4. Великанов М. А. Гидрология суши, изд. 3-е, Гидрометеиздат, Л., 1937.
5. Дзердзеевский Б. Л. Пути преобразования климатических условий Прикаспия. Изд. АН СССР, серия географ., № 1, 1952.
6. Дородницын А. А. Влияние рельефа земной поверхности на воздушные течения. Труды ЦИП, вып. 21 (48), 1950.
7. Дородницын А. А. Возмущения воздушного потока, вызванные неровностями на поверхности земли. Труды ГГО, теоретическая метеорология, вып. 23, 1938.
8. Дородницын А. А. Некоторые задачи обтекания неровностей поверхности земли воздушным потоком. Труды ГГО, теоретическая метеорология, вып. 31, 1940.
9. Дроздов О. А. К вопросу об изменении осадков в связи с системой полезащитных мероприятий в степных и лесостепных районах Европейской территории СССР. „Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесоразведения“, Гидрометеиздат, Л., 1950.
10. Калинин Г. П. Роль леса в распределении осадков. „Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесоразведения“. Гидрометеиздат, Л., 1950.
11. Каминский А. А. и Ванеева О. В. Перенос водяного пара на территорию Европейской части СССР в теплый сезон. Записки ГГИ, т. VIII, изд. ГГИ, 1933.
12. Кашин К. И. и Погосян Х. П. О влагообороте в атмосфере. „Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесоразведения“. Гидрометеиздат, Л., 1950.
13. Костин С. И. Влияние леса на климат в условиях Воронежской области. Научные труды Воронежского СХИ, т. X, 1948.
14. Львович М. И. Элементы водного режима рек земного шара. Труды НИУ ГУГМС СССР, сер. IV, вып. 18, 1945.

О РАСПОЛОЖЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЛОС ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОЛЕЙ ОТ ВРЕДНОСНЫХ ВЕТРОВ В ЗАСУШЛИВЫХ РАЙОНАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ СССР

Полезатитные лесные полосы оказывают, как известно, ветрозащитное и водорегулирующее¹ действие.

Оставляя в стороне водорегулирующую роль лесных полос, подлежащую компетенции гидрологов, рассмотрим вопрос об оптимальном расположении лесных полос с точки зрения ветрозащиты поля.

Поля нуждаются в защите от ветров в течение круглого года. Зимой ослабление ветра лесными полосами препятствует сдуванию снега с полей в овраги и балки; ранней весной, а на крайнем юге и зимой, парализует вредное действие пыльных бурь; весной и летом лесные полосы защищают сельскохозяйственные посевы от иссушающего влияния суховеев.

Так как сельскохозяйственные поля в большей своей части бывают не квадратной формы, а представляют собой прямоугольники, то при землеустройстве и проектировании полезатитных лесных полос важно знать, как лучше расположить поле, т. е. в каком направлении вытянуть его, чтобы ветрорегулирующий эффект был наибольшим.

При вытянутой форме поля ветрозащитное действие окаймляющих его лесных полос, как показали исследования А. Р. Константинова [2], будет наибольшим не в том случае, когда ветер дует поперек поля, т. е. перпендикулярно к его продольным сторонам, но тогда, когда направление ветра составляет с этими сторонами угол порядка 30° . Это объясняется тем, что при подобном направлении ветра начинают «работать» поперечные полосы, действие которых при ветре, перпендикулярном продольным сторонам поля и, следовательно, параллельном поперечным полосам, проявляется лишь через так называемую боковую шероховатость, эффект которой сравнительно невелик. Правда, преимущество действия ветра, отклоняющегося от перпендикулярного на 30° , выражается всего в $2-5\%$.

С практической точки зрения важно не это незначительное преимущество при отклонении длинных сторон поля от перпендикулярного ветру направления, но то, что отклонение не только на $\pm 30^\circ$, но даже $\pm 45^\circ$ не ухудшает сколько-нибудь заметно суммарного ветрозащитного эффекта лесных полос, окружающих поле. Ветрозащитный эффект лесных полос резко убывает лишь в том случае, когда продольные полосы составляют с направлением ветра угол менее 60° .

Это обстоятельство дает возможность варьировать с расположением длинных сторон поля в пределах 90° и тем самым облегчает совмещение ветрозащитной и водорегулирующей роли полос с организационно-хозяйственными требованиями (дороги, границы угодья и т. д.). Кроме того, это позволяет пользоваться принятой в климатологии разбивкой направлений ветра на 8 румбов.

¹ Под водорегулирующим действием в данном случае понимается лишь задержание лесными полосами поверхностного стока, так как воздействие лесных полос на другие элементы водного баланса связано с их ветрозащитным действием.

В условиях сплошного полезащитного лесоразведения при определении преобладающего направления вредных ветров вместо обычной повторяемости направлений ветра целесообразно пользоваться суммами повторяемостей противоположных направлений ветра (С + Ю, СВ + ЮЗ, З + В и ЮВ + СЗ). При этом мы исходим из того, что полоса, перпендикулярная, например, к восточным ветрам, будет перпендикулярна и к западным. Если при восточных ветрах она предохраняет поле, расположенное к западу от нее, то при западных — будет такой же защитой для поля, расположенного на восток от нее. Этот прием осреднения был применен М. И. Львовичем при ориентировочной оценке направления вредных для сельского хозяйства ветров [3].

В качестве количественного показателя преимущества данного расположения полос можно предложить разность между повторяемостью ветров перпендикулярных и параллельных полосе, и при этом считать наиболее правильными такие расположения полосы, при которых эта разность наибольшая. Промежуточные направления (например СВ, ЮВ, ЮЗ, и СЗ при расположении продольных полос с С на Ю) мы можем не учитывать, так как ветер этих направлений приходит к продольным полосам под углом в 45° как при расположении полос поперек преобладающего ветра, так и параллельно ему.

При оценке наиболее выгодного расположения продольных лесных полос для ослабления вредного действия суховея были использованы данные по направлению ветра при суховеях, разработанные Е. А. Цубербиллер [5]. Согласно определению Е. А. Цубербиллер, под днями с суховеями следует понимать дни с дефицитом влаги не менее 20 мм. Кроме того, она выделяет интенсивные суховеи (дефицит не менее 30 мм) и суховеи с сильным ветром. Под последними понимаются суховеи при скорости ветра более 10 м/сек.

Для характеристики направления суховейных ветров были использованы повторяемости ветра при всех суховеях (т. е. с дефицитом влаги более 20 мм), а также при суховеях с сильным ветром.

В первую очередь, рассматриваемая территория была разделена на секторы по преобладающему направлению всех суховейных ветров. Следует отметить, что при суховеях с сильным ветром обычно сохраняется то же преобладающее направление ветра, но само преобладание бывает выражено более резко, за исключением отдельных случаев, когда преобладание того или иного направления ветра вообще выражено нечетко.

Затем был вычислен указанный выше показатель выгодности расположения продольных лесных полос перпендикулярно к этому направлению по сравнению с расположением, параллельным ему. Приводим пример такого вычисления (табл. 1).

Таблица 1
Повторяемость направлений ветра, %

Суховей	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С+Ю	СВ+ЮЗ	В+З	ЮВ+СЗ	Δ
Ростов-на-Дону													
Все	5	13	46	15	4	5	7	5	9	18	53	20	44
С сильным ветром	3	11	68	13	1	0	3	1	4	11	71	14	67
Воронеж													
Все	8	12	16	21	13	13	8	9	21	25	24	30	5
Сильным ветром	4	2	18	28	11	21	9	7	15	23	27	35	12

Примечание. Δ — разность между наибольшей суммой повторяемостей направлений ветра (полу жирные цифры) и суммой направлений перпендикулярных им.

Повторяемость направлений ветра в Ростове-на-Дону является примером четко выраженного преобладания определенного направления ветра — восточного. Сумма восточных и западных ветров при всех суховеях составляет более 1/2, а при сухо-

вях с сильным ветром — почти $\frac{3}{4}$ всех случаев. Это указывает на явное преимущество расположения в районе Ростова продольных лесных полос поперек этих направлений, т. е. с севера на юг.

Воронеж, наоборот, является примером отсутствия четко выраженного преобладания какого-либо определенного направления. При некотором преобладании юго-восточного направления ветра значительна повторяемость суховеев не только при восточных и южных ветрах, но и при юго-западных и даже при ветрах с северной составляющей. Показатель преимущества расположения продольных лесных полос поперек юго-восточных и северо-западных ветров, т. е. с северо-востока на юго-запад, составляет всего 5 и 12%.

Следует отметить, что отсутствие четко выраженного преобладания определенного направления ветра характерно для большей части рассматриваемой территории.

На рис. 1 представлена схематическая карта, разделенная на секторы по ориентировке продольных лесных полос применительно к максимальной защите от вредного действия суховейных ветров. Там же по материалам отдельных станций приведены показатели преимущества данного расположения лесных полос (в числителе применительно по всем суховеям, в знаменателе — к суховеям с сильным ветром), черта на месте знаменателя свидетельствует о том, что в данном пункте суховеи с сильным ветром наблюдаются редко и установить преобладающие направления ветра при них не оказалось возможным.

На карте прежде всего выделяется сектор с резко выраженным преимуществом расположения продольных лесных полос с севера на юг. Этот сектор расположен к югу от линии Жданов — Ворошиловград — Сталинград — Астрахань. Здесь показатель преимущества расположения продольных лесных полос с севера на юг составляет 30—40%, а при суховеях с сильным ветром — даже 50—70%. В примыкающем к нему секторе, ограниченном с севера линией, проходящей через Кишинева — Харьков — Сталинград, также имеют преимущество продольные полосы, расположенные с севера на юг. Но здесь это преимущество выражено далеко не так четко, а по данным отдельных станций, для которых показатель имеет отрицательное значение, расположение полос перпендикулярно к указанному направлению и является даже более выгодным. К вопросу об учете данных отдельных станций мы еще вернемся, а пока продолжим рассмотрение секторов с наиболее благоприятным расположением продольных лесных полос.

Наибольшую площадь занимает сектор, где, с точки зрения защиты от суховейных ветров, выгоднее располагать продольные лесные полосы с северо-востока на юго-запад.

Границами его являются с юга линия Кишинева — Харьков — Сталинград — Астрахань, а с востока линия Вольск — Гурьев. В этом, как и предыдущем, секторе преимущество рекомендованного расположения продольных лесных полос выражено значительно слабее, чем в первом секторе.

Этот факт сам по себе не нов. Еще А. А. Каминский [1] в 1925 г. указывал для Воронежской области, что „сухим, особенно в июле и августе, может оказаться ветер от любого румба“. Вместе с тем, он уже отмечал и преобладание при суховеях юго-восточного румба, особенно в начале вегетационного периода, чему вполне соответствует рекомендуемое нами расположение продольных полос.

К востоку от линии Вольск — Гурьев продольные лесные полосы следует располагать с запада на восток. Показатель преимущества этого расположения полос, как и в других предыдущих секторах в отношении всех суховеев, выражается единицами процентов, но для суховеев с сильным ветром он местами повышается до 30 и даже 40% (например в Куйбышевской области).

В этом секторе, так же как и в двух предыдущих, отдельные станции дают отрицательный показатель. Отрицательные значения чаще встречаются у границы секторов, особенно в пересеченных условиях рельефа. В табл. 2 приведены данные для Ершова, Ново-Узенска и Фурманова. Во всех трех пунктах суховеи, в том числе и с сильным ветром, возможны при любых направлениях ветра, что особенно четко видно по данным Ершова, расположенного на водоразделе.

Но при суховеях с сильным ветром преобладают все же южные ветры, что и дало основание отнести район Ершова к сектору с расположением продольных полос в направлении с запада на восток.

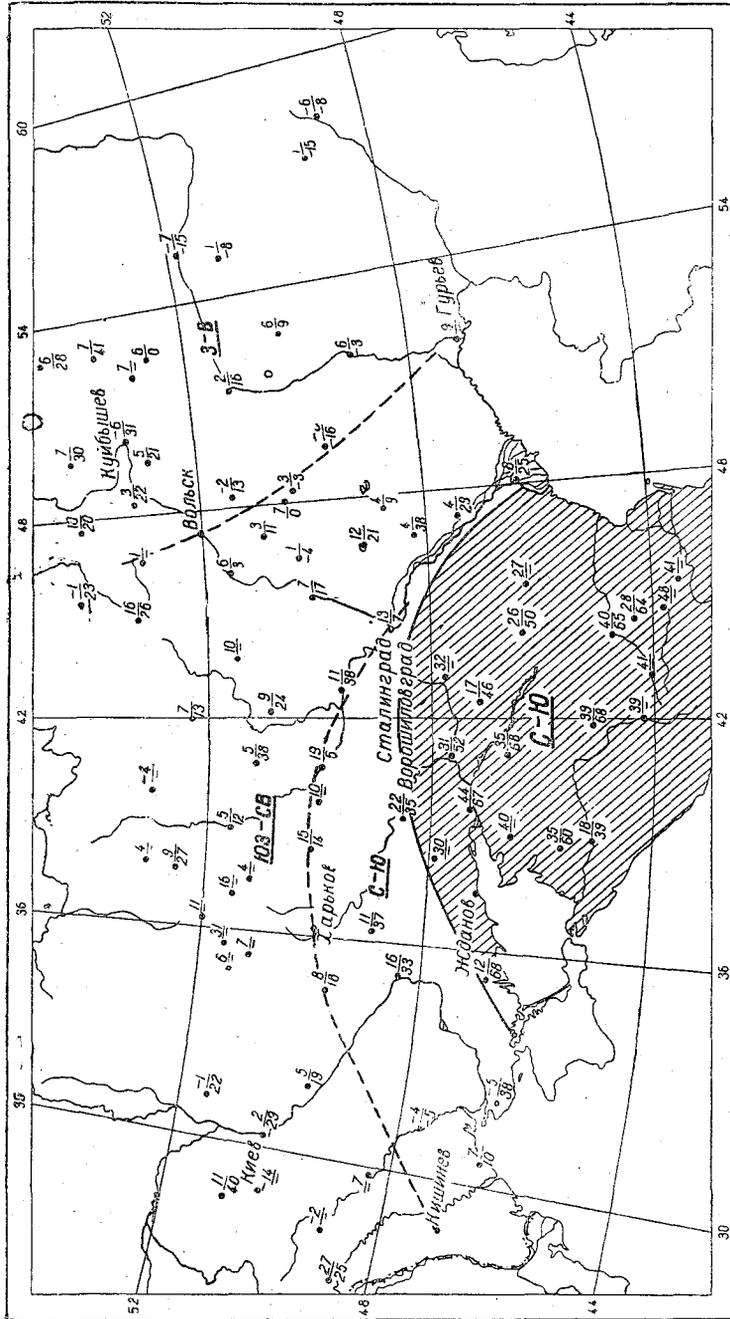


Рис. 1.

Иначе обстоит дело с Фурмановым, направление ветра в котором деформируется долиной реки Б. Узень, вытянутой в окрестностях этого населенного пункта с запада-северо-запада на восток-юго-восток. Именно этим обстоятельством объясняется преобладание в Фурманове не только юго-восточных, но и восточных и западных ветров. Учитывая особенности местоположения этой станции, у нас нет

Таблица 2

Повторяемость направлений ветра, %

Суховеи	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С+Ю	СВ+ЮЗ	В+З	ЮВ+В
---------	---	----	---	----	---	----	---	----	-----	-------	-----	------

Ершов

Все	10	12	13	16	14	12	13	10	24	24	26	26
С сильным ветром	7	8	5	18	23	20	12	7	30	28	17	25

Ново-Узенск

Все	11	13	12	17	12	13	12	10	23	26	24	27
С сильным ветром	9	11	4	20	17	18	14	7	26	29	18	27

Фурманово

Все	7	10	14	21	13	16	12	7	20	26	26	28
С сильным ветром	5	11	15	28	9	9	15	8	14	20	30	36

никаких оснований распространять ее данные на прилегающие водораздельные пространства. Особенности направления ветра в Фурманове еще раз подтверждают общеизвестное положение о невозможности экстраполировать данные по направлению ветра отдельных станций на прилегающую территорию в том случае, если эти данные не увязываются с результатами наблюдений соседних станций.

Эти же данные свидетельствуют и о том, что рекомендуемое нами расположение продольных лесных полос на отдельных участках пересеченного рельефа может не соответствовать направлению суховейных ветров на этих участках. Естественно возникает вопрос: как поступать в таких случаях?

Прежде всего следует отметить, что, согласно ранее проведенным исследованиям [1, 4], деформация направления ветра в условиях пологого рельефа (с крутизной уклона до 3—5°) не превышает 22,5° и очень редко 45° (т. е. 1 или 2 румба при 16-румбовой шкале).

Как уже было выше указано, отклонения такого порядка не могут вызвать ослабления ветрозащитного действия лесных полос. При большей же крутизне склонов, когда возможно и большее отклонение ветра, вопрос о ветрозащите отходит на второй план и, согласно существующим положениям, продольные лесные полосы ориентируются поперек склона для задержания поверхностного стока с целью прекращения смыва почвы и роста оврагов.

Это обстоятельство дает нам основание считать, что представленное на рис. 1 расположение продольных лесных полос сохраняет свое значение в отношении наилучшей защиты полей от вредного действия суховеев вне зависимости от того, какова роза ветров ближайшей к данному участку метеорологической станции.

Аналогичный анализ повторяемости направлений других вредоносных ветров, выполненный М. Я. Глебовой, показал, что указанная на карте ориентировка продольных полос сохраняет свое значение и в отношении этих ветров.

Все это позволяет рекомендовать схему расположения продольных лесных полос, представленную на рис. 1, для практического использования при проектировании полесазитного лесонасаждения на полях колхозов и совхозов Европейской территории СССР. При этом особо следует выделить территорию к югу от линии Жданов — Ворошиловград — Сталинград (на карте она заштрихована), где показатель преимущества рекомендуемого расположения продольных лесных полос высок и где, следовательно, соблюдение указаний ориентировки полос на карте имеет особо важное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каминский А. А. Климат и погода в равнинной местности. Изд. „Новая деревня“, М.—Л., 1925.
 2. Константинов А. Р. Влияние лесных полос на ветер и турбулентный обмен в приземном слое воздуха. „Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесоразведения“. Гидрометеоиздат, Л., 1950.
 3. Львович М. И. Гидрометеорологическое действие лесных полос и принципы их размещения на полях колхозов и совхозов, Труды ГГИ, вып. 23 (77), 1950.
 4. Сапожникова С. А. Микроклимат и местный климат. Гидрометеоиздат, Л., 1950.
 5. Цубербиллер Е. А. Суховети. Климатические данные для междуречья Волги и Урала. Гидрометеоиздат, Л., 1951.
-

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА РЕЖИМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ

Изменения отдельных элементов климата, создающиеся в лесных полосах и межполосных полях, до сих пор слабо изучены, несмотря на то, что они являются одним из основных факторов, влияющих на развитие растительности и характер почвообразовательного процесса как внутри полосы, так и на прилежащих полях.

В этой статье будет рассмотрен один из основных элементов климата с точки зрения развития сельскохозяйственных растений и древесной растительности, а именно — температура почвы.

Ввиду ограниченности использованного материала полученные выводы имеют предварительный характер.

Режим температуры почвы в лесных полосах существенно отличается от ее режима в поле. Это в значительной мере связано с различным характером нагревания и охлаждения в них.

Известно, что в поле, не покрытом растительностью, деятельной поверхностью является сама поверхность почвы, которая днем, непосредственно поглощая солнечную радиацию, интенсивно нагревается, а ночью, вследствие эффективного излучения, также охлаждается, поскольку сама является излучающей поверхностью. От поверхности почвы нагревание и охлаждение передаются вниз более глубоким слоям почвы и вверх прилегающим слоям воздуха.

В поле, покрытом растительностью, деятельной поверхностью, в основном, является растительный покров, а не поверхность почвы. Днем растительность затеняет поверхность почвы от непосредственного нагревания, а ночью защищает почву от непосредственного охлаждения излучением. Однако при редком травостое деятельной поверхностью в поле с растительным покровом является не только растительный покров, но также в значительной степени и сама поверхность почвы.

В лесных полосах и лесных насаждениях структура деятельной поверхности еще более сложная, чем в поле с травянистой растительностью, вследствие наличия нескольких ярусов и неровной поверхности крон. При наличии густых и сомкнутых крон, представляющих сплошной полог, деятельной поверхностью являются кроны деревьев, которые днем затеняют поверхность почвы от непосредственного нагревания солнечными лучами. Ночью поверхность крон представляет излучающую поверхность и защищает почву от непосредственного охлаждения излучением. В лесных полосах с несомкнутыми кронами и большими просветами роль деятельной поверхности в значительной степени осуществляет поверхность почвы.

Кроме того, различие режима температуры почвы в поле с разным травостоем и в лесных полосах обусловлено также и различным характером турбулентного обмена. Известно, например, что в поле с редким травостоем днем почва может сильнее нагреваться, чем в поле без травостоя, благодаря более ослабленному обмену [3, 6].

Таким образом, температура почвы в поле при прочих равных условиях определяется в первую очередь характером травостоя, а в лесных полосах — характе-

ром древостоя, типом и конструкцией самой лесной полосы. При этом в лесных полосах имеет также значение наличие или отсутствие лесной подстилки и травяного покрова.

Рассмотрим температурный режим почвы в нескольких лесных полосах по материалам наблюдений, произведенных в 1950 г. на вновь организованных лесогидрометстанциях Деркул, Гигант (по последней некоторые общие выводы частично опубликованы в Трудах ГГО [10]) и по материалам экспедиции Главной геофизической обсерватории, проведенной в Каменной Степи в 1951 г., а также по материалам наблюдений обсерватории в Каменной Степи за 1951 г.

Лесогидрометстанция Гигант расположена на территории крупнейшего зерносовхоза в Ростовской области. В Гиганте начало полезащитного лесоразведения относится к 1928 г. Лесная полоса, в которой производились метеорологические наблюдения, простирается с севера на юг. Посажена осенью 1938 г., имеет ширину 16—17 м, высоту 5—6 м. Основными породами, составляющими верхний ярус, являются гледичия, ясень. Подлесок состоит из желтой акации, лоха остролистного и скумпии. Сомкнутость крон деревьев верхнего яруса слабая. В связи с этим, а также благодаря преобладанию деревьев и кустарников с ажурной листвой, полог, образуемый смыканием крон, неплотный вследствие чего солнечные лучи проникают в значительной степени на поверхность почвы. Почва покрыта сухой лесной подстилкой и очень редкой травой. Полоса в нижней части малопродуктивная.

Лесогидрометстанция Деркул расположена на территории Института леса АН СССР в Ворошиловградской области. В Деркуле лесные полосы начали закладываться еще в прошлом веке. Как известно, Деркул и Каменная Степь были выбраны В. В. Докучаевым в качестве опытных участков по изучению мероприятий для борьбы с засухой. Лесная полоса, в которой производились наблюдения, имеет направление с запада на восток. Ширина ее 60 м. Это старое лесное насаждение, посадки 1902 г. из дуба, ясеня и береста с подлеском из желтой акации. Однако старые деревья большей частью были вырублены, и в настоящее время почти вся полоса порослевая с очень редким подлеском внутри и густыми опушками.

Опушки в месте, где производились наблюдения, были вырублены на протяжении 50 м. Высота деревьев верхнего яруса 10—12 м, отдельные деревья достигают 15 м. Кроны деревьев не образуют сплошного полога, имеются просветы и прогалины, через которые солнечные лучи проникают на поверхность почвы. Однако в этой полосе солнечные лучи проникают на поверхность почвы в меньшей степени, чем в Гиганте, благодаря более развитым кронам и преобладанию в полосе широколиственных пород, создающих в целом более значительную затененность почвы по сравнению с лесной полосой в Гиганте. Почвенный покров мертвый из сухих листьев и веток толщиной 2—3 см. На месте, где производились наблюдения, полоса была продуваемой.

Обсерватория в Каменной Степи находится на территории Института земледелия им. В. В. Докучаева в Воронежской области. Здесь лесные полосы начали закладываться более 50 лет тому назад. Лесная полоса, где производились наблюдения, простирается с запада на восток. Ширина ее вместе с опушками составляет около 27 м, высота 20—22 м. Однако старые деревья частично вырублены, поэтому в верхней части имеются просветы. Верхний ярус состоит из ясеня, дуба и клена. В полосе много подроста из клена, высотой от 3 до 7 м, подлесок из желтой акации. Кроны клена смыкаются и образуют сплошной полог, что создает значительную затененность, которая усиливается кронами подлеска. Почвенный покров мертвый, толщиной 3—4 см. Полоса в нижней части непродуваемая, в верхней и средней (выше подроста) — продуваемая.

На рис. 1 представлено схематическое изображение рассматриваемых лесных полос.

Все три лесные полосы находятся в достаточно близких почвенных условиях: в Каменной Степи и Деркуле — суглинистый чернозем, в Гиганте — глинистый чернозем.

Таким образом, рассматриваемые лесные полосы различаются преимущественно своей структурой, степенью затененности, характером плотности и сомкнутости крон, возрастом и высотой деревьев, в связи с чем в этих полосах различается радиационный режим и турбулентный обмен, а также характер лесной подстилки. Все это, как мы увидим ниже, и обусловило различный режим температуры почвы в них.

В качестве контроля в Каменной Степи и в Гиганте использовались данные оголенных перекапываемых весной площадок метеорологических станций, которые в первом приближении можно рассматривать как черный пар. Использование в качестве контроля данных метстанций имеет то преимущество, что благодаря этому может быть найдена поправка, которую нужно придавать к данным метстанций для определения температуры почвы в лесных полосах, поскольку метеорологические наблюдения в них производятся на небольшом количестве станций.

В Деркуле сравнение лесной полосы производилось с межполосным полем, засеянным яровой пшеницей. Пшеница была довольно изреженной и невысокой.

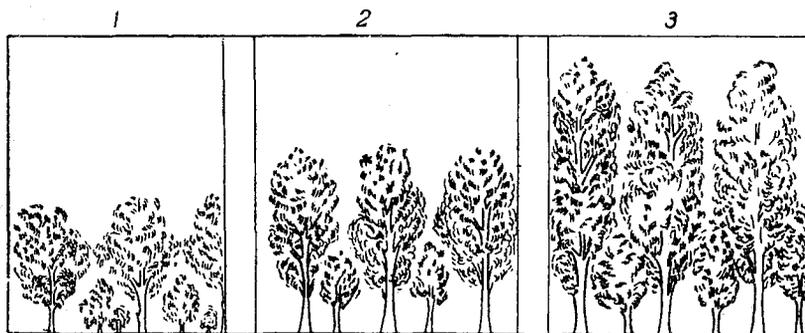


Рис. 1. Схема лесных полос.

1 — Гигант, 2 — Деркул, 3 — Каменная Степь.

Возможно, что температура верхних слоев почвы в поле, засеянном пшеницей, была несколько выше, чем на черном пару, особенно в дневные часы, так как солнечные лучи, легко проникая на почву сквозь редкую и сравнительно невысокую пшеницу, достаточно сильно ее нагревают, а ослабленный травостоем обмен, уменьшая отдачу тепла в верхние слои воздуха, дополнительно способствует повышению температуры почвы. Следовательно, сравнение температуры почвы лесной полосы с полем, засеянным редкой травянистой растительностью, может даже несколько увеличить разницу температуры почвы лесной полосы и поля.

Наблюдения над температурой почвы верхних горизонтов на лесогидрометстанциях и во время работы экспедиции производились термометрами Савинова, а на поверхности почвы — срочными, максимальными и минимальными. Наблюдения на лесогидрометстанциях производились в сроки 1, 7, 13, 19 час. (в Деркуле в течение нескольких суток были проведены также круглосуточные наблюдения с ежечасными отсчетами, в Гиганте в 1 час ночи наблюдения не производились). Во время работы экспедиции наблюдения проводились или в дневные часы, или же круглосуточно с отсчетами через каждые 2 часа.

В Гиганте и Деркуле май, июнь 1950 г. и в Каменной Степи июнь, июль 1951 г., т. е. периоды, предшествующие наблюдениям, и время наблюдений, отличались преимущественно ясной и достаточно засушливой погодой.

Сравним температуру почвы в лесной полосе и на площадке метстанции в Гиганте (данные метстанции мы относим, как было указано выше, к черному пару).

Температурный режим верхних горизонтов почвы в лесной полосе существенно отличается от температурного режима на черном пару. Это отчетливо проявляется даже по данным в среднем за месяц, как показывает табл. 1.

Таблица 1

Средняя месячная температура почвы по срокам
Гигант, июнь 1950 г.

Место наблюдений	7 час.				13 час.				19 час.				Средний минимум на поверхности почвы
	Глубина, см												
	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20	
Лесная полоса	17,6	16,4	17,2	17,8	33,5	23,5	19,8	17,7	20,7	21,4	20,7	18,7	13,5
Метстанция	21,9	18,0	18,8	20,5	38,8	28,6	23,9	20,6	22,1	25,4	25,2	22,2	11,9
Разность	-4,3	-1,6	-1,6	-2,7	-5,3	-5,1	-4,1	-2,9	-1,4	-4,0	-4,5	-3,5	1,6

Из табл. 1 видно, что наибольшие различия в температурном режиме почвы лесной полосы и черного пара наблюдаются днем. В дневные часы, т. е. при положительном радиационном балансе в лесной полосе, вследствие затенения почвы кронами деревьев и наличия лесной подстилки температура почвы ниже, чем в поле под черным паром. Самые большие расхождения приурочены к поверхности почвы, с глубиной различия уменьшаются. В 13 час. на поверхности почвы различия в среднем превышают 5° , на глубине 20 см — составляют около 3° . Ночью различия уменьшаются и на поверхности почвы, как показывают разности минимальных температур, меняют знак, т. е. температура поверхности почвы в лесной полосе выше, чем в поле в связи с меньшим эффективным излучением под защитой крон. Однако уже в самых верхних горизонтах вследствие сильного дневного нагрева почва теплее в поле.

Как и следовало ожидать, особенно большие различия в температуре почвы лесной полосы и поля отмечаются в ясные и малооблачные дни (табл. 2).

Таблица 2

Средняя температура почвы в ясные и малооблачные дни
Гигант, 18—20/VI 1950 г.

Место наблюдений	7 час.				13 час.				19 час.				Средний минимум на поверхности почвы
	Глубина, см												
	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20	
Лесная полоса	18,5	16,6	17,2	17,6	48,2	27,4	21,2	17,5	25,1	24,6	23,0	19,4	13,5
Метстанция	26,5	18,9	19,1	20,4	55,4	34,7	26,7	20,6	29,3	31,7	29,9	23,7	10,7
Разность	-8,0	-2,3	-1,9	-2,8	-7,2	-7,3	-5,5	-3,1	-4,2	-7,1	-6,9	-4,3	2,8

Таблица показывает, что в ясные и малооблачные дни в лесной полосе днем температура на глубине 5 см более чем на 7° ниже, чем на метстанции на участке черного пара. В пасмурные дни различия сглаживаются (табл. 3).

Таблица 3

Средние разности температуры почвы в пасмурные и дождливые дни (лесная полоса — метстанция)
Гигант, 8, 30/VI 1950 г.

Глубина, см	Часы			Минимум
	7	13	19	
0	0,2	0,8	0,6	1,6
5	-0,3	-0,9	-0,1	—
10	-0,6	-1,4	-0,8	—
20	-2,2	-2,2	-2,2	—

В Деркуле, где лесная полоса более затененная и более мощная, чем в Гиганте, т. е. где радиационный баланс, а также и турбулентный обмен ослаблены, различия в температурном режиме почвы между лесной полосой и межполосным полем более существенны по сравнению с Гигантом. На это различие влияет также и характер лесной подстилки, которая в Деркуле более мощная.

Как и в Гиганте, наиболее резко различия в температуре почвы в лесной полосе и в поле выражены в ясную и малооблачную погоду, но они так же хорошо проявляются и по средним месячным величинам.

В нижеследующих таблицах 4—6 приведены температура почвы и разности в лесной полосе и межполосном поле в Деркуле.

Средняя месячная температура почвы
Деркул, 1950 г.

Таблица 4

Место наблюдений	VI				VII				VIII				IX			
	Глубина, см															
	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20
Лесная полоса . . .	19,4	17,1	16,5	15,9	19,6	17,7	17,4	17,0	18,4	17,0	16,9	16,8	14,2	14,1	14,2	14,4
Межполосное поле	23,4	22,5	21,5	19,8	23,4	21,8	21,3	20,5	22,0	20,5	20,3	20,1	16,3	16,5	16,6	16,4
Разность	-4,0	-5,4	-5,0	-3,9	-3,8	-4,1	-3,9	-3,5	-3,6	-3,5	-3,4	-3,3	-2,1	-2,4	-2,4	-2,0

Примечание. В июне и в сентябре приведены данные за 20 дней.

Средняя месячная температура почвы по срокам
Деркул, 1950 г.

Таблица 5

Место наблюдений	1 час.				7 час.				13 час.				19 час.				Средн. миним. на поверхности почвы
	Глубина, см																
	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20	

Июнь

Лесная полоса . . .	13,0	16,1	16,3	16,1	17,2	15,2	15,4	15,7	29,3	18,9	16,7	15,5	18,1	18,3	17,6	16,2	10,8
Межполосное поле	12,4	19,1	20,2	20,2	19,4	17,0	17,9	19,3	41,4	28,1	23,2	19,2	20,6	25,7	24,8	20,5	9,3
Разность	0,6	-3,0	-3,9	-4,1	-2,2	-1,8	-2,5	-3,6	-12,1	-9,2	-6,5	-3,7	-2,5	-7,4	-7,2	-4,3	1,5

Июль

Лесная полоса . . .	14,5	16,8	17,2	17,3	17,9	16,0	16,4	16,8	26,7	19,1	17,5	16,8	19,3	18,9	18,3	17,3	13,6
Межполосное поле	14,4	19,0	20,4	20,9	19,4	17,6	18,2	20,1	38,2	25,6	22,4	19,9	21,7	24,8	24,2	21,0	12,6
Разность	0,1	-2,2	-3,2	-3,6	-1,5	-1,6	-1,8	-3,3	-11,5	-6,5	-4,9	-3,1	-2,4	-5,9	-5,9	-3,7	1,0

Август

Лесная полоса . . .	13,0	16,1	16,8	17,0	15,9	15,2	16,0	16,6	27,3	18,3	17,0	16,5	17,6	18,3	17,8	17,1	12,1
Межполосное поле	11,3	17,7	19,4	20,6	18,9	15,9	17,2	19,5	39,0	25,0	21,5	19,4	18,9	23,4	23,0	20,9	9,2
Разность	1,7	-1,6	-2,6	-3,6	-3,0	-0,7	-1,2	-2,9	-11,7	-6,7	-4,5	-2,9	-1,3	-5,1	-5,2	-3,8	2,9

Сентябрь

Лесная полоса . . .	10,0	13,3	14,1	14,6	10,2	12,1	13,1	14,2	23,6	15,6	14,3	14,0	13,2	15,3	15,1	14,6	8,5
Межполосное поле	9,2	13,6	16,2	17,0	9,9	10,8	13,8	16,4	31,6	22,0	17,0	15,9	14,6	19,6	19,5	16,9	6,2
Разность	0,8	-0,3	-2,1	-2,4	0,3	1,3	-0,7	-2,2	-8,0	-6,4	-2,7	-1,9	-1,4	-4,3	-4,4	-2,3	2,3

Октябрь

Лесная полоса . . .	4,2	7,3	8,1	9,2	4,2	6,7	7,6	8,9	10,7	8,5	8,1	8,7	4,9	7,9	8,3	8,9	2,8
Межполосное поле	4,1	6,7	8,2	9,7	3,8	5,6	7,3	9,5	12,4	9,3	8,4	9,3	5,4	8,1	8,9	9,5	2,1
Разность	0,1	0,6	-0,1	-0,5	0,4	1,1	0,3	-0,6	-1,7	-0,8	-0,3	-0,6	-0,5	-0,2	-0,6	-0,6	0,7

Примечание. В июне и сентябре приведены данные за 20 дней.

Средняя температура почвы в ясные и малооблачные дни
Деркул, 17—20/VI 1950 г.

Таблица 6

Место наблюдений	1 час.				7 час.				13 час.				19 час.				Минимум
	Глубина, см																
	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20	
Лесная полоса . . .	14,0	15,7	16,1	15,1	17,6	14,6	14,8	14,8	37,8	19,5	16,6	14,7	22,1	19,5	18,0	15,7	—
Межполосное поле	11,0	19,0	20,6	19,4	21,5	16,7	17,5	18,7	53,3	30,4	24,3	18,7	23,7	29,4	27,0	20,4	—
Разность	3,0	-3,3	-4,5	-4,3	-3,9	-2,1	-2,7	-3,9	-15,5	-10,9	-7,7	-4,0	-1,6	-9,9	-9,0	-4,7	4,4

Как показывают табл. 4—6, температура почвы в лесной полосе в течение всех суток значительно ниже, чем в поле, за исключением температуры почвы на поверхности, в ночные часы, когда температура почвы выше в лесной полосе за счет меньшего эффективного излучения под защитой крон. В июне средняя за месяц температура поверхности почвы в лесной полосе днем на 12—13° ниже, чем в поле; на глубине 5 см—на 9—10° и даже на глубине 20 см—почти на 4°. В ясные дни (околополуденные часы) поверхность почвы в лесной полосе может быть холоднее по сравнению с полем более чем на 15°.

В осенние месяцы различия в температурном режиме почвы становятся значительно меньше (разности средней месячной температуры в октябре составляют всего 0,2—0,4°) в связи с общим уменьшением радиационного баланса в этот период, а также благодаря некоторому уменьшению различий в радиационном балансе лесной полосы и поля за счет ослабления затенения (листья начинают опадать). Кроме того, на уменьшение различий температуры почвы в среднем за месяц влияют также и условия погоды, поскольку в эти месяцы наблюдается значительно больше пасмурных и дождливых дней, когда уже начинает сказываться влияние увеличения влажности почвы. Обращает внимание тот факт, что осенью отепляющее действие полосы на температуру почвы сказывается уже не только на поверхности почвы в ночные часы, как это наблюдалось в летние месяцы, но уже почти во всем верхнем горизонте и не только ночью, а и в утренние часы.

В Каменной Степи, как показывает табл. 7, в которой приведена температура почвы в лесной полосе и на площадке метстанции, разность в температурном режиме лесной полосы и поля больше, чем в Гиганте и Деркуле, что совершенно закономерно, поскольку в Каменной Степи, как видно из описания, лесная полоса наиболее затененная и имеет наиболее развитую и мощную лесную подстилку.

Таблица 7

Средняя температура почвы в ясную и малооблачную погоду
Каменная Степь, 18—28/VI 1951 г.

Место наблюдений	1 час.				7 час.				13 час.				19 час.				
	Глубина, см																
	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20	0	5	10	20	
Лесная полоса	10,7	12,2	11,9	11,5	15,7	11,6	11,6	11,5	25,5	12,8	12,3	11,9	21,3	13,3	12,6	11,9	
Метстанция	8,3	19,1	21,9	22,9	26,0	18,6	19,2	21,1	48,6	33,7	27,2	22,2	26,9	29,8	28,9	25,0	
Разность	2,4	-6,9	-10,0	-11,4	-10,3	-7,0	-7,6	-9,6	-23,1	-20,9	-14,9	-10,3	-5,6	-16,5	-16,3	-13,1	

В Каменной Степи днем в лесной полосе почва значительно холоднее, чем в поле под черным паром. На поверхности почвы и в верхних горизонтах разности температуры в лесной полосе и в поле превышают 20° и даже на глубине 20 см составляют 10—13°.

Из сравнения таблиц 2, 6 и 7, где приведены разности между лесной полосой и полем в Гиганте, Деркуле и Каменной Степи в ясные и малооблачные дни, видно, что в Каменной Степи как на поверхности почвы, так и во всем верхнем горизонте разности в 2 раза больше, чем в Гиганте, и в 1,5 раза, — чем в Деркуле.

Выше указывалось, что использование данных метстанций в качестве контроля позволит найти поправку для определения температуры почвы в лесных полосах по данным метстанций. Придавая разности температуры почвы в лесных полосах и в поле, помещенные в таблицах 2, 6, 7, к данным температуры почвы на метстанциях, можно таким образом определить температуру почвы в лесных полосах типа рассмотренных для ясных и малооблачных дней летних месяцев. Придавая же разности из таблиц 1, 5, можно найти среднюю месячную температуру почвы

по срокам. Приведенные поправки можно применять в условиях засушливого типа погоды и распространять для районов, сходных по климатическому режиму и местоположению с районами, для которых вычислены поправки. Указанные поправки следует рассматривать приближенными, поскольку они вычислены из сравнительно небольшого числа наблюдений.

Интересно проследить различие температурного режима почвы в лесной полосе и в поле в суточном ходе. Это иллюстрирует рис. 2, на котором приведен суточный ход этих разностей для Деркула и Каменной Степи. (В Деркуле суточный ход вычислен по ежечасным отсчетам, в Каменной Степи — по отсчетам через каждые 2 часа.) На этом же рисунке приводятся данные для Гиганта, но для трех сроков наблюдений.

Максимальные различия на поверхности почвы наблюдаются в околополуденные часы, т. е. в часы наибольшей солнечной радиации. По мере увеличения глубины максимальные различия, в связи с запаздыванием температуры с глубиной, перемещаются на более поздние часы. Из рис. 2 следует, что на глубине 5 см максимальные различия бывают около 16 час., а на глубине 20 см — в 20—23 часа.

Средняя суточная амплитуда температуры почвы в лесной полосе в Каменной Степи меньше, чем в Деркуле: на поверхности почвы — на 10° , на глубине 5 см — на 4° , на глубине 20 см — на 1° . (Суточная амплитуда в Деркуле вычислена по ежечасным наблюдениям, а в Каменной Степи — по наблюдениям через каждые 2 часа.)

Таблица 8

Средняя суточная амплитуда температуры почвы в лесных полосах в ясные и малооблачные дни в июне

Станции	Глубина, см			
	0	5	10	20
Каменная Степь	13,4	1,0	0,5	0,4
Деркул	23,1	4,9	2,6	1,3

почвы, а следовательно, и наименьшими суточными амплитудами характеризуется лесная полоса типа Каменной Степи, т. е. лесная полоса, наиболее затененная, с достаточно мощной лесной подстилкой. Решающее влияние на температурный режим почвы оказывает структура полосы, характер плотности и сомкнутости крон, т. е. в основном степень затененности почвы сверху, обуславливающая величину радиационного баланса, на что указывает и С. А. Сапожников [6].

Затенение почвы благодаря отсутствию просветов в проекции на горизонтальную плоскость создает в лесной полосе наиболее благоприятный для произрастания

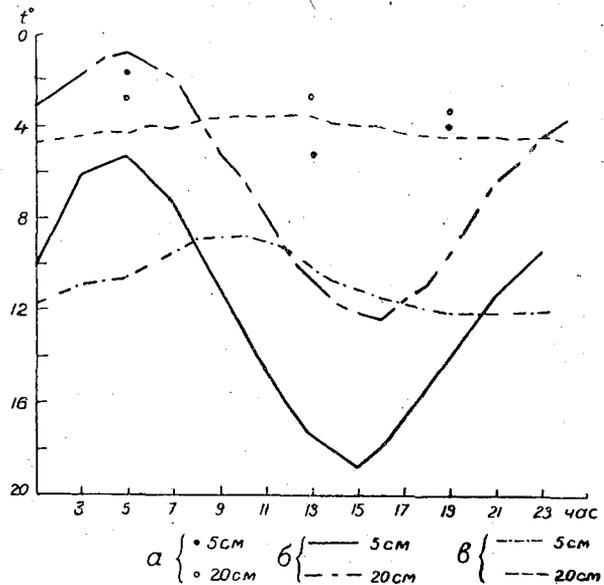


Рис. 2. Суточный ход разностей (лесная полоса — поле).

а — Гигант, б — Каменная Степь, в — Деркул.

Уменьшение амплитуды происходит как за счет снижения дневных температур, так и за счет более высоких ночных температур. Следовательно, в лесных полосах с большим затенением прорастающие растения испытывают самые меньшие колебания как в течение суток на каждой глубине, так и по вертикали.

Таким образом, рассмотрение температурного режима почвы в лесных полосах с различным характером древостоя, различной конструкции и возраста показало, что наиболее низкими дневными и наиболее высокими ночными температурами

растений температурный режим почвы, оставляя в то же время полосу продуваемой. А это чрезвычайно важно в смысле наиболее выгодного влияния лесной полосы на распределение снежного покрова, уменьшение турбулентного обмена и др. на

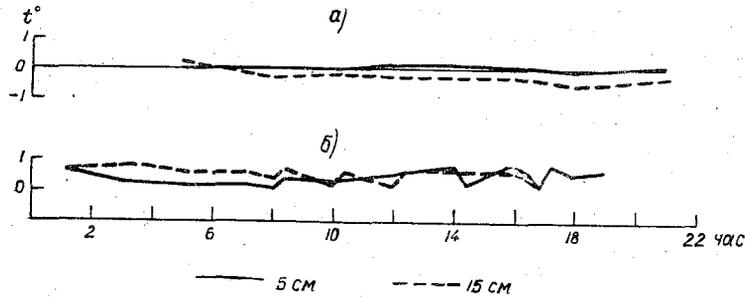


Рис. 3. Разности температуры почвы в ясные и малооблачные дни (лесная полоса 1 — лесная полоса 2). 9—15/VII 1951 г. Каменная Степь. а — середина полосы, б — северная опушка.

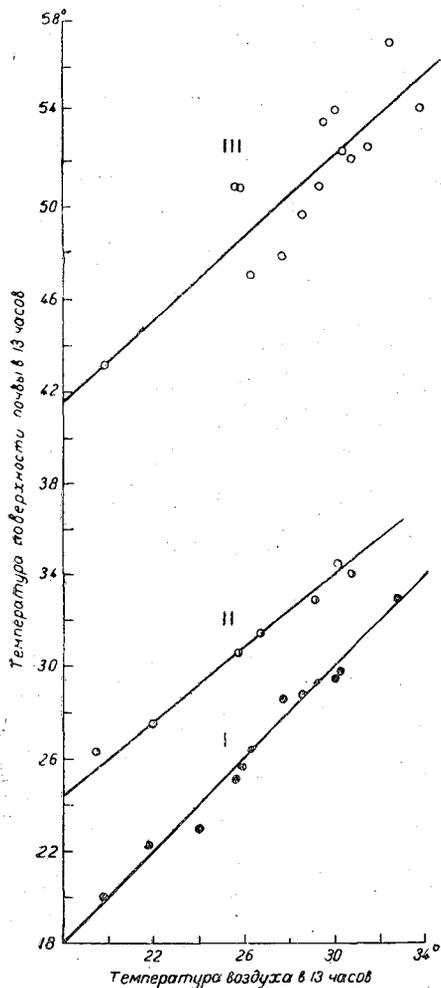


Рис. 4. График связи температуры воздуха и температуры поверхности почвы. I — Каменная Степь (лесная полоса и метстанция), II — Деркул (лесная полоса и метстанция), III — Каменная Степь (метстанция).

межполосном поле. Хорошее затенение почвы в лесных полосах при достаточно хорошей продуваемости можно создать подбором соответствующих лесных пород.

Во время работы экспедиции в Каменной Степи проводились одновременные наблюдения над температурным режимом почвы в двух лесных полосах. Представляет интерес сравнение этих данных.

Описание первой лесной полосы дано в начале текста. Ее ширина с опушками, как указано, 26—27 м. Ширина второй полосы с опушками около 60 м. Кроны деревьев, смыкаясь, образуют в ней полное затенение почвы, как и в первой лесной полосе. Полоса непродуваемая, состоит в основном из тех же пород деревьев, как и первая, но в ней несколько больше дуба. Сравнимые полосы различаются, главным образом, шириной. По данным Т. А. Голубовой, радиационный режим в этих полосах почти не различается [5].

На рис. 3 приводятся разности температуры почвы в этих полосах в ясные и малооблачные дни. Рисунок показывает, что и температура почвы в этих полосах практически одинакова как в середине полосы, так и на опушках. На южной опушке одновременных наблюдений не производилось, но сравнение данных южной опушки с серединой и северной опушкой в каждой полосе показало, что и на южной опушке разницы такого же порядка.

Во всем верхнем горизонте даже в ясные и малооблачные дни разницы составляют менее $0,5^\circ$ и лишь на поверхности почвы — около 1° .

Следовательно, широкая полоса (60 м) не создала более благоприятного режима температуры почвы для произрастания древесной растительности по сравнению с полосой, ширина которой составляла около 25—30 м.

Ввиду того что наибольшие колебания температуры почвы наблюдаются на поверхности, для лесоводства часто представляет интерес характеристика температуры поверхности почвы. Температуру поверхности почвы в лесных полосах целесообразно сопоставить с температурой воздуха, поскольку последняя всегда наблюдается на метстанциях.

На рис. 4 приводится график связи температуры воздуха в будке на метстанции и температуры поверхности почвы в лесных полосах в Каменной Степи и в Деркуле, а также на оголенной площадке метстанции в Каменной Степи в июне и июле для 13 час. в ясные и малооблачные дни в условиях достаточно засушливой погоды.

Как показывает график, температура поверхности почвы в лесных полосах в ясные и малооблачные дни в Каменной Степи, где полоса сильно затененная, такого же порядка, как и температура воздуха на метстанции, а в Деркуле, где полоса менее затененная, температура поверхности почвы на 4—6° выше температуры воздуха.

Таким образом, имея температуру воздуха по метстанции, можно составить суждение о температуре поверхности почвы в лесных полосах степной зоны в июне и июле в околополуденные часы. Последняя в сильно затененных лесных полосах (типа Каменной Степи) в условиях достаточно засушливой погоды в ясные дни будет такого же порядка, как и температура воздуха. В менее затененных полосах, где солнечная радиация проникает на поверхность почвы, температура поверхности почвы будет выше температуры воздуха, и чем меньше затенение, тем различие будет больше в сторону превышения температуры поверхности почвы над температурой воздуха. Крайним пределом (в молодых лесопосадках) может служить разница между температурой поверхности черного пара и температурой воздуха, т. е. около 20—25°, как следует из графика (см. рис. 4, линия III).

Переходим к вопросу о влиянии лесной полосы на температуру почвы прилегающего поля.

Как показали исследования в Деркуле [1], влияние лесной полосы на разных расстояниях от нее на температуру почвы прилегающего поля, засеянного сельскохозяйственной культурой, в период развитого травостоя перекрывается влиянием самой растительности. В Каменной Степи во время работы экспедиции были проведены наблюдения над температурой почвы на черном пару на разных расстояниях от полосы. (Описание полосы дано выше под названием второй полосы.) Наблюдения проводились в трех пунктах. Первый пункт находился на расстоянии двукратной высоты деревьев (около 50 м от полосы), второй пункт — на расстоянии четырехкратной высоты деревьев (около 100 м) и третий пункт — на середине межполосного поля (на расстоянии 200 м от полосы). На каждом пункте было установлено по две повторности термометров. В период наблюдений с 13 по 15 июля ветер дул с полосы. Под влиянием полосы скорость ветра на первых двух пунктах была меньше, чем в середине поля на третьем пункте. Днем скорость ветра на первых двух пунктах составляла 1—2 м/сек., на третьем — 3—4 м/сек. Днем было ясно или наблюдалась небольшая облачность, ночью — ясно.

Сравнение данных температуры почвы первого и второго пунктов с третьим показало, что температура почвы верхних горизонтов на участках, более близких

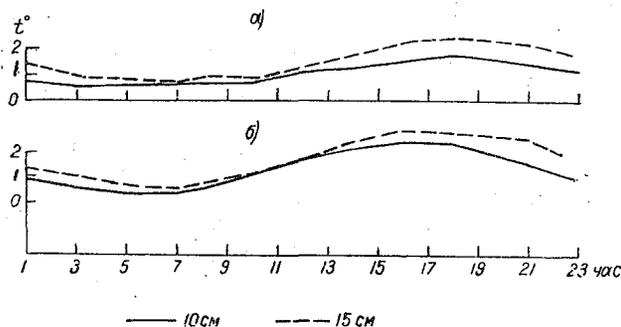


Рис. 5. Разности температуры почвы на межполосном поле на разных расстояниях от полосы 13—15/VII 1951 г. Каменная Степь.

а — 2-кратное расстояние — середина (50—200 м), б — 4-кратное расстояние — середина (100—200 м).

поверхности почвы, температура поверхности почвы будет выше температуры воздуха, и чем меньше затенение, тем различие будет больше в сторону превышения температуры поверхности почвы над температурой воздуха. Крайним пределом (в молодых лесопосадках) может служить разница между температурой поверхности черного пара и температурой воздуха, т. е. около 20—25°, как следует из графика (см. рис. 4, линия III).

Переходим к вопросу о влиянии лесной полосы на температуру почвы прилегающего поля.

Как показали исследования в Деркуле [1], влияние лесной полосы на разных расстояниях от нее на температуру почвы прилегающего поля, засеянного сельскохозяйственной культурой, в период развитого травостоя перекрывается влиянием самой растительности. В Каменной Степи во время работы экспедиции были проведены наблюдения над температурой почвы на черном пару на разных расстояниях от полосы. (Описание полосы дано выше под названием второй полосы.) Наблюдения проводились в трех пунктах. Первый пункт находился на расстоянии двукратной высоты деревьев (около 50 м от полосы), второй пункт — на расстоянии четырехкратной высоты деревьев (около 100 м) и третий пункт — на середине межполосного поля (на расстоянии 200 м от полосы). На каждом пункте было установлено по две повторности термометров. В период наблюдений с 13 по 15 июля ветер дул с полосы. Под влиянием полосы скорость ветра на первых двух пунктах была меньше, чем в середине поля на третьем пункте. Днем скорость ветра на первых двух пунктах составляла 1—2 м/сек., на третьем — 3—4 м/сек. Днем было ясно или наблюдалась небольшая облачность, ночью — ясно.

Сравнение данных температуры почвы первого и второго пунктов с третьим показало, что температура почвы верхних горизонтов на участках, более близких

к полосе, выше, чем на середине поля (рис. 5), что можно объяснить уменьшением отдачи тепла в воздух под влиянием полосы.

Температура почвы (на глубине 10—15 см) на расстоянии 50 и 100 м от полосы днем в послеполуденные часы (когда бывает максимум температуры на данных глубинах) выше на 2—3°, а ночью и в утренние часы — на 0,5—1°.

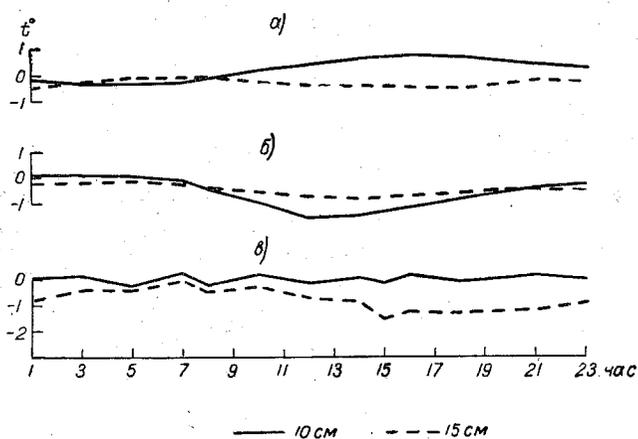


Рис. 6. Разности температуры почвы между установками (черный пар). 13—15/VII 1951 г. Каменная Степь.

а — 2-кратное расстояние от лесной полосы (установка I — установка II),
б — 4-кратное расстояние от лесной полосы (установка I — установка II),
в — середина (установка I — установка II).

рой, перекрывается влиянием травостоя, который в свою очередь определяется лесными полосами, целесообразно изучать влияние на температурный режим почвы всего комплекса, не расчленяя непосредственного и косвенного (через травостой) влияния лесных полос.

Достоверность этих различий подтверждается тем, что изменение температуры на каждом данном пункте между повторностями значительно меньше различий между температурами на рассматриваемых расстояниях от полосы.

На рис. 6 даны разности температуры почвы между повторностями.

Сравнение рис. 5 и 6 подтверждает вышеизложенное.

Учитывая, что непосредственно, путем ослабления турбулентного обмена, влияние лесных полос на температуру почвы межполосного поля, засеянного сельскохозяйственной культу-

Таблица 9

Средняя температура почвы на разных глубинах
Каменная Степь, 19—28/VI 1951 г.

Место наблюдений (поле)	Часы											
	1	3	5	7	8	10	12	14	16	18	21	23
На поверхности												
Межполосное			10,4	17,0	20,4	25,8	31,2	30,8	27,3	23,3		
Открытое			13,2	20,7	28,4	34,4	38,2	37,9	32,4	26,3		
Разность			-2,8	-3,7	-8,0	-8,6	-7,0	-7,1	-5,1	-3,0		
Глубина 5 см												
Межполосное	17,0	15,9	15,2	15,2	16,1	17,3	19,0	20,1	20,7	20,5	19,1	18,0
Открытое	19,8	18,5	17,9	17,7	19,0	20,7	23,1	25,7	26,3	25,1	22,3	20,6
Разность	-2,8	-2,6	-2,7	-2,5	-2,9	-3,4	-4,1	-5,6	-5,6	-4,6	-3,2	-2,6
Глубина 10 см												
Межполосное	17,7	17,1	16,4	15,9	16,3	16,7	17,6	18,5	19,2	19,4	19,0	18,4
Открытое	20,8	19,9	19,1	18,4	18,6	19,4	20,6	22,5	23,5	23,7	22,8	21,8
Разность	-3,1	-2,8	-2,7	-2,5	-2,3	-2,7	-3,0	-4,0	-4,3	-4,3	-3,8	-3,4
Глубина 20 см												
Межполосное	17,1	17,1	16,8	16,5	16,5	16,3	16,3	16,4	16,6	17,0	17,1	17,1
Открытое	20,6	20,3	20,0	19,6	19,1	19,1	19,3	19,7	20,2	20,6	21,1	20,9
Разность	-3,5	-3,2	-3,2	-3,1	-2,6	-2,8	-3,0	-3,3	-3,6	-3,6	-4,0	-3,8

Рассмотрим температурный режим почвы в межполосном поле и в открытой степи.

Рассматриваемые поля среди лесных полос и в степи были засеяны овсом.

Наблюдения проводились во время работы экспедиции с 19 по 28 июня, когда овес находился в фазе колошения и цветения. В межполосном поле овес был значительно выше (в 2 раза) и гуще, чем в степи. Высота овса в межполосном поле составляла около 100 см, а в степи — 50 см. Вес сухой массы 20 июня на площади 0,25 м² равнялся в межполосном поле 221 г, а в степи 131 г.

В период наблюдений стояла ясная и малооблачная погода, ветер преимущественно дул с поля.

В табл. 9 приводятся температура почвы и разность ее в межполосном и открытом полях.

Из таблицы следует, что температура почвы в межполосном поле на поверхности и во всем верхнем горизонте в дневные часы, главным образом, в связи со значительной затененностью почвы мощным густым травостоем, существенно ниже, чем в открытом поле, где солнечные лучи, проникая на почву сквозь невысокий и негустой травостой, сильно ее нагревали. Понижение температуры в межполосном поле по сравнению со степью составляло на поверхности почвы 7—9°, а на глубине 5 см — 4—6°.

Ночью температура почвы в верхних горизонтах также ниже в межполосном поле, чем в открытом, где почва за день так сильно нагревалась, что уже и ночью оставалась теплее, хотя поверхность почвы здесь и охлаждалась до некоторой степени непосредственным излучением, поскольку овес был редкий, в то время как в межполосном поле излучающей поверхностью в основном являлась поверхность травостоя.

Поверхность почвы в ночные часы при штиле в условиях ослабленного обмена также холоднее в межполосном поле, но при достаточно большой скорости ветра (в открытом поле более 5 м/сек.) в условиях холодной адвекции поверхность почвы в межполосном поле теплее, чем в открытом (табл. 10).

Таблица 10

Средняя температура поверхности почвы в ночные часы
Каменная Степь

Место наблюдений (поле)	Скорость ветра							
	> 5 м/сек.				< 1 м/сек.			
	23—24, 25—26/VI				21—22, 27—28/VI			
	21	23	1	3	21	23	1	3
Межполосное . . .	16,6	14,6	11,7	10,0	15,2	12,2	10,2	9,1
Открытое	15,7	13,2	10,6	8,9	20,2	17,6	14,8	13,7
Разность	0,9	1,4	1,1	1,1	-5,0	-5,4	-4,6	-4,6

Колебания температуры почвы от дня к ночи, т. е. суточные амплитуды, также значительно меньше в межполосном поле (табл. 11).

Таким образом, комплексное влияние лесных полос, в том числе и более мощного травостоя межполосных полей, на температуру почвы значительно. В межполосном поле за счет этого влияния уровень температуры в верхних горизонтах ниже, чем в тех же горизонтах в степи, и суточные амплитуды меньше.

В заключение необходимо сделать некоторые замечания об установке термометров Савинова, которые обычно употребляются для определения температуры почвы в самых верхних горизонтах (до глубины 20 см). Работа экспедиции в Каменной Степи показала, что точная установка термометров, особенно на малых глубинах

5 и 10 см в условиях мало увлажненной почвы, очень затруднительна. Между тем, ошибка в установке на малых глубинах (1—2 см), как известно, дает уже заметное искажение температуры.

Таблица 11

Суточные амплитуды температуры почвы на разных глубинах (см)
Каменная Степь

Место наблюдений (поле)	Скорость ветра							
	> 5 м/сек.				< 1 м/сек.			
	23—24, 25—26/VI				21—22, 27—28/VI			
	0	5	10	20	0	5	10	20
Межполосное . . .	18,1	5,0	3,3	0,7	24,7	6,0	3,6	1,1
Открытое	22,0	7,4	5,0	1,7	27,9	8,8	6,3	2,4

Ввиду этого для более правильной установки термометров Савинова необходимо при их изготовлении делать на них всегда метку, до которой термометры надо закапывать на ту или иную глубину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипова Е. П. К вопросу о температуре почвы в лесных насаждениях. Труды ГГО, вып. 30 (92), 1951.
2. Архипова Е. П. Метод косвенного определения температуры поверхности оголенной почвы. Труды ГГО, вып. 30 (92), 1951.
3. Воейков А. И. Метеорология, СПб, 1904.
4. Глебова М. Я. Некоторые особенности режима температуры и влажности воздуха в лесных насаждениях и в поле. Труды ГГО, вып. 30 (92), 1951.
5. Голубова Т. А. О радиационном режиме внутри лесной полосы (см. настоящий выпуск, стр. 79).
6. Сапожникова С. А. Микроклимат и местный климат. Гидрометеиздат, Л., 1950.
7. Сапожникова С. А. К вопросу о типизации лесных насаждений как климатообразующего фактора. Труды ГГО, вып. 30 (92), 1951.
8. Скородумов А. С. и Смалько Я. А. Влияние защитных лесных насаждений на элементы водного баланса почв и климат приземного слоя атмосферы. Труды по агрометеорологии. Научный отчет за 1948 г. Госиздат с.-х. литературы УССР, 1950.
9. Смалько Я. А. О температуре поверхности почвы на полях, защищенных лесными полосами. Метеорология и гидрология, № 3, 1951.
10. Смирнова С. И. Особенности метеорологического режима лесной полосы по наблюдениям лесной гидрометеорологической станции „Гигант“. Труды ГГО, вып. 30 (92), 1951.
11. Юдин М. И. Влияние лесных полос на турбулентный обмен и оптимальная ширина полос. Сборник „Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесоразведения“, Гидрометеиздат, Л., 1950.

МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРОШАЕМОГО ПОЛЯ

Орошение, видоизменяя климат засушливых районов, является мощным фактором, обеспечивающим высокие и устойчивые урожаи.

Непосредственных данных по вопросам влияния орошения на гидротермический режим поля для Европейской территории СССР имеется крайне мало. Имеющиеся работы в основном освещают степные районы Заволжья [1, 2, 8]. Представляет интерес выявить влияние орошения в других климатических условиях, чтобы оценить значение орошения в борьбе с засухой и суховеями на Европейской территории СССР.

Летом 1951 г. экспедиция ГГО под руководством проф. О. А. Дроздова провела метеорологические наблюдения на орошаемых и неорошаемых участках поля в центральной черноземной полосе, в условиях лесостепной зоны на границе ее со степью.

Наблюдения производились в Каменной Степи (Таловского района, Воронежской области) на опытных полях научно-исследовательского института земледелия им. В. В. Докучаева. Опытные поля были расположены среди лесных полос. Наблюдения производились на участках, занятых яровой пшеницей (Гордейформе 10).

На первом опытном поле размером 3,5 га орошение производилось по засеваемым бороздам (поверхностный полив) из расчета 600 м³/га. На всем участке орошаемой пшеницы было два полива, а на одной делянке размером 20×40 м был произведен третий полив (29/VI), после которого были начаты метеорологические наблюдения.

На втором опытном поле размером 5 га орошение производилось дождеванием. За вегетационный период пшеница орошалась дважды: 5/V (из расчета 350 м³/га) и 19/VI (150 м³/га).

На окраине каждого поля находились контрольные неорошаемые участки, на которых производились наблюдения одновременно с орошаемыми участками.

В период наблюдений пшеница находилась в фазе молочной спелости, когда травостой вполне развит. Метеорологические наблюдения в этот период наиболее интересны, так как при развитом травостое влияние орошения на метеорологический режим проявляется наиболее интенсивно. На первом поле высота орошаемой пшеницы была около 130 см, неорошаемой — 90 см. Густота травостоя на орошаемом участке была также значительно больше, чем на неорошаемом.

На втором поле высота орошаемой пшеницы составляла 110 см, неорошаемой — 100 см. Густота травостоя орошаемой пшеницы была несколько больше, чем неорошаемой. Таким образом травостой на обоих орошаемых участках был более высокий и густой, чем на неполивных. Однако на первом поле, где норма полива была значительно больше, и травостой был более высокий и мощный.

Метеорологические наблюдения на всех участках производились одновременно. Изменялись температура верхнего горизонта почвы, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра и отмечалась облачность. Температура почвы определялась на поверхности и на глубинах 5, 10, 15, 20 см (по термометрам

Савинова). Температура и влажность воздуха определялись по аспирационному психрометру на высотах 20 см над поверхностью почвы, 20 и 50 см над поверхностью травостоя. Таким образом, на первом поле на неорошаемом участке наблюдения производились на высоте 20, 110 и 140 см над поверхностью почвы, на орошаемом — на высоте 20, 150 и 180 см, на втором поле — на неорошаемом участке на высотах 20, 120 и 150 см, на орошаемом участке — на высотах 20, 130 и 160 см.

Отсчеты производились через 2 часа.

В предшествующий период и в первые дни наблюдений стояла безоблачная жаркая засушливая погода, преимущественно со слабыми ветрами, 29 и 30/VI днем температура воздуха превышала 30° , относительная влажность была около 15% . В последующие дни характер погоды изменился, прошли грозы с небольшими осадками, температура воздуха понизилась, относительная влажность возросла до 40% .

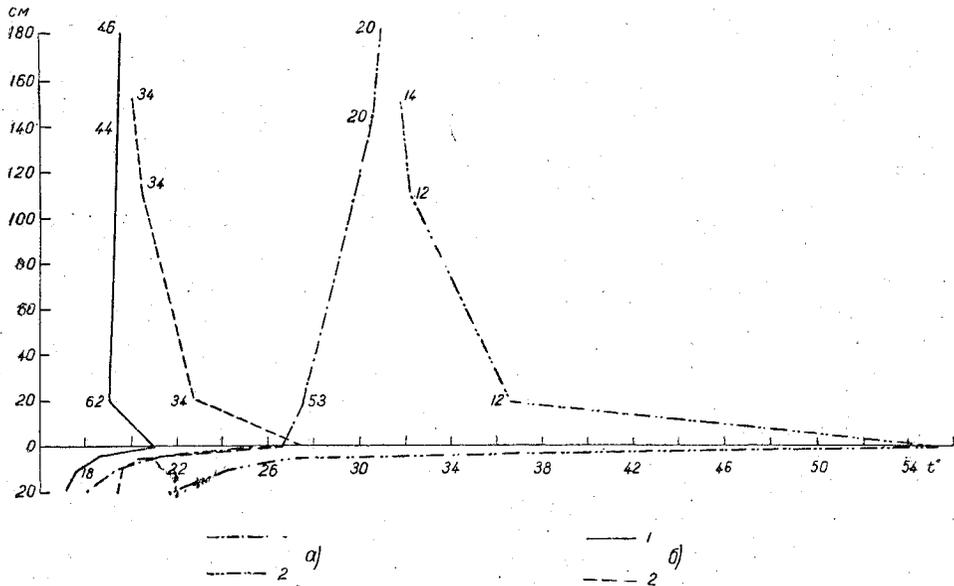


Рис. 1. Температура воздуха и почвы и относительная влажность воздуха в 14 час. а — первый день после полива (29/VI) при ясной засушливой погоде: 1 — орошаемый участок, 2 — неорошаемый участок. б — на пятый день после полива (3/VII) при значительной облачности: 1 — орошаемый участок, 2 — неорошаемый участок. Цифрами дана относительная влажность.

Благоприятное действие орошения наиболее резко проявляется в первые дни после полива в условиях засушливой ясной погоды. Поэтому вначале рассмотрим результаты наблюдений на первом поле при жаркой сухой погоде, на котором метеорологические наблюдения были начаты на следующий день после полива.

В первые дни после полива, при значительном увлажнении почвы и в условиях ясной сухой жаркой погоды, для орошаемого поля характерна значительная инверсия температуры в дневные часы, для неорошаемого — большие сверхадиабатические градиенты.

Это наглядно иллюстрирует рис. 1, на котором представлено распределение температуры воздуха и почвы в 14 час. на неорошаемом и орошаемом участках поля на следующий день после полива, в условиях жаркой сухой погоды, при безоблачном небе.

В орошаемой пшенице (рис. 1) температура воздуха внутри травостоя на высоте 20 см была на $3-6^{\circ}$ ниже, чем над травостоем, а в неорошаемой пшенице, наоборот, почти на 5° выше.

При сравнении температуры двух участков поля ясно видно охлаждающее влияние полива. На орошаемом поле, вследствие большого испарения с влажной поверхности почвы, а также большого затенения поверхности почвы густым травостоем, почва днем менее прогревается, чем на неорошаемом поле. На неорошае-

мом поле, вследствие сильного прогрева поверхности сухой почвы, температура внутри травостоя значительно повышается, и в результате создаются большие сверхadiaбатические градиенты. В первый день после полива в околополуденные часы температура поверхности почвы на орошаемом поле достигала 27°, а на неорошаемом поле 55°; таким образом, температура поверхности почвы на орошаемом и неорошаемом полях различалась на 28°.

С увеличением глубины различия температур в почве несколько сглаживаются; так, на глубине 5 см разности составляют 6—7°, а на 20 см — около 4°.

Температура воздуха внутри травостоя на орошаемом и неорошаемом полях значительно различается. На высоте 20 см разности температур воздуха достигают 9—10°. Над травостоем различие температур уменьшается. На высоте 20 см над травостоем разности температур составляют около 3°, на высоте 50 см над травостоем 1—2°.

Как и следовало ожидать, на орошаемом поле влажность воздуха на всех высотах была выше, чем на неорошаемом поле. Особенно велики различия внутри травостоя. Среди густого травостоя орошаемой пшеницы на высоте 20 см над почвой абсолютная влажность воздуха днем была на 12 мб выше, чем на неорошаемом поле, а относительная влажность, в связи с более низкой температурой, была выше на 40—50% (табл. 1).

Таблица 1

Температура и влажность воздуха и температура почвы в 14 час. в отдельные дни после полива

Дата	День после полива	Участок поля	Температура воздуха		Абсолютная влажность воздуха, мб			Относительная влажность воздуха, %			Температура почвы					Состояние неба		
			над почвой	над травостоем	над почвой	над травостоем		над почвой	над травостоем									
			Высота, см										Глубина, см					
			20	20	50	20	20	50	20	20	50	0	5	10	15		20	
29/VI	1	Орошаемый	27,5	30,4	30,7	19,7	8,8	8,9	53	20	20	26,6	21,4	19,6	18,6	18,1	Ясное	
		Неорошаемый	36,5	33,2	31,7	7,4	6,2	6,8	12	12	14	55,1	27,1	24,3	23,3	21,7		
		Разность	-9,0	-2,8	-1,0	12,3	2,6	2,1	41	8	6	-28,5	-5,7	-4,7	-4,7	-3,6		
30	2	Орошаемый	22,3	26,1	26,8	22,1	14,0	11,5	82	42	32	22,5	20,6	19,4	18,4	18,1	Утром ясное, днем значительная облачность	
		Неорошаемый	29,9	29,2	29,1	10,2	9,4	8,3	24	23	21	33,0	25,9	23,9	22,1	21,6		
		Разность	-7,6	-3,1	-2,3	11,9	4,6	3,2	58	19	11	-10,5	-5,3	-4,5	-3,7	-3,5		
3/VII	5	Орошаемый	19,1	19,6	19,5	13,7	11,3	10,4	62	50	46	21,0	18,5	17,7	17,3	17,2	Пасмурное	
		Неорошаемый	22,8	20,5	20,0	9,3	8,4	8,1	33	34	34	27,3	20,4	19,7	19,6	19,5		
		Разность	-3,7	-0,9	-0,5	4,4	2,9	2,3	29	16	12	-6,3	-1,9	-2,0	-2,3	-2,3		
5	7	Орошаемый	24,1	24,3	24,2	20,6	15,3	15,0	69	50	50	25,0	20,3	18,7	18,1	17,5	Полужасное	
		Неорошаемый	29,1	26,3	25,1	14,6	14,5	14,5	36	42	45	36,8	23,6	21,0	20,3	19,7		
		Разность	-5,0	-2,0	-0,9	6,0	0,8	0,5	33	8	5	-11,8	-3,3	-2,3	-2,2	-2,2		
6	8	Орошаемый	26,2	26,9	26,9	21,9	15,6	15,4	64	44	43	27,0	20,0	18,6	17,7	17,5	Утром ясное, днем полужасное	
		Неорошаемый	31,6	29,0	28,5	15,1	14,5	14,7	32	36	38	41,6	22,5	20,7	20,4	20,1		
		Разность	-5,4	-2,1	-1,6	6,8	1,1	0,7	32	8	5	-14,6	-2,5	-2,1	-2,7	-2,6		

Над травостоем различия влажности воздуха орошаемого и неорошаемого полей уменьшаются, но все же еще довольно существенны; так, на высоте 50 см над травостоем, т. е. на высоте 180 см над почвой, разности достигали 5—10⁰/₀.

Из изложенного видно, что в ясные дни благоприятное для растений влияние орошения проявляется в очень сильной степени. В дни со значительной облачностью, когда радиация ослаблена, испарение происходит менее интенсивно, следовательно, различия орошаемого и неорошаемого участков сглаживаются. Метеорологический эффект орошения в пасмурные дни уменьшается, но все же и при небольшом относительном различии на орошаемом поле создается более благоприятный метеорологический режим. На рис. 1 представлено распределение температуры воздуха и почвы в 14 час. на неорошаемом и орошаемом участках поля на 5-й день после полива при значительной облачности.

Рисунок этот показывает, что и при значительной облачности на орошаемом поле еще проявляется тенденция к инверсионному распределению температуры. Разности температур поверхности почвы орошаемого и неорошаемого участков уменьшились до 6°, в травостое — до 3—4° и над травостоем (на высоте 50 см) — до 0,5°. Разности относительной влажности в травостое были значительны и составляли около 30⁰/₀. Уменьшение различия метеорологических условий орошаемого и неорошаемого участков полей в данном случае обусловлено, в основном, условиями погоды — уменьшением испарения в связи с ослаблением радиации.

В последующие дни (на 7—8-й день после полива) при более ясной погоде охлаждающее действие полива вновь усиливается, что видно из табл. 1, в которой даны температура и влажность воздуха и температура почвы в 14 час. в отдельные дни после полива при различных условиях погоды. Это подтверждается повышенной влажностью почвы орошаемого участка, на котором еще на 11-й день после полива влажность в пахотном горизонте почвы была на 12⁰/₀ выше, чем на неорошаемом¹. То же самое отмечает Л. А. Голубева и для Ершова [1], где на 7-й день после полива влажность почвы на орошаемом участке была на 20⁰/₀ выше, чем на неорошаемом.

Как следует из всего изложенного выше, влажная поверхность почвы создает своеобразный гидротермический режим в среде орошаемой пшеницы; ввиду этого интересно знать, в течение какого периода после полива сохраняется влажная поверхность почвы. Визуальные наблюдения за состоянием поверхности почвы на орошаемом участке показали, что еще на 9-й день после полива поверхность почвы была влажной. Вследствие прекращения наблюдений нельзя отметить, в течение скольких дней почва оставалась влажной. Наблюдения над просыханием поверхности почвы на орошаемом участке в Ершове показали, что в фазу „цветение — налив зерна“ влажная поверхность почвы после полива сохранялась более 11 дней. В начале вегетации растений в фазу „кущение — стеблевание“ влажная поверхность почвы после первого полива сохранялась только в течение 4—8 дней.

Днем, как уже было отмечено, при большом положительном радиационном балансе, когда на орошаемом участке происходит интенсивное испарение, температура воздуха и почвы на нем всегда бывает значительно ниже, чем на неорошаемом участке. Ночью при отрицательном радиационном балансе, когда испарения не происходит или оно очень ослаблено, температуры орошаемого и неорошаемого участков различаются меньше.

В своих исследованиях Л. А. Голубева [2] и В. М. Шеленков [8] отмечают, что ночью в среде орошаемой пшеницы удерживается более высокий уровень температуры воздуха. Это явление используется при борьбе с заморозками методом полива [3], причем полив полей производится непосредственно перед ожидаемым заморозком. В работе В. Н. Прасолова и В. К. Смирнова [6] отмечается, что наибольшая страховка культур (хлопка) от заморозков возможна при увлажнении поля накануне или за сутки до наступления заморозка. Ночью на поливном поле

¹ Данные по влажности почвы представлены И. П. Сухаревым, начальником отдела мелиорации Института земледелия им. В. В. Докучаева.

температура повышается вследствие выделения скрытой теплоты парообразования при конденсации водяного пара.

К сожалению, в Каменной Степи в первые ночи после полива, в условиях ясной, сухой погоды, не было ночных наблюдений. Ночные наблюдения начались лишь на 6-ю ночь после полива, к тому же в этот период и условия погоды изменились. Ночью на обоих участках в орошаемой и неорошаемой пшенице наблюдается инверсия температуры. В двух случаях (на 6-й и 7-й день после полива) температура воздуха внутри травостоя орошаемой пшеницы была все же несколько ниже. Только в одном случае (на 8-ю ночь) температура внутри травостоя была значительно выше (табл. 2). В дальнейшем необходимо провести исследования ночного режима температуры непосредственно после полива.

Таблица 2

Температура и влажность воздуха и температура почвы в 3 час. в отдельные ночи

Даты	День после полива	Участок поля	Температура воздуха			Абсолютная влажность воздуха, мб			Относительная влажность воздуха, %			Температура почвы					Состояние неба
			над почвой	над травостоем		над почвой	над травостоем		над почвой	над травостоем							
			Высота, см									Глубина, см					
			20	20	50	20	20	50	20	20	50	0	5	10	15	20	
5/VII	7	Орошаемый	15,6	16,3	16,5	14,7	13,9	13,8	82	74	73	16,4	17,1	17,7	17,8	17,7	Полуясное
		Неорошаемый	16,9	16,8	16,6	14,1	14,0	13,2	73	73	73	17,0	19,3	19,7	20,3	20,0	
		Разность	-1,3	-0,5	-0,1	0,6	-0,1	0,6	9	1	0	-0,6	-2,2	-2,0	-2,5	-2,3	
6/VII	8	Орошаемый	13,7	15,5	15,9	15,3	15,7	15,5	98	88	85	15,0	17,3	18,0	18,2	18,1	Ясное
		Неорошаемый	15,7	16,2	16,1	15,5	15,3	15,4	86	82	83	15,8	20,2	20,3	21,1	20,7	
		Разность	-2,0	-0,7	-0,2	-0,2	-0,4	0,1	12	6	2	-0,8	-2,9	-2,3	-2,9	-2,6	
7/VII	9	Орошаемый	9,9	10,2	10,7	12,2	12,1	12,1	100	97	95	12,4	17,2	18,2	18,6	18,5	Полуясное
		Неорошаемый	9,4	10,4	10,9	11,6	11,6	12,5	99	92	96	12,3	20,1	20,8	21,6	21,1	
		Разность	0,5	-0,2	-0,2	0,6	0,5	-0,4	1	5	-1	0,1	-2,9	-2,6	-3,0	-2,6	

В результате под влиянием орошения создается более сглаженный ход температуры воздуха на орошаемом участке, суточные амплитуды в приземном слое воздуха уменьшаются в основном за счет снижения дневных температур.

Температура почвы орошаемого участка, в результате большой влажности почвы, в течение всех суток остается более низкой.

Относительная влажность воздуха ночью, так же как и днем, на орошаемом участке бывает более высокой.

Наибольшие различия температуры и влажности воздуха и температуры поверхности почвы орошаемого и неорошаемого полей наблюдаются днем, т. е. в период наибольшей солнечной радиации, когда происходит усиленная транспирация растений и наиболее интенсивное испарение. В почве с глубиной максимальные различия сдвигаются на наиболее поздние часы в связи с запаздыванием максимума температуры. На глубине 5—10 см самые большие различия наблюдаются в 17—19 час., а на глубине 20 см — в 21—24 часа. Это иллюстрируют рис. 2 и 3, на которых приведен суточный ход разностей метеорологических элементов на 8-й день после полива, при переменной облачности.

В среднем за весь период наблюдений различия метеорологического режима орошаемого и неорошаемого полей оказались значительными, хотя в этот период преобладала погода со значительной облачностью. Это иллюстрирует табл. 3,

в которой приведены средние значения метеорологических элементов для 14 час. за все дни наблюдений (с 29/VI по 7/VII).

Как показывают все приведенные выше данные, при орошении, вследствие значительного испарения с почвы и транспирации растений, образующих густой травостой, создается более благоприятный метеорологический режим среди растений. Следовательно, в центрально-черноземной полосе при определенных условиях погоды, а, именно, при жаркой, засушливой погоде метеорологический эффект орошения значителен.

Представляет интерес сопоставить полученные данные с данными для Заволжья. В табл. 4 для сравнения приводятся данные Л. А. Голубевой [1], полученные в результате наблюдений в 1933—1937 гг. в Саратовской области (Ершовский опытный участок Института земледелия Юго-Востока). Наблюдения производились с помощью аспирационного психрометра в среде орошаемой и неорошаемой яровой пшеницы на высоте 10 см над поверхностью почвы и на высоте рабочего листа

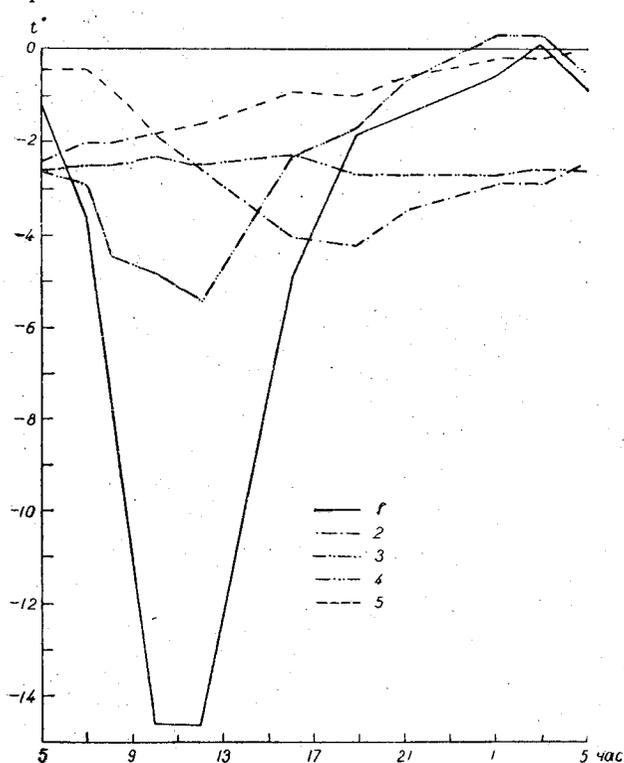


Рис. 2. Разности температуры воздуха и почвы орошаемого и неорошаемого участков на 8-й день после полива.

1 — на поверхности почвы, 2 — на глубине 5 см, 3 — на глубине 20 см, 4 — на высоте 20 см над почвой, 5 — на высоте 50 см над пшеницей.

т. е. на высоте травостоя). В табл. 4 представлены за 13 час. температура и влаж-

Таблица 3

Средняя температура и влажность воздуха и температура почвы в 14 час. за весь период наблюдений (с 29/VI по 7/VII)

Участок поля	Температура воздуха			Абсолютная влажность воздуха, мб			Относительная влажность воздуха, %			Температура почвы				
	над поч-вой	над травостоем		над поч-вой	над травостоем		над поч-вой	над травостоем		Глубина, см				
		20	50		20	50		20	20	50	0	5	10	15
	Высота, см										Глубина, см			
Орошаемый	23,5	25,0	25,2	19,6	13,5	12,8	67	39	42	24,5	20,2	18,8	18,0	17,6
Неорошаемый	29,3	26,9	26,2	12,1	11,4	11,1	31	34	34	38,2	23,7	21,8	21,0	20,4
Разность	-5,8	-1,9	-1,0	7,5	2,2	1,7	36	5	8	-13,7	-3,5	-3,0	-3,0	-2,8

ность воздуха в засушливые и жаркие дни, когда относительная влажность воздуха (по наблюдениям на метстанции на высоте 2 м в будке) была не выше 35%, а температура не ниже 25°, за период, когда пшеница находилась в фазе цветения и налива зерна, т. е. для той же фазы, во время которой производились наблюдения в Каменной Степи. Температура почвы для 13 час. приводится в среднем за 1934—1935 гг. за все дни наблюдений при данной фазе развития пшеницы.

Сравнение данных Каменной Степи с данными Ершова показывают, что и в центрально-черноземной полосе различие метеорологических условий орошаемого и неорошаемого полей в засушливый период такого же порядка, как и в сухих степях Заволжья. Таким образом, и в лесостепной зоне центрально-черноземной полосы орошение имеет огромное значение для борьбы не только с почвенной засухой, но и с атмосферной, создавая более благоприятный метеорологический режим среди растений.

Необходимо заметить, что такие жесткие погодные условия, при которых наиболее резко проявляется метеорологический эффект орошения, в лесостепной зоне бывают реже, чем в сухих степях Заволжья, поскольку климатические условия этих районов различны.

В табл. 5 приводятся основные показатели, характеризующие климатические особенности этих районов в летние месяцы.

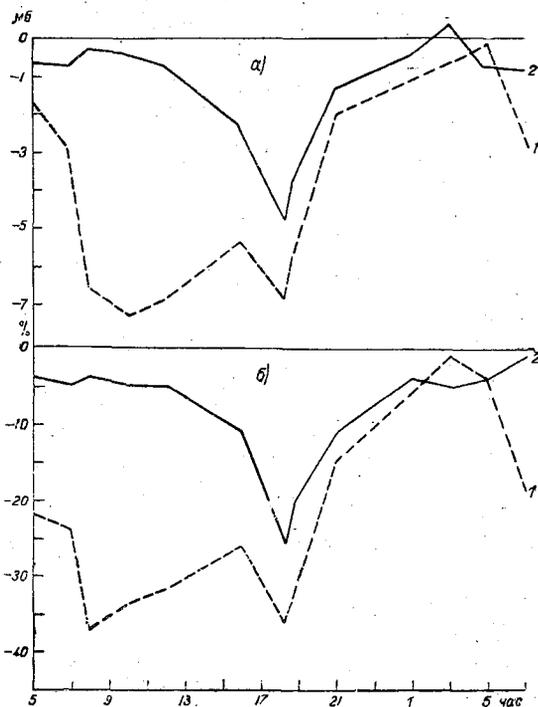


Рис. 3. Разности влажности воздуха орошаемого и неорошаемого участков на 8-й день после полива. а — абсолютная влажность воздуха, б — относительная влажность воздуха. 1 — на высоте 20 см, 2 — на высоте 150 см.

Таблица 4

Температура и влажность воздуха и температура почвы в 13 час.
(по данным Л. А. Голубевой)

Участок поля	Температура воздуха		Абсолютная влажность воздуха, мб		Относительная влажность воздуха, %		Температура почвы	
	Высота						Глубина	
	10 см	Рабочий лист	10 см	Рабочий лист	10 см	Рабочий лист	3 см	10 см

При скорости ветра < 3 м/сек.

Орошаемый	28,0	29,0	17,1	13,7	60	50	21,9	20,8
Неорошаемый	33,6	32,3	10,1	9,7	26	26	31,7	23,9
Разность	-5,6	-3,3	7,1	4,0	34	24	-9,8	-3,1

При скорости ветра 6 м/сек. и более

Орошаемый	26,6	28,1	14,3	11,2	55	40	—	—
Неорошаемый	32,6	31,1	9,1	8,5	25	25	—	—
Разность	-6,0	-3,0	5,2	2,7	30	15	—	—

Районы	Средняя месячная температура воздуха в 13 час.			Средняя месячная абсолютная влажность воздуха в 13 час., мб			Средняя месячная относительная влажность воздуха в 13 час., %		
	V	VI	VII	V	VI	VII	V	VI	VII
Каменная Степь . . .	19,5	22,5	25,0	9,8	13,2	15,2	44	50	48
Ершов	20,0	25,0	27,5	9,5	12,8	14,0	42	42	38

Климат Заволжья в летний период характеризуется меньшим увлажнением, более высокой температурой и большей испаряемостью (под испаряемостью понимается испарение в сумме за год с водной поверхности водоемов небольшой площади). Если принять за условный показатель сухости климата отношение испаряемости к осадкам, то для района Заволжья оно составляет 2,5, а для района Каменной Степи — около 1,5, т. е. в Заволжье испаряемость в 2,5 раза превышает выпадающие осадки.

Несмотря на относительно лучшие условия увлажнения районов центрально-черноземной полосы в отдельные годы и здесь возможны продолжительные жаркие и засушливые периоды, как это было в 1951 г. Однако вероятность таких погодных условий в этих районах меньше, чем в Заволжье. В 1951 г. в июне, в период, предшествующий наблюдениям на орошаемом поле в Каменной Степи, относительная влажность воздуха в 13 час. была менее 30%. Вероятность средней месячной влажности менее 30% при многолетней средней 50% составляет менее 3%, а в районе Ершова — около 5%, т. е. такие случаи устойчивой очень сухой погоды редки в обоих районах, особенно редки они в Каменной Степи. Однако наличие низкой относительной влажности не в течение такого длительного периода, а в продолжение нескольких дней возможно значительно чаще. Так например, вероятность того, что в июне будет от 7 до 12 дней с относительной влажностью менее 30%, составляет для района Ершова 35%, а для района Каменной Степи 10%. Вероятность того, что в течение всех дней месяца относительная влажность воздуха будет выше 30%, в Каменной Степи составляет 30%, тогда как в Ершове только 5%.

Переходим к рассмотрению результатов наблюдений на втором поле, на котором орошение производилось дождеванием. Как уже выше было отмечено, норма полива пшеницы на этом поле была в 4 раза меньше, чем на первом. Меньшая норма полива отразилась на влажности почвы; на 4-й день после дождевания влажность почвы была здесь лишь немного выше, чем на неорошаемом поле: в слое 0—10 см на 10%, в то время как на первом поле даже на 11-й день после полива влажность почвы во всем верхнем слое (до 20 см) была на 12% выше, чем на неорошаемом поле.

Метеорологические наблюдения на данном поле начались на 11-й день после дождевания. Весь период после дождевания до начала наблюдений стояла очень сухая и жаркая погода (относительная влажность воздуха в 13 час. понижалась до 15—20%), способствовавшая быстрому испарению влаги из верхнего слоя почвы. К сожалению, измерения влажности почвы в начале наблюдений не были произведены. Произведенное через три недели после дождевания определение влажности почвы показало, что в слое до 10 см влажность почвы орошаемого и неорошаемого участков была одинаковой и лишь в слое 10—20 см различия составляли около 5%. В результате в режиме температуры воздуха орошаемого и неорошаемого участков на 11-й день после дождевания различия уже не было, на обоих участках днем были сверхадиабатические градиенты. Охлаждающее влияние дождевания отразилось на температуре почвы. В ясный, малооблачный день на орошаемом участке температура почвы была на глубине 5—10 см на 1° ниже, а на 20 см — на 2,5° ниже, чем на неорошаемом. В дни со значительной облачностью

ческие показатели

Число дней с относительной влажностью воздуха менее 30%			Число дней с засухами	Количество осадков, мм					Испаряемость, мм			
V	VI	VII		IV—X	V	VI	VII	IX—X	Год	V	VI	VII
6	4	4	30	45	60	60	310	450	100	100	105	600
11	10	10	53	30	30	30	190	310	120	135	150	800

разности температуры почвы уменьшались и составляли на глубине 5—10 см около 0,5°, на 20 см около 1°.

Как следует из всего вышеизложенного, и в более увлажненной лесостепной зоне центральной черноземной полосы в условиях засушливой и сухой погоды различия метеорологического режима орошаемого и неорошаемого полей значительны, такого же порядка, как и в более засушливых степях Заволжья, что показывает на огромное значение орошения в борьбе с засухой и засухами для всего юга Европейской территории СССР. Однако, следует учитывать, что в различных климатических условиях вероятность таких вредных для сельскохозяйственных растений жарких сухих дней в отдельных районах различна, следовательно нормы полива и частота поливов в различных районах может варьировать.

При орошении, вследствие значительного испарения с влажной почвы и транспирации растений, создается благоприятный метеорологический режим среди растений в результате снижения дневной температуры и повышения влажности воздуха. Различия метеорологического режима орошаемого и неорошаемого участков полей наиболее значительны внутри травостоя. Над травостоем различия уменьшаются. Благоприятное влияние орошения наиболее сильно проявляется в жаркие засушливые дни, наиболее опасные для сельскохозяйственных растений.

Оценивая полученные выводы следует иметь в виду те конкретные условия, в которых получены результаты наблюдений. В Каменной Степи опытные поля были окружены лесными полосами, которые ослабляли турбулентный обмен в поле, что приводило к увеличению различий гидротермического режима орошаемого и неорошаемого участков. В результате не только внутри травостоя, но и над травостоем различия были существенны. С другой стороны, небольшой размер орошаемых участков, на которых производились наблюдения в Каменной Степи и в Ершове, до некоторой степени нивелировал эти различия, которые при большой орошаемой площади могли бы быть более значительными, особенно над травостоем. В дальнейшем необходимо произвести исследования на больших орошаемых площадях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубева Л. А. Фитоклимат орошаемого пшеничного поля. Метеорология и гидрология, № 4, 1941.
2. Голубева Л. А. Гидрометеорологический режим в среде орошаемой яровой пшеницы. Доклады ВАСХНИЛ, № 4/7, 1937.
3. Гольцберг И. А. Климатические характеристики заморозков и методы борьбы с ними. Труды ГГО, вып. 17, 1949.
4. Климатические данные для государственных защитных лесных полос Белгород — Дон и Воронеж — Ростов-на-Дону. Гидрометеоздат, Л., 1950.
5. Климатические данные для государственной защитной лесной полосы Чапаевск — Владимирка. Гидрометеоздат, Л., 1950.
6. Прасолов В. Н. и Смирнов В. К. Борьба с заморозками методом полива хлопковых полей и изменение их микроклимата. Метеорология и гидрология, № 3, 1937.
7. Сапожникова С. А. Некоторые особенности климата оазисов в условиях Средней Азии. Труды ГГО, вып. 30 (92), 1951.
8. Шеленков В. М. К вопросу о влиянии орошения дождеванием на микроклимат приземного слоя воздуха. Дождевание, т. II, Сельхозиздат, Л., 1936.

ТАБЛИЦА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ОРОШАЕМОГО УЧАСТКА (поле 1)

Дата	Время	Температура воздуха			Абсолютная влажность воздуха, мб			Относительная влажность воздуха, %			Температура почвы						Скорость ветра, м/сек.
		над почвой	над травостоем	над почвой	над травостоем	над почвой	над травостоем	над почвой	над травостоем	Глубина, см							
										Высота, см							
час. мин.		20	50	20	20	50	20	20	50	0	5	10	15	20			
29/VI	14 00	27,5	30,4	30,7	19,7	8,8	8,9	53	20	26,6	21,4	19,6	18,6	18,1	—		
	14 55	26,7	29,8	29,9	18,3	12,6	12,5	53	34	26,6	21,8	20,1	18,8	18,2	—		
	16 00	24,5	29,7	30,5	20,8	8,8	9,3	68	23	26,4	21,9	20,4	19,0	18,4	—		
	18 50	17,8	26,6	27,3	19,3	10,2	9,3	95	29	20,2	21,4	20,7	19,3	18,7	—		
30/VI	10 00	26,9	30,8	31,2	22,5	9,5	9,1	64	21	24,6	18,9	18,0	17,7	17,8	—		
	12 00	27,9	31,1	30,8	17,1	9,7	9,2	46	21	26,3	20,2	18,7	18,0	17,7	—		
	14 00	22,3	26,1	26,8	22,1	14,0	11,5	82	42	22,5	20,6	19,4	18,4	18,1	—		
	16 00	22,3	24,4	25,7	23,3	17,0	13,1	87	55	22,2	20,6	19,5	18,6	18,1	—		
	18 00	21,2	23,7	24,6	22,1	18,3	14,9	88	62	21,4	20,4	19,6	18,8	18,3	—		
	10 00	25,0	26,3	26,5	25,7	19,2	18,6	81	56	24,4	18,3	17,6	17,6	17,6	—		
1/VII	12 00	22,4	23,8	24,1	24,3	20,2	17,5	90	69	23,4	19,7	18,4	17,7	17,6	—		
	14 20	26,4	28,1	28,4	22,0	14,5	13,5	63	39	—	—	—	—	—	—		
	8 00	17,3	16,8	16,7	14,3	11,9	11,5	72	63	17,7	16,3	16,6	17,1	17,3	1,8		
3/VII	10 00	20,9	19,3	19,2	16,4	11,1	11,0	66	50	20,7	17,2	17,1	17,0	17,2	—		
	12 00	18,4	18,4	18,5	15,1	10,7	10,2	72	50	20,1	18,1	17,4	17,2	17,1	0,6		
	14 00	19,1	19,6	19,5	13,7	11,3	10,4	62	50	21,0	18,5	17,7	17,3	17,2	0,8		
	16 00	18,0	19,0	19,1	15,6	10,2	10,6	76	46	20,4	18,8	18,1	17,6	17,3	0,8		
	18 00	17,8	18,6	18,6	13,1	10,6	10,5	65	50	18,6	18,6	18,2	17,7	17,4	1,3		
	18 50	16,2	17,1	17,3	12,8	10,7	10,3	70	54	17,8	18,5	18,2	17,7	17,5	1,2		

4/VII	10 00	22,3	21,4	21,1	17,9	15,0	13,6	67	59	54	21,6	17,9	17,1	17,1	17,1	17,1	2,0
	12 55	22,7	22,3	22,2	18,0	14,6	14,2	65	54	53	23,2	17,7	17,2	17,2	17,1	2,4	
	14 00	22,6	22,6	22,5	—	—	—	—	—	—	23,4	18,8	17,4	17,4	17,1	2,6	
	14 50	19,2	19,4	19,5	17,3	15,1	14,7	78	67	65	22,0	19,4	18,3	17,6	17,2	—	
	16 00	22,6	22,2	22,0	18,5	15,7	15,5	67	58	58	23,8	19,6	18,5	17,7	17,3	1,5	
	18 00	22,8	22,9	22,7	18,8	14,7	14,2	68	53	52	22,8	19,8	18,7	17,8	17,5	2,6	
	19 00	18,8	19,2	19,4	—	—	—	—	—	—	20,4	19,8	19,0	18,2	17,6	0,9	
	21 00	18,6	19,2	19,5	18,6	16,8	16,7	86	76	73	19,8	19,6	19,0	18,2	17,7	0,9	
		15,0	16,5	16,2	16,2	14,7	14,9	95	78	80	17,4	19,0	18,9	18,3	17,9	1,0	
5/VII	1 00	14,7	16,0	16,0	14,7	13,5	13,4	88	74	73	16,0	17,7	18,1	18,1	17,8	1,6	
	3 00	15,6	16,3	16,5	14,7	13,9	13,8	82	74	73	16,4	17,4	17,7	17,8	17,7	1,9	
	5 00	15,2	15,3	15,4	15,3	14,5	14,4	89	84	83	16,2	17,1	17,5	17,7	17,6	0,9	
	7 00	18,0	17,7	17,7	17,3	16,2	15,9	83	79	78	18,0	17,4	17,4	17,6	17,5	1,6	
	9 00	20,6	19,9	19,8	19,0	16,6	16,3	79	71	70	19,8	17,4	17,4	17,5	17,4	2,0	
	10 00	22,6	22,4	22,6	19,6	15,8	15,9	72	58	55	22,8	18,3	17,5	17,4	17,3	2,4	
	12 00	25,3	24,5	24,2	21,1	15,0	15,0	66	49	50	25,2	19,4	18,2	17,6	17,3	1,6	
	12 50	22,5	—	23,3	20,3	—	14,8	75	—	52	24,5	19,6	18,4	17,7	17,4	2,3	
	14 00	24,1	24,3	24,2	20,6	15,3	15,0	69	50	50	25,0	20,3	18,7	18,1	17,5	2,1	
	16 50	22,0	23,3	23,3	20,3	16,9	16,3	75	59	56	22,9	20,5	19,4	18,4	17,7	2,3	
	18 00	19,9	22,9	23,2	19,7	15,5	15,2	84	56	54	21,4	20,5	19,5	18,6	18,1	1,3	
	18 50	18,9	21,7	22,3	20,3	17,2	16,7	93	65	61	20,4	20,3	19,5	18,6	18,1	0,6	
	21 00	14,9	16,9	19,1	16,6	16,6	16,8	98	86	92	18,0	19,6	19,5	18,8	18,4	0	
6/VII	1 00	13,3	15,0	15,6	15,3	15,9	15,9	100	93	90	16,0	17,9	18,5	18,6	18,3	0	
	3 00	13,7	15,5	15,9	15,3	15,7	15,5	98	88	85	15,0	17,3	18,0	18,2	18,1	0,6	
	5 00	15,0	16,7	17,0	16,5	15,2	15,0	97	80	77	15,8	17,0	17,6	17,9	17,9	1,8	
	7 00	19,9	21,1	21,1	19,0	17,2	16,8	82	69	67	18,8	17,2	17,4	17,7	17,7	1,5	
	8 00	22,7	24,3	24,2	22,8	19,1	16,7	82	63	56	20,8	17,2	17,3	17,6	17,6	1,5	
	10 00	26,3	26,2	26,1	23,3	15,7	14,9	69	46	44	24,5	18,7	17,8	17,5	17,6	1,7	
	12 00	26,2	26,9	26,9	21,9	15,6	15,4	64	44	43	27,0	20,0	18,6	17,7	17,5	2,2	
	16 00	22,7	22,8	22,7	20,4	16,9	16,5	74	60	60	24,7	21,2	19,7	18,6	18,0	0,5	
	18 50	19,8	19,4	19,5	21,0	19,6	17,8	92	84	79	21,4	20,8	20,3	19,1	18,5	0	
	21 00	16,5	16,1	16,2	18,0	17,1	16,8	96	94	92	17,4	20,1	20,0	19,3	18,7	0	
7/VII	1 00	11,3	11,9	12,4	—	13,2	13,5	—	95	94	13,4	18,3	18,8	18,9	18,6	0	
	3 00	9,9	10,2	10,7	12,2	12,1	12,1	100	97	95	12,4	17,3	18,2	18,6	18,5	0	
	5 00	12,5	12,9	13,0	14,5	14,3	14,2	100	96	95	13,6	16,6	17,5	18,2	18,2	0	
	7 00	16,4	16,8	16,8	16,9	14,7	14,5	91	77	76	17,2	16,6	17,2	17,9	18,0	0,3	

Примечание. Высота травостоя (пшеницы) 120 см.

ТАБЛИЦА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НЕОРОШАЕМОГО УЧАСТКА (поле I)

Дата	Время	Температура воздуха			Абсолютная влажность воздуха, мб			Относительная влажность воздуха, %			Температура почвы					Скорость ветра, м/сек.
		над почвой	над травостоем	над почвой	над травостоем	над почвой	над травостоем	над почвой	над травостоем	Глубина, см						
										Высота, см						
		20	20	50	20	20	50	20	20	20	50	0	5	10	15	
29/VI	14 00	36,5	31,7	6,2	7,4	12	12	14	55,1	27,1	24,3	23,3	21,7	2,3		
	14 55	36,4	31,6	—	7,4	12	16	49,9	28,3	24,6	23,6	22,1	1,3			
	16 00	33,8	31,0	6,2	7,2	13	14	42,4	28,8	25,2	23,7	22,3	1,6			
	18 50	28,3	27,8	12,8	13,8	36	34	31,8	28,6	26,0	23,9	22,5	3,0			
30/VI	8 55	34,5	32,0	8,1	8,6	16	15	39,6	22,0	21,5	21,5	21,3	2,0			
	10 00	36,2	33,3	7,4	7,0	12	14	46,4	23,0	21,9	21,4	21,3	0,3			
	12 00	38,2	33,5	7,2	7,9	12	13	48,1	25,0	22,9	21,6	21,4	—			
	14 05	29,9	29,1	9,4	10,2	24	23	33,0	23,9	23,9	22,1	21,6	1,2			
	16 00	28,4	28,2	10,7	12,0	31	28	30,8	25,6	24,1	22,6	21,7	3,1			
	18 00	27,0	26,6	17,2	14,9	41	49	28,6	25,4	24,1	22,8	21,9	0,1			
1/VII	10 00	32,4	27,3	15,8	15,4	31	41	35,4	21,6	21,2	20,9	20,7	1,0			
	12 00	27,9	26,0	13,6	14,1	38	40	31,9	23,1	21,7	21,0	20,7	0,4			
	14 00	33,0	29,7	12,1	13,0	26	29	44,7	24,8	22,5	21,4	21,0	1,0			
	8 00	18,6	16,7	10,5	11,5	54	54	20,4	17,7	18,6	19,6	19,7	2,8			
3/VII	10 00	23,1	18,5	9,7	11,1	40	44	27,6	18,7	18,8	19,4	19,6	2,5			
	12 00	21,2	19,0	10,2	10,1	40	44	25,0	19,7	19,3	19,5	19,4	0,8			
	14 00	22,8	20,5	8,4	9,3	33	34	27,3	20,4	19,7	19,6	19,5	2,3			
	16 00	21,5	20,3	8,3	8,9	34	34	25,2	21,3	20,2	20,0	19,7	3,3			
	18 00	20,2	19,6	9,4	9,4	40	41	21,6	21,4	20,6	20,3	19,9	3,9			
	18 50	18,3	18,0	9,9	10,0	48	48	19,6	21,2	20,6	20,3	19,9	4,1			

4/VII 4*	8 00	20,5	18,9	18,2	16,1	15,3	15,3	67	70	73	21,4	17,8	18,2	19,0	19,1	3,5
	10 00	24,7	21,9	21,4	14,4	13,3	13,3	46	50	52	28,2	18,9	18,6	19,0	18,9	5,1
	12 50	25,2	22,9	22,3	14,2	13,2	13,2	44	48	49	30,6	20,6	19,2	19,1	19,0	2,9
	14 00	22,1	23,9	23,0	15,9	14,5	14,5	43	51	51	32,4	20,6	19,5	19,3	19,1	3,9
	14 50	25,6	23,1	20,2	15,2	14,5	14,5	57	60	57	32,6	21,6	20,0	19,6	19,2	3,8
	16 00	26,7	24,0	22,6	14,9	14,2	14,2	45	52	52	34,1	22,0	20,4	19,9	19,5	4,4
	18 00	20,9	20,2	23,5	15,4	14,3	14,3	43	48	50	31,0	22,6	20,7	20,2	19,7	3,4
	18 50	21,4	20,6	20,3	15,6	15,1	15,3	63	64	65	23,3	22,7	21,3	20,7	20,0	5,8
	21 00	17,7	18,1	17,7	14,5	14,1	16,3	64	68	67	23,0	22,6	21,4	21,0	20,2	1,2
							14,1	72	69	70	18,8	21,7	21,1	21,1	20,3	1,8
								70	68	70	16,6	20,0	20,2	20,7	20,3	2,8
								73	73	73	17,0	19,3	19,7	20,3	20,0	1,8
								80	80	79	17,2	18,9	19,4	20,1	19,9	1,7
							74	74	73	20,6	18,7	19,1	19,8	19,7	1,8	
							62	67	69	24,4	18,9	19,1	19,7	19,6	2,3	
							54	54	50	30,9	19,8	19,2	19,5	19,3	3,0	
							43	43	45	37,8	21,4	19,9	19,6	19,5	3,2	
							40	46	47	36,1	22,3	20,4	20,0	19,6	3,0	
							36	42	45	36,8	23,6	21,0	20,3	19,7	3,6	
							53	52	54	30,0	24,4	22,2	21,5	20,4	1,8	
							56	55	56	25,2	24,2	22,3	21,7	20,7	0,4	
							—	—	—	19,8	23,2	22,0	21,8	20,7	—	
							91	83	83	16,5	21,1	21,3	21,8	20,7	0	
							86	82	83	15,8	20,2	20,3	21,1	20,7	1,5	
							75	74	73	17,0	19,4	19,9	20,8	20,5	0,4	
							58	62	62	22,4	19,2	19,5	20,5	20,2	1,0	
							45	49	52	28,3	19,5	19,7	20,0	20,0	2,7	
							35	38	39	39,1	20,5	19,9	20,2	19,9	3,0	
							32	36	38	41,6	22,5	20,7	20,4	20,1	3,1	
							48	48	49	29,6	25,2	22,7	22,1	20,4	2,8	
							—	—	—	23,8	25,1	23,0	22,3	21,2	1,2	
							59	59	58	23,3	25,0	23,0	22,3	21,2	1,2	
							81	80	81	18,8	23,6	22,9	22,5	21,4	1,0	
							97	93	90	14,0	21,2	21,5	21,9	21,3	2,4	
							99	92	90	12,3	20,1	20,8	21,6	21,1	0,1	
							96	91	89	14,6	19,0	20,1	20,9	20,8	0	
							72	73	75	19,2	18,6	19,6	20,5	20,4	4,4	

51 Примечание. Высота травостоя (пшеницы) 90 см.

ТАБЛИЦА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ОРОШАЕМОГО УЧАСТКА (поле II)

Дата	Время	Температура воздуха			Абсолютная влажность воздуха, мб			Относительная влажность воздуха, %			Температура почвы					Скорость ветра, м/сек.	
		над почвой	над травостоем	над почвой	над травостоем	над почвой	над травостоем	над почвой	над травостоем	Глубина, см							
										20	20	20	50	0	5		10
час. мин.		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	50	50	50	50	50	50
30/VI	14 10	30,1	29,9	10,1	7,6	8,2	24	18	19	29,8	24,6	22,8	21,3	19,7	0,6		
	15 00	28,0	28,1	13,4	11,3	13,0	36	30	35	—	24,3	23,2	21,6	20,0	2		
	18 00	25,4	25,4	14,2	14,8	13,3	44	46	40	24,5	23,8	23,2	21,4	20,0	—		
3/VII	8 00	20,4	18,6	11,2	11,2	11,5	46	52	55	20,2	17,3	17,7	18,6	18,5	3,2		
	10 00	22,3	19,6	11,8	9,4	11,0	43	41	48	—	18,3	17,8	18,4	18,5	4,1		
	12 00	21,1	19,0	10,4	8,5	10,3	41	39	49	22,8	19,4	18,5	18,5	18,4	3,6		
	14 00	21,1	20,6	8,3	7,7	9,3	34	32	39	23,1	20,1	19,1	18,7	18,4	2,8		
	18 00	19,9	19,6	9,7	9,4	9,4	42	41	41	20,2	20,4	19,9	19,2	18,6	—		
	18 50	18,2	18,0	10,8	10,1	11,6	52	49	57	18,6	20,2	19,9	19,1	18,6	4,9		
4/VII	8 00	20,4	19,0	15,0	14,9	16,1	62	68	75	20,9	17,5	17,9	18,1	17,8	3,5		
	10 00	22,5	21,1	13,2	12,8	14,4	49	51	58	25,8	18,8	17,9	17,9	17,9	3,8		
	12 00	25,8	23,5	14,2	13,1	14,7	43	46	52	28,3	19,9	18,6	18,2	18,0	4,3		
	12 50	25,0	23,2	14,5	14,5	14,3	45	51	51	29,3	20,5	19,1	18,2	18,0	3,9		
	14 05	21,6	20,9	14,3	14,4	14,4	55	58	58	23,8	21,4	19,7	18,6	18,0	7,3		
	14 50	25,8	23,9	11,9	11,9	12,6	36	40	43	31,3	21,4	20,0	18,9	18,1	4,6		
	16 00	26,2	24,3	14,2	13,9	15,5	41	46	51	29,2	22,0	20,2	19,1	18,2	3,5		
	18 00	20,6	20,3	15,6	15,1	15,1	64	63	64	22,4	21,8	20,8	19,4	18,4	2,3		
5/VII	8 00	22,6	21,1	16,9	16,0	16,8	66	64	69	23,3	18,6	18,5	18,8	18,5	2,7		
	10 20	28,3	24,6	15,4	15,3	16,0	40	49	52	29,5	20,1	18,8	18,7	18,5	3,2		
	12 20	28,6	25,9	13,7	13,9	16,1	35	42	47	30,7	21,2	19,7	18,8	18,4	—		
	13 10	30,0	26,4	15,3	14,9	17,5	36	43	52	31,0	21,9	20,1	19,0	18,4	—		
	14 15	26,7	25,1	14,7	14,3	16,1	42	44	51	30,2	22,6	20,8	19,3	18,6	—		
	17 10	25,8	24,5	15,5	15,1	17,2	46	49	55	28,0	22,7	21,6	20,0	19,0	1,7		
	18 15	24,3	24,1	15,3	14,9	17,5	50	49	58	25,0	22,8	21,9	20,1	19,0	0,7		
	19 00	21,9	22,5	16,6	16,1	18,4	62	59	68	23,4	22,5	21,9	20,3	19,2	0,4		

Примечание. Высота травостоя (пшеницы) 115 см, 5/VII 100 см, так как пшеница поникла.

ТАБЛИЦА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НЕОРОШАЕМОГО УЧАСТКА (поле II)

Дата	Время час. мин.	Температура воздуха			Абсолютная влажность воздуха, мб			Относительная влажность воздуха, %			Температура почвы						Скорость ветра, м/сек.
		над почвой	над травостоем	над почвой	над почвой	над травостоем	над почвой	над почвой	над травостоем	над травостоем	Глубина, см						
											Высота, см						
		20	20	50	20	20	50	20	20	50	0	5	10	15	20		
30/VI	14 10	30,2	30,3	30,4	8,0	7,3	7,4	18	17	17	31,2	25,8	24,2	23,0	22,3	—	
	16 00	28,2	28,5	28,6	12,0	10,6	10,7	31	27	27	29,8	25,4	24,2	23,2	22,6	—	
	18 00	25,6	26,1	26,2	14,0	11,9	12,0	43	35	35	27,8	24,9	24,1	23,2	22,6	—	
3/VII	8 00	17,6	17,3	17,0	11,3	10,7	10,4	56	54	53	21,0	17,3	18,0	19,0	19,3	5	
	10 00	20,9	19,6	19,2	10,9	9,6	9,4	44	41	42	29,1	18,5	18,3	18,8	18,9	4	
	12 00	19,9	19,3	19,0	9,7	9,5	8,7	41	42	39	23,5	19,8	19,0	18,9	18,9	3,6	
	14 00	20,1	20,1	19,8	8,2	7,8	7,8	33	33	34	23,8	20,1	19,5	19,2	19,1	4,6	
	16 00	21,1	20,7	20,6	8,3	8,1	8,2	34	33	34	22,8	20,6	19,9	19,4	19,2	4,6	
	18 00	20,0	19,7	19,7	9,6	9,5	9,5	41	41	41	20,3	20,5	20,1	19,6	19,4	5	
4/VII	18 50	18,2	18,1	18,0	10,0	9,8	10,1	48	47	49	18,7	20,3	20,1	19,6	19,4	5,1	
	8 00	20,2	19,2	19,1	16,1	15,1	15,2	68	68	69	24,9	17,7	17,9	18,6	18,8	3,6	
	10 00	22,2	21,3	21,1	13,1	12,8	13,0	49	51	52	28,8	19,0	18,4	18,5	18,6	5,5	
	12 00	25,4	23,7	23,4	13,4	13,0	12,2	41	44	42	31,8	20,6	19,4	18,8	18,6	5	
	12 50	24,5	23,2	22,9	14,7	13,4	13,0	48	47	46	34,1	21,2	19,9	18,9	18,7	2,2	
	14 00	22,7	22,2	22,2	14,8	14,4	14,4	54	54	54	26,8	21,8	20,6	19,3	19,0	3,2	
5/VII	14 50	26,6	25,4	24,5	15,1	14,2	14,3	42	43	47	31,4	21,8	20,6	19,4	19,1	5,8	
	16 00	26,1	24,7	24,3	14,7	13,8	13,5	43	44	44	29,3	22,1	21,0	19,8	19,4	3,6	
	18 00	20,8	20,5	20,5	15,7	15,1	15,1	64	63	63	22,8	21,9	21,3	20,0	19,6	2,6	
	8 00	22,0	21,2	20,8	16,9	16,1	15,7	63	64	64	25,1	18,3	19,0	19,2	19,2	—	
	10 15	27,6	26,1	25,0	15,9	14,7	14,9	43	46	47	31,4	19,8	19,4	19,0	19,1	2,2	
	12 10	28,1	26,2	26,1	14,8	14,1	13,6	39	42	41	32,9	21,4	20,3	19,4	19,1	3,2	
5/VII	13 00	28,5	26,8	26,7	15,0	14,4	14,1	38	41	40	33,4	22,2	20,7	19,6	19,2	4,1	
	14 00	26,2	25,5	25,5	13,9	13,8	13,8	41	43	43	30,4	22,8	21,2	19,7	19,3	3,6	
	17 15	25,0	25,0	25,0	16,0	14,9	15,1	51	47	48	26,6	23,1	21,9	20,6	20,2	1,2	
	18 10	24,4	24,1	24,1	16,0	15,4	15,3	53	51	51	25,7	22,9	22,2	20,6	20,2	1,2	
	19 00	22,2	22,4	22,7	17,2	16,2	16,3	64	59	59	23,7	22,9	22,2	20,7	20,2	1,2	

Примечание. Высота травостоя (пшеницы) 100 см, 5/VII 90 см, так как пшеница поникла.

ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА В ЛЕСНЫХ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ПОЛОСАХ

Полезашитное лесоразведение является одним из важных звеньев сталинского плана преобразования природы засушливых районов нашей страны. На обширной степной территории этих районов создаются полезашитные лесные насаждения. В связи с этим возникает необходимость изучения микроклиматических условий внутри лесных насаждений как для оценки влияния лесных полезашитных полос на климат прилегающих полей, так и для изучения тех климатических условий, которые обеспечивают нормальное развитие древесной растительности внутри данного насаждения, определяют характер почвообразовательного процесса и оказывают влияние на многочисленных обитателей лесных полос (птиц, насекомых и др.), как полезных, так и вредных.

Изучению климатических условий лесных насаждений в степных районах до последнего времени уделялось мало внимания, и материалов в литературе по этому вопросу имеется немного, особенно мало данных о климатических условиях лесных полос, хотя вопрос об изучении климата леса не новый и ставился очень давно. А. И. Воейков, уделявший много внимания изучению климата леса [6, 7], еще в 1892 г. [8] указывал на необходимость постановки широких метеорологических наблюдений в различных лесах, на различных высотах и в различных климатических условиях и кроме стационарных проводить специальные „летучие наблюдения“.

В 1892 г. В. В. Докучаев, инициатор лесонасаждений в степных районах и руководитель Особой экспедиции [13], придавая большое значение изучению климатических условий внутри леса, организовал в Хреновском (Воронежская область) и Великоанадольском лесничествах метстанции в лесных массивах, так как лесных полос еще не было. Однако в условиях того времени метеорологические наблюдения не могли быть поставлены в необходимом объеме и, как отмечал А. И. Воейков, предлагавший широкое изучение климата леса, не соответствовали задачам и целям экспедиции [9].

Результаты метеорологических наблюдений в первых опытных лесничествах (Каменная Степь), обработанные Н. П. Адамовым, издавались в Трудах опытных лесничеств [2, 3]. В дальнейшем, как известно, начатые В. В. Докучаевым исследования почти совсем прекратились.

Широко развернулись полезашитные лесные посадки лишь при советской власти. В связи с этим началось изучение метеорологических условий полей, окруженных полезашитными полосами, например, производились исследования среди Росташевских [18], Тимашевских [14], Богдинских [19] лесных полос и в Великом Анадоле [11]. Результаты исследований большей частью изложены в изданиях Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации. Г. Н. Высоцкий [11] также (в 1938 г.) обобщил свои длительные исследования в этой области, в значительной мере, на основе наблюдений в Великом Анадоле.

Основные выводы полезашитного лесоразведения в 1948 г. были обобщены в книге „Агролесомелиорация“ [1]. Однако во всех упомянутых работах имеется очень мало сведений о климатических условиях внутри лесных полос.

В настоящей статье использованы материалы наблюдений за 1950 г. вновь организованных лесных гидрометстанций Гигант (Ростовская обл.), Деркул (Ворошиловградская обл.), Елшанка (Чкаловская обл.), а также материалы экспедиции ГГО в 1951 г. в Каменную Степь (Воронежская область); частично использованы и результаты наблюдений, произведенных ГГО в 1950 г. на лесной гидрометстанции Деркул, выводы из которых частично уже опубликованы в Трудах ГГО [4, 12], так же как и некоторые общие выводы по ст. Гигант [23].

Лесные гидрометстанции в 1950 г. только начали организовываться, и имеющийся в нашем распоряжении очень ограниченный материал не освещает всего вегетационного периода и дает возможность сделать лишь предварительные выводы.

Рассматриваемые лесные гидрометстанции расположены в различных районах, отличающихся по климатическим условиям. Лесогидрометстанция Гигант занимает наиболее южное положение из всех рассматриваемых станций (широта 46°). Она расположена на территории зерносовхоза Гигант, организованного в 1928 г. на целинных землях Сальских степей [5]. В настоящее время поля его окружены лесными полосами, в одной из которых (посадки 1938 г.) и проводились метеорологические наблюдения.

Лесогидрометстанция Деркул расположена несколько далее к северу (широта 49°) на водоразделе Дона и Донца на территории Института леса Академии наук СССР. Здесь еще в конце прошлого столетия в открытой ковыльной, полубурьянной степи В. В. Докучаевым были заложены первые лесные полосы [13].

Лесные полосы Каменной Степи находятся еще далее к северу (широта 51°) на водоразделе Волги и Дона на землях института земледелия им. В. В. Докучаева. Этот район также был выбран В. В. Докучаевым для полезационного лесонасаждения как характерный представитель степной полосы [13]. В настоящее время здесь имеется целая система лесных полос различного возраста, образующих клетки, внутри которых находятся поля.

Лесогидрометстанция Елшанка занимает наиболее северное положение (широта 53°). Она находится в степных условиях Заволжья. Лесные полосы, как и в Гиганте, сравнительно молодые. Они расположены на береговой террасе р. Самарки.

Наблюдения над температурой воздуха в основном производились по аспирационному психрометру на высотах 20 и 150 см в середине лесных полос, а в широких полосах Каменной Степи так же и на опушках; контролем служили данные пункта в середине поля, прилежащего к лесной полосе. В Гиганте, кроме того, определялась минимальная температура по термометрам, установленным в защите Г. М. Кудряшова [17].

Характерной особенностью погоды в период, предшествующий наблюдениям, и в начале наблюдений как в 1950 г. (Гигант, Деркул, Елшанка), так и в 1951 г. (Каменная Степь), было отсутствие в течение длительного времени сколько-нибудь заметных осадков, в результате чего почва была довольно сухой и влажность воздуха низкой.

В лесной полосе благодаря высокому древостою, кроны которого в значительной мере поглощают солнечную радиацию и являются излучающей поверхностью, под пологом создается особый гидрометеорологический режим, отличный от режима окружающих полей и степей [16, 20]. С другой стороны, адвекция воздуха с поля, хотя и ослабленная, возникающая в результате общего переноса или местной циркуляции и адвекции, приводит к выравниванию различий температуры воздуха лесной полосы и поля. Усиление или ослабление обмена, помимо общих погодных условий, зависит еще и от конструкции лесных полос. Большое влияние на обмен воздуха лесной полосы и поля в нижнем двухметровом слое оказывают опушки. Ясно, что плотные, густые опушки сильно ослабляют обмен. От конструкции лесной полосы в значительной мере зависит снегонакопление, которое обуславливает большую или меньшую влажность почвы в лесной полосе в начале лета и тем самым определяет испарение, а вместе с ним и температуру. Лесная подстилка, образовавшаяся из сухих листьев и веток, являющаяся для почвы термоизолятором, также оказывает большое влияние на теплообмен.

В лесной полосе основной деятельной поверхностью являются кроны деревьев, а также кроны подлеска и опушек и поверхность почвы. В зависимости от типа лесной полосы указанные составные части деятельной поверхности могут иметь большее или меньшее значение. В соответствии с этим гидрометеорологический режим внутри лесных полос разной конструкции может видоизменяться, поэтому прежде чем характеризовать термический режим внутри лесных полос, необходимо отметить особенности структуры каждой лесной полосы.

Лесная полоса в Гиганте, в которой производились метеорологические наблюдения, простиралась в направлении с севера на юг, ее окружали поля пшеницы. Это сравнительно молодая лесная полоса, посадки 1938 г., ширина ее 16,5 м (десятирядная), высота 5 м. Основными породами являются ясень, гледичия, изредка дуб; сопутствующими — клен ясенелистный, абрикос, груша; кустарниковые — скумпия, желтая акация, лох узколистный. Сомкнутость крон 1,0, однако кроны не очень плотные и солнечная радиация частично проникает на кустарники и поверхность почвы. Почва покрыта редким травостоем и сухой лесной подстилкой. Подлесок довольно густой. Полосу можно считать мало продуваемой, особенно в нижней ее части [23].

Контрольный пункт в середине поля находился в расстоянии 500 м к западу от лесной полосы. Учитывая небольшую высоту лесной полосы, можно считать, что данные этого пункта, вследствие значительного удаления от лесной полосы (расстояние, стократное высоте полосы), свободны от ее влияния. Поле было засеяно озимой пшеницей, находившейся в период наблюдений в фазе „цветение — молочная спелость“. Вследствие продолжительного засушливого периода пшеница в середине поля была довольно редкой и невысокой (около 40 см).

Лесные полосы Елшанки близки по конструкции к лесной полосе Гиганта и приблизительно такого же возраста (14—15 лет). Они имели высоту около 6 м, ширину 10 м, первая полоса была направлена с запада-северо-запада на восток-юго-восток, вторая, расположенная к югу от первой в расстоянии более 600 м, была направлена с запада на восток. Лесные полосы состояли из насаждений ясеня, карагача, клена ясенелистного, тополя и подлеска из желтой акации, высотой 1—1,5 м. Полосы по конструкции непродуваемые, однако, деревья имели неплотную крону, и, как и в Гиганте, прямая солнечная радиация частично проникала к поверхности почвы. Данные лесных полос сравнивались с пунктом в середине прилежащего поля, засеянного яровой пшеницей. Можно считать, что данные этого пункта, находящегося в значительном удалении от лесных полос (в расстоянии, 50-кратном высоте лесных полос), свободны от влияния последних. Поле имело небольшой уклон к югу и юго-западу.

Лесная полоса в Деркуле отличалась от рассмотренных выше полос Гиганта и Елшанки большей шириной и большей высотой деревьев. В противоположность предыдущим лесным полосам это было старое искусственное лесное насаждение (посадки 1902 г.), однако, вследствие порубок лесная полоса почти вся порослевая. Ширина полосы 60 м, высота деревьев первого яруса 10—12 м. Она простиралась в направлении с востока на запад на 500 м, примыкая на западе к лесному насаждению, с трех других сторон ее окружали пахотные поля. Лесная полоса состоит из насаждений дуба, береста и ясеня. Подлесок внутри полосы довольно редкий, опушки довольно густые, однако, в месте наблюдений они были вырублены. Кроны деревьев не сомкнуты и есть просветы, через которые на поверхность почвы проникает солнечная радиация. Почва покрыта сухой лесной подстилкой. По конструкции полосу можно считать непродуваемой.

Данные центральной точки в поле, примыкающем к лесной полосе с севера, расположенной в расстоянии 10—15-кратном высоте полосы от окружающих его с трех сторон лесных полос, не совсем свободны от воздействия последних. Поле было засеяно довольно редкой озимой пшеницей, в период наблюдений она находилась в фазе „цветение — молочная спелость“ и достигала высоты 50—60 см.

Можно считать, что условия подстилающей поверхности в полях Деркула и Гиганта близки, различие заключается в большей близости лесных полос к контрольному пункту в поле Деркула, что могло несколько отразиться на температуре воздуха.

В Каменной Степи имеются лесные полосы различного возраста. Представляло интерес в первую очередь рассмотреть термический режим внутри высоких мощных полос, поскольку в других пунктах имелись лишь сравнительно невысокие полосы. Лесные полосы, в которых производились наблюдения, находятся внутри системы лесных полос Каменной Степи.

Лесная полоса 26, простирающаяся в направлении с запада на восток, представляет старое искусственное насаждение, высота деревьев первого яруса 21—23 м, ширина ее без опушек 17 м, а вместе с опушками 27 м. Основные породы: ясень, дуб и клен. Внутри лесной полосы имеется густой подрост клена разной высоты (3—7 м), ясени и подлесок желтой акации. Вследствие порубок между старыми деревьями первого яруса местами большие промежутки, и узкие вытянутые кроны их не смыкаются, образуя просветы, так что плотность первого яруса можно считать не более 0,5. В вертикальном профиле лесной полосы видны просветы в средней и верхней частях ее, поэтому по конструкции полосу можно считать ажурной. Нижняя же часть ее, вследствие густого подроста и подлеска и широких опушек высотой 2—3 м, непродуваемая, плотность в нижнем ярусе 1,0. Солнечная радиация почти совсем не проникает к почве. Почва покрыта сухой лесной подстилкой.

Контролем служили данные пункта, находящегося в 185 м от лесной полосы в прилежащем с севера поле площадью 17 га, окруженного со всех сторон такими же лесными полосами, на стыках полос имелись прогалы. Данные этого пункта, находящегося в расстоянии, равном 9—10-кратной высоте лесных полос, не совсем свободны от влияния последних. Поле было засеяно овсом, травостой густой, высота его в период наблюдений была около 80 см, овес находился в стадии „колошения — цветение“. Характер подстилающей поверхности данного поля отличается от рассмотренных ранее большей густотой и высотой травостоя.

Лесная полоса 37 отличается от полосы 26 большей шириной. Ширина ее вместе с опушками была 60 м, без опушек 50 м. Деревья первого яруса, как и в полосе 26, достигали высоты 21—23 м. Это было также старое искусственное лесное насаждение, состоящее в основном из дуба, ясени и клена. Кроны деревьев первого яруса слабо развиты и несомкнуты, плотность верхнего яруса 0,4. Высокие деревья второго яруса (более 15 м) и высокий подрост клена (2—7 м) образуют полное затенение почвы, так что внизу плотность составляет 1,0. Опушки высотой 2—3 м несколько менее плотные, чем в лесной полосе 26. В вертикальном профиле лесной полосы просветов не видно, так что лесную полосу можно считать непродуваемой конструкции. Почва покрыта лесной подстилкой из сухих листьев и веток.

Контролем являлись данные точки в середине поля черного пара, находившейся в 200 м к югу от лесной полосы (т. е. в 10-кратном высоте лесной полосы расстоянии).

Поле площадью 25,5 га с четырех сторон окружали лесные полосы, которые не смыкались между собой. В направлении к юго-востоку поле понижалось и в этом углу его имелся большой разрыв в полосах, что способствовало оттоку холодного воздуха ночью в этом направлении.

Лесная полоса 111 представляет молодое, такого же возраста как полосы Гиганта и Елшанки, лесное насаждение, состоящее из березы, тополя, частью из ясени, клена, дуба и подлеска желтой акации. Ширина ее 15 м, высота деревьев около 10 м, кроны сомкнутые, опушек почти совсем нет и в вертикальном профиле внизу имеются просветы, полосу можно считать продуваемой. Почва покрыта лесной подстилкой (сухие листья), которая лежит очень неравномерно, местами совсем сдута. В прилежащем поле площадью 60 га (скошенная многолетняя травосмесь) контрольная точка находилась в расстоянии 8—10-кратном высоте лесной полосы, к югу от последней.

Рассматриваемые пункты, в которых производились наблюдения в лесных полосах, находятся в различных районах, а следовательно, и в различных климатических условиях. Лесные полосы также различаются по конструкции, высоте, ширине, возрасту, густоте крон и т. п. Следовательно, лесорастительные условия рассматриваемых лесных полос должны также различаться.

Необходимо отметить, что поля, в середине которых находились контрольные пункты, как следует из изложенного выше, различались размерами и характером подстилающей поверхности. В некоторых местах (Деркул, частично Каменная Степь) поля были недостаточно велики, и показания контрольных точек были не совсем свободны от воздействия лесных полос. Кроме того, поля различались и характером травостоя. Поскольку в поле деятельной поверхностью является не только поверхность почвы, но и травостой,

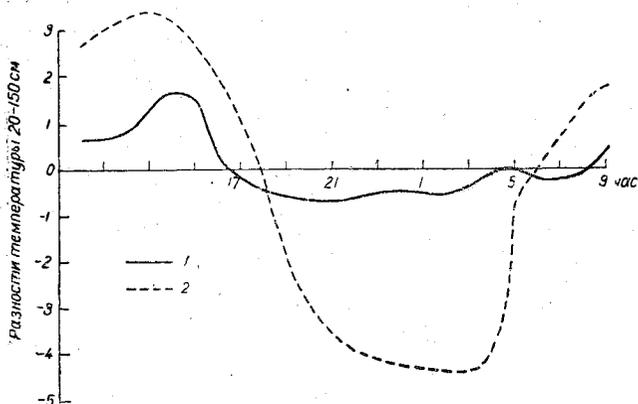


Рис. 1. Суточный ход разностей температуры воздуха на высоте 20—150 см в ясный день. Деркул.
1 — лесная полоса, 2 — поле.

представляет интерес сравнение градиентов, характеризующих распределение температуры по вертикали в нижнем слое воздуха. В качестве показателя были использованы разности температуры на высоте 20 и 150 см над поверхностью почвы (20—150 см). При большом радиационном балансе при ясной сухой со слабыми ветрами погоде прогревание почвы в поле усиливается, и градиенты возрастают. Различия термического режима различных объектов в этих условиях проявляются наиболее резко. Наоборот, при ослаблении радиационного баланса, при пасмурном небе и усилении ветра градиенты уменьшаются, и различия термического режима поля и лесной полосы сглаживаются. Поэтому в дальнейшем преимущественно рассматриваются дни с ясным или малооблачным небом.

Градиенты температуры воздуха в лесных полосах резко отличаются от градиентов в поле, как это видно из рис. 1 и 2, на которых для Деркула и Каменной Степи представлен суточный ход разностей температуры на высотах 20—150 см в ясные и малооблачные дни в условиях сухой погоды (июнь — июль).

В поле днем при положительном радиационном балансе в условиях сухой погоды, вследствие прогревания поверхности почвы и травостоя, а также сходом воздуха внутри травостоя, температура воздуха на 20 см всегда выше, чем на 150 см, причем наибольшие разности (3—4°) приходятся на полуденное время. Обратный ход температуры с высотой возможен лишь на орошаемом поле, в формировании термического режима которого основное значение имеет расход тепла на испарение и транспирацию. В остальное время суток, с вечера и до утра, удерживается

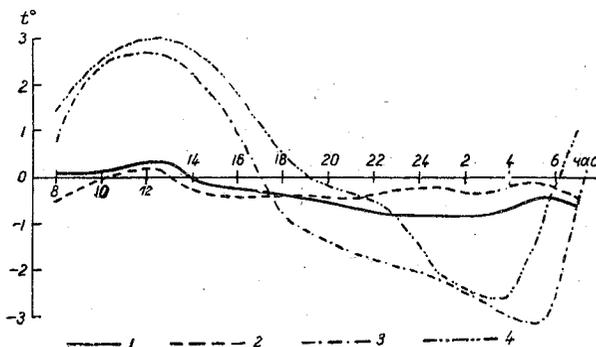


Рис. 2. Суточный ход разностей температуры воздуха на высоте 20—150 см. Каменная Степь.
1 — лесная полоса 26, 2 — лесная полоса 37, 3 — середина поля (овес), 4 — середина поля (черный пар).

инверсия температуры, причем к восходу солнца разности наибольшие и достигают 3—4°.

В лесных полосах кроны деревьев в той или иной степени изолируют поверхность почвы как от проникновения прямой солнечной радиации, так и от эффективного излучения. Поэтому распределение температуры по вертикали в приземном слое воздуха (1,5 м) в лесных полосах существенно отличается от поля. Большое значение имеет степень сомкнутости и густота крон, т. е. затененность. В лесных полосах градиенты малы. Кроме того, период с положительными градиентами сокращается в силу еще и того обстоятельства, что в лесных полосах, особенно ориентированных с запада на восток, утром и вечером при низком солнце радиация почти не проникает внутрь лесного насаждения. Ночью кроны деревьев, являясь излучающей поверхностью, охлаждаются; более холодный и тяжелый воздух от крон опускается вниз. Вследствие этого в лесной полосе ночью образуется изотермия или слабая инверсия.

Как видно на рис. 1 и 2, величина градиентов в лесных полосах различается. В лесных полосах Каменной Степи, вследствие большего затенения почвы под густым пологом крон деревьев и подроста, прямая солнечная радиация почти не проникает к поверхности почвы. Поэтому большую часть дня в лесной полосе в 1,5-метровом слое имеет место изотермия. В отдельные дни при усилении адвекции теплого воздуха с поля и в середине дня устанавливается инверсия температуры (см. табл. 9).

В лесной полосе Деркула, кроны которой не сомкнуты, в середине дня градиенты возрастают до 1,5°, очевидно, в это время солнечная радиация сквозь просветы в кронах проникает к поверхности почвы лесной полосы. Хотя градиенты и вдвое меньше, чем в поле, однако эта величина все же свидетельствует о том, что поверхность почвы до некоторой степени является деятельной поверхностью. Это подтверждается еще и тем, что температура поверхности почвы днем до 5° превышала температуру воздуха на высоте 20 см, тогда как в лесных полосах Каменной Степи температура поверхности почвы не отличалась от температуры воздуха, а иногда, при усилении адвекции теплого воздуха с поля, была даже ниже. Подобное распределению температуры по вертикали в Деркуле отмечено и в лесной полосе Великого Анадола [15], близкой по конструкции к указанной лесной полосе и также имеющей несомкнутые кроны, но ширина ее была вдвое меньше (30—35 м).

В среднем за месяц в лесной полосе Деркула температура на высоте 20 см на 1° превышала температуру на 150 см (см. табл. 6). Подобное распределение температуры по вертикали в среднем имело место и в Гиганте (см. табл. 1). Это указывает на то обстоятельство, что солнечная радиация сквозь слабо сомкнутые кроны и ажурную листву частично проникает под полог деревьев.

В результате своеобразия термических процессов в лесной полосе и в поле температура воздуха в них на одних и тех же высотах различается, причем в течение суток знак разностей меняется. Однако температура воздуха в лесу и в поле на близких расстояниях, как отмечал еще А. И. Воейков [7], уравнивается воздушными течениями, поэтому разности температур воздуха меньше, чем почвы. Еще быстрее выравнивает температуру адвекция в лесных полосах ввиду их большей продуваемости, которая в полосах различной конструкции будет различаться.

Рассмотрим конкретные температурные условия внутри указанных лесных полос.

В лесной полосе Гиганта наблюдения, проводившиеся с 1/VI по 10/VII, начались после продолжительного периода сухой погоды, способствовавшей высушиванию почвы в поле. В лесной полосе, вследствие большого снегонакопления зимой (высота снежного покрова в полосе достигала и даже превышала 1 м), запасы влаги в почве в период наблюдений могли быть больше, чем в поле, и большее испарение, наряду с другими причинами, могло способствовать в какой-то мере понижение температуры воздуха лесной полосы.

Температура воздуха в лесной полосе утром, днем и вечером в большинстве случаев (в 70—90%) ниже, чем в поле, ночью же всегда выше (см. табл. 2). Однако разности в среднем за весь период наблюдений невелики. Они наибольшие на

высоте 20 см и составляют всего 1° (табл. 1). На высоте 150 см, где обмен воздуха более интенсивный, различие температур сглаживается. Увеличение разностей на высоте 20 см в значительной мере связано с ослаблением обмена внутри травостоя в поле, так как разности с основной станцией, находящейся в поселке в 3 км от лесной полосы, почва которой была лишена растительности, меньше. При этом следует отметить значительное понижение температуры почвы лесной полосы, которая до глубины 10 см в среднем была на 5° ниже, чем в поле и на основной станции.

Таблица 1

Температура воздуха (средняя за период с 1/VI по 9/VII 1950 г.)
за разные сроки наблюдений (7, 13 и 19 час.)
Гигант

Место наблюдения	На высоте						Минимум на высоте травостоя	Градиент темпера- туры (20—150 см)		
	20 см			150 см				7	13	19
	7	13	19	7	13	19				
Лесная полоса	18,1	26,0	22,2	18,0	25,1	22,4	13,5	0,1	0,9	-0,2
Поле	19,1	26,9	22,6	18,6	25,2	22,8	12,5	0,5	1,7	-0,2
Разность	-1,0	-0,9	-0,4	-0,6	-0,1	-0,4	1,0	—	—	—
Основная станция	18,9	26,2	22,3	18,6	25,1	22,8	—	0,3	1,1	-0,5

Таблица 2

Повторяемость разностей температуры воздуха (лесная полоса — поле)
за разные сроки наблюдений (7, 13 и 19 час.), %
Гигант

Градации темпера- туры от до	На высоте						Минимум темпера- туры на вы- соте траво- стоя
	20 см			150 см			
	7	13	19	7	13	19	
3,1 4,0							5
2,1 3,0							13
1,1 2,0							18
0,6 1,0	3	11	5		11	3	20
0,0 0,5	14	12	24	10	14	12	44
-0,1 -0,5	28	22	33	49	32	48	
-0,6 -1,0	20	11	19	26	18	26	
-1,1 -2,0	28	28	16	10	11	11	
< -2,1	7	13		5	3		

Температура воздуха в лесной полосе наиболее понижена по сравнению с полем в жаркие дни (с температурой около 30°), с низкой влажностью воздуха при ветрах с южной или с северной составляющей, т. е. близких к направлению вдоль полосы. В такие дни разности на высоте 20 см достигают 2,5°, на 150 см, где обмен воздуха при сравнительно узкой полосе будет больше, различия сглаживаются. При ветрах, перпендикулярных направлению лесной полосы, разности с полем уменьшаются, так как в этих случаях обмен воздуха лесной полосы и поля происходит быстрее, чем при переносе вдоль полосы (табл. 3).

Ночью, в течение всего периода наблюдений, минимальная температура в лесной полосе всегда была выше, чем в поле (см. табл. 1 и 2). На высоте около 40 см (на высоте травостоя в поле) в среднем за все дни наблюдений разности составили 1°, ближе к поверхности почвы они были бы, конечно, больше, минимальная

Таблица 3

Разности температуры воздуха (лесная полоса — поле) в 13 час.
в наиболее жаркие дни
Гигант

Дата	Разности температуры воздуха		Температура воздуха в поле		Относительная влажность воздуха 150 см	Облачность	Скорость ветра, м/сек.
	150 см	20 см	150 см	20 см			
При ветрах вдоль лесной полосы							
19/VI	0,6	-2,6	28,4	31,7	26	10/1	3
20	-0,3	-2,3	33,4	36,4	17	5/4	3
26	-0,1	-1,7	28,0	29,4	34	8/8	3
27	-1,7	-2,6	29,2	30,7	31	10/10	2
3/VII	-0,3	-1,7	29,0	31,4	35	1/0	8
Средняя	-0,6	-2,2					
При ветрах, перпендикулярных лесной полосе							
11/VI	-0,5	-0,6	28,0	29,7	34	7/7	14
21	-0,4	-1,7	32,4	35,0	32	10/8	5
25	-0,6	-1,7	28,5	29,6	41	8/6	6
4/VII	-0,4	-0,3	29,5	31,6	23	0/0	5
5	-0,1	-1,3	28,0	31,1	23	8/0	3
8	0,1	-1,1	31,2	32,8	25	8/2	5
9	0,3	0,1	33,0	34,6	28	5/1	4
Средняя	-0,2	-0,9					

Примечание. Скорость ветра определялась на основной станции на высоте 9,5 м.

температура на поверхности почвы была в среднем почти на 2° выше, чем на основной станции.

При ясном небе, когда в поле усиливается эффективное излучение и температура поверхности почвы значительно понижается, в лесной полосе эффективное излучение под пологом крон мало и температура понижается меньше, в результате в такие ночи разности температур увеличиваются (см. табл. 4). При пасмурном небе различия температур невелики (0,2—0,5°). Как показали круглосуточные наблюдения в Деркуле (и можно предположительно отнести и к Гиганту), температура воздуха в лесной полосе (на высоте 20 см) выше, чем в поле, начиная от захода и до восхода солнца, т. е. при отрицательном радиационном балансе.

Характерно, что в ясные, но теплые ночи разности минимальных температур невелики, но в холодные ночи при адвекции или радиационном выхолаживании минимальная температура в поле значительно ниже (на 1,7° в среднем), чем в полосе, как это видно из табл. 4.

Таблица 4

Минимальная температура воздуха (на высоте травостоя) при ясном небе
Гигант

	Средняя		1/VI	2/VI	3/VI	4/VI
	в холодные ночи	в теплые ночи				
Лесная полоса	10,9	16,9	15,2	6,0	5,3	8,7
Поле	9,2	16,5	14,8	3,6	3,3	5,6
Разность	1,7	0,4	0,4	2,4	2,0	3,1
Число случаев	14	6				

В качестве примера приводится минимальная температура и за отдельные дни при адвекции холода (1—4/VI), когда разности температур были наибольшие (3°).

Как было подмечено во время наблюдений в Деркуле [12], более теплый воздух лесной полосы при определенных условиях погоды оказывает отопляющее влияние на прилежащее поле. В лесной полосе Гиганта густой подлесок и опушки препятствовали адвекции воздуха лесной полосы и поля, однако, и здесь имели место подобные случаи. Так, в приведенном примере в ясные холодные ночи в 4 случаях из 14 вблизи лесной полосы, в 10 м от нее (в расстоянии, 2-кратном высоте лесной полосы), температура была выше, чем в более удаленных участках поля. Но более часты случаи понижения температуры вблизи лесной полосы, в образующейся за нею зоне затишья.

В Елшанке в тот же период, с конца мая по июль 1950 г., в отдельные дни производились наблюдения в двух лесных полосах, преимущественно днем, реже утром и вечером. Данные отдельных наблюдений (отдельных отсчетов по психрометру) довольно сильно колеблются, что при небольшом числе случаев не дает возможности получить достаточно определенные выводы.

За 16 дней наблюдений в лесных полосах в середине дня температура на высоте 20 и 150 см большей частью была ниже, чем в поле, в первой лесной полосе в 60% случаев, во второй в 80—90%.

В дни с ясным и малооблачным небом при слабом и умеренном ветре в лесной полосе температура была ниже на 1,0—1,5° на высоте 20 см и только на 0,5° на высоте 150 см (в среднем за 6 дней). В день со штилем на высоте 20 см разности

были вдвое больше, т. е. при ослаблении адвекции разности температур лесной полосы и поля возрастают (табл. 5).

Неясна причина повышенной температуры воздуха в первой лесной полосе, так как по своей конструкции обе лесные полосы довольно близки, в дальнейшем это следует проверить. Возможно, что это явилось следствием того, что в первой лесной полосе, листва которой была повреждена вредителями, между кронами могли быть большие просветы, в ко-

торые проникала солнечная радиация, что при большом ослаблении ветра внутри лесной полосы могло привести к повышению температуры в ней. Г. И. Матякин, производя наблюдения среди Богдинских лесных полос в 1934 г., отметил, что в узкой, невысокой лесной полосе с изреженным древостоем температура воздуха была повышена по сравнению с открытым полем, тогда как в более плотных полосах этого не было [19].

Стационарные наблюдения в Елшанке производились лишь в конце вегетационного периода (с августа).

По данным наблюдений, произведенным на высоте 2 м в будках в сроки 7, 13 и 19 час., существенной разницы в температурах воздуха лесной полосы 1 и поля нет, в среднем за месяц (август и сентябрь) разности для указанных часов составляют 0,2—0,3°, что не имеет практического значения. Необходимо обратить внимание на тот факт, что показания термометров в будке, установленной в лесной полосе, вследствие ослабления вентиляции не совсем сравнимы с показаниями термометров в будке, установленной в поле. Произведенное в Деркуле [12] сравнение температуры в будке (на высоте 200 см) с аспирационным психрометром (на высоте 150 см) показало, что в лесной полосе днем в будке температура несколько повышена.

Таблица 5

Разности температуры воздуха в дни с малой облачностью
Елшанка

	Средняя разность		Разность при штиле	
	20 см	150 см	20 см	150 см
Лесная полоса 1—поле . . .	-0,9	-0,7	-2,3	-0,6
Лесная полоса 2—поле . . .	-1,6	-0,4	-2,4	-1,0

В Деркуле наблюдения начались так же, как и в Гиганте, — в июне 1950 г. Характерной чертой погоды предшествующего периода и в начале наблюдений являлась большая засушливость.

Таблица 6

Средняя температура и разности температур воздуха (лесная полоса — поле)
Деркул

Место наблюдений	Средняя температура				Градиент температуры			
	20 см	150 см	20 см	150 см	20—150 см			
	1 час		13 час.		1 час.	7 час.	13 час.	19 час.
Июнь								
Лесная полоса	12,7	12,8	23,9	22,9	-0,1	0,1	1,0	-0,3
Поле	11,0	12,3	24,7	22,7	-1,3	0,9	2,0	-0,6
Степь	10,6	12,2	24,3	22,8	-1,6	0,8	1,5	-0,7
Лесная полоса — поле	1,7	0,5	-0,8	0,2	—	—	—	—
Июль								
Лесная полоса	14,7	15,0	24,8	23,7	-0,3	-0,3	1,1	-0,2
Поле	13,6	14,6	25,3	23,6	-1,0	0,5	1,7	-0,3
Лесная полоса — поле	1,1	0,4	-0,5	0,1	—	—	—	—
Август								
Лесная полоса	13,3	13,8	24,3	23,4	-0,5	0,1	0,9	-0,3
Поле	12,5	13,8	24,8	23,3	-1,3	0,6	1,5	-0,4
Лесная полоса — поле	0,8	0,0	-0,5	0,1	—	—	—	—
Сентябрь								
Лесная полоса	11,7	12,1	22,6	22,0	-0,4	-0,1	0,6	-0,5
Поле	11,9	12,4	22,6	21,3	-0,5	0,1	1,3	-0,2
Лесная полоса — поле	-0,2	-0,3	0,0	0,7	—	—	—	—

В среднем за июнь (табл. 6, 7) разности температуры воздуха лесной полосы и поля такого же порядка, как в Гиганте. Это несколько неожиданно, так как лесная полоса в Деркуле значительно выше и шире лесной полосы в Гиганте, и можно было бы ожидать большего понижения температур. Очевидно, имеет большое значение неполная сомкнутость крон в лесной полосе Деркула, благодаря чему радиация проникает внутрь лесной полосы. Возможно, что имело значение и то обстоятельство, что в Гиганте, ввиду большого накопления снега внутри лесной полосы, влажность почвы была выше и более интенсивное испарение способствовало понижению температуры воздуха.

Так же как и в Гиганте, ночью при холодной адвекции и радиационном выхолаживании в лесной полосе Деркула температура наиболее повышена, по сравнению с полем, что видно из табл. 8.

Разности температуры лесной полосы и поля в наиболее холодные безоблачные со слабыми ветрами ночи в среднем составляют 3,5° на высоте 20 см и 1,5° на 150 см, а в отдельных случаях могут быть больше.

В отдельные дни в Деркуле проводились круглосуточные наблюдения с ежечасными

Таблица 7

Повторяемость разностей температуры воздуха (лесная полоса — поле) за июнь 1950 г., %
Деркул

Градации температуры от до	20 см		150 см	
	Часы			
	1	13	1	13
>4,1	10		3	
3,1 4,0	17		0	
2,1 3,0	10		7	7
1,1 2,0	17	3	20	13
0,6 1,0	20	3	13	17
0,1 0,5	12	26	19	22
-0,1 -0,5	8	22	25	15
-0,6 -1,0	3	3	13	17
-1,1 -2,0	3	30		6
-2,1 -3,0		13		3

отсчетами. На рис. 3 представлен суточный ход разностей температуры воздуха лесной полосы и поля при ясной сухой погоде со слабыми ветрами днем и штилем ночью.

В первые часы после восхода солнца (5—7 час.) в лесной полосе на всех высотах температура на 2,5—2,0° ниже, чем в поле. Днем на высоте 150 см температуры различаются мало, но на высоте 20 см в лесной полосе температура была на 2° ниже, чем в поле, т. е. разности такого же порядка, как в Гиганте в отдельные дни. Наиболее значительно различаются температуры ночью; в лесной полосе на высоте 150 см температура воздуха была на 2—2,5°, а на 20 см — на 7° выше, чем в поле. Такое большое различие температур лесной полосы и поля бывает крайне редко, в течение июня был всего один такой случай. Таблица 7 дает представление о повторяемости разностей температур воздуха лесной полосы и поля.

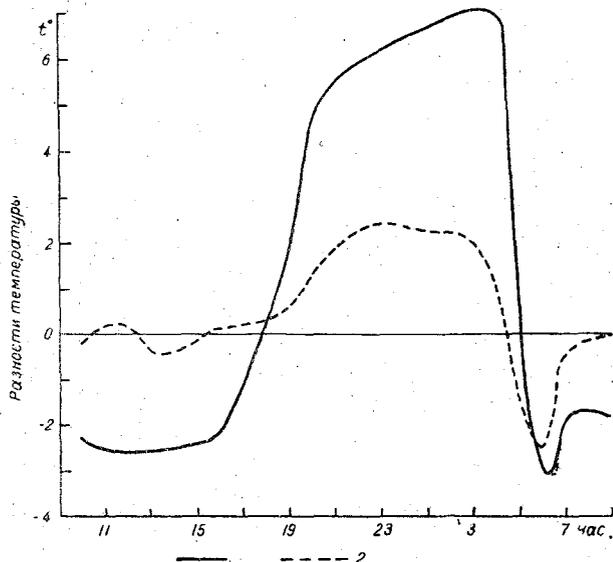


Рис. 3. Суточный ход разностей температуры воздуха (лесная полоса — поле) в ясные тихие дни. Деркул.
1 — на высоте 20 см, 2 — на высоте 150 см.

В табл. 6 приводятся также данные за другие месяцы. В июле и августе разности температур лесной полосы и поля днем были почти такие же, как и в июне, ночью же несколько уменьшились; возможно, что это частично связано с тем, что изменились условия подстилающей поверхности поля (пшеница была убрана).

В сентябре температуры поля и лесной полосы мало различаются, причем ночью, в среднем за месяц, в лесной полосе температура оказалась не только не выше, а даже ниже, чем в поле. Однако в наиболее холодные ночи, при адвекции холода, в лесной полосе температура была на 1,5—2,0° выше, чем в поле.

Таблица 8

Разности температуры воздуха (лесная полоса — поле) в наиболее холодные ночи со слабыми ветрами в 1 час. в июне 1950 г.
Деркул

Дата	Разности температуры		Температура воздуха в поле	Относительная влажность в поле	Облачность	Ветер (направление и скорость)
	20 см	150 см				
1	1,5	0,5	9,9	75	0/0	З 1,5
2	2,1	1,0	6,6	61	0/0	З 2
3	3,9	0,8	3,8	55	0/0	В 1
4	4,0	4,2	4,2	63	0/0	0
6	3,3	1,6	11,4	60	0/0	ЮЗ 2
9	4,7	2,2	7,6	48	0/0	В 2
15	1,0	-0,1	8,1	82	2/0	ЗЮЗ 2
17	2,9	0,3	8,1	90	0/0	0
18	6,4	2,1	11,2	59	0/0	0
19	4,6	1,6	13,6	61	0/0	0
20	4,0	1,3	15,3	64	0/0	ЮЗ 2
27	3,5	1,6	14,0	92	0/0	0
Средняя . . .	3,5	1,4	9,6	68		

Термический режим внутри лесных полос 26 и 37 в Каменной Степи, вследствие большого затенения почвы густым без просветов пологом крон деревьев и подраста, существенно отличается от режима рассмотренных выше лесных полос, в которых солнечная радиация все же в какой-то мере проникала внутрь насаждения. Из рассматриваемых лесных полос, полоса 37 была вдвое шире полосы 26.

Наблюдения проводились в лесной полосе 26 с 19 по 28/VI и в лесной полосе 37 с 9 по 15/VII 1951 г., также в условиях засушливой погоды, при ясном или малооблачном небе, т. е. при большом радиационном балансе. Температура воздуха в отдельные дни превышала 30° , относительная влажность падала до 20% и ниже.

Как уже отмечалось выше, в лесных полосах 26 и 37 солнечная радиация к почве почти не проникала, и градиенты температуры в нижнем слое воздуха (20—150 см) были малы, а часто отмечалась и инверсия вследствие адвекции более теплого воздуха с поля. Температура поверхности почвы днем часто оказывалась ниже температуры воздуха, ночью же всегда была выше.

Понижение дневной и повышение ночной температур по сравнению с полем (овес) в лесной полосе 26 было наибольшим из всех рассматриваемых лесных полос; большим, чем в более широких полосах — в полосе 37 Каменной Степи и в Деркуле.

В период наблюдений днем (с 7 и до 18 час.) температура воздуха в лесной полосе 26 всегда была ниже, чем в поле; в полуденное время разности в среднем составляли 4° на высоте 20 см и $1,5^{\circ}$ на высоте 150 см.

В качестве примера на рис. 4 представлен суточный ход разностей температуры воздуха лесной полосы и поля за день (26—27/VI) с ясным небом, с температурой днем около 25° , ночью ниже 10° , с низкой влажностью и слабыми ветрами.

Таблица 9

Градиент температуры воздуха (20—150 см). Середина лесной полосы 26
Каменная Степь

Время, час. мин.	19/VI	20/VI	21/VI	22/VI	23/VI	25/VI	26/VI	27/VI	Средний
08 00	—	0,4	0,0	-0,6	0,0	0,2	-0,1	0,1	0,0
10 00	-0,4	0,8	0,6	-1,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1
12 00	0,1	0,8	0,4	-0,2	0,4	0,5	0,3	-0,1	0,3
12 50	0,6	0,8	0,2	-0,1	0,0	0,4	0,1	0,5	0,3
14 00	-1,0	0,4	0,3	-1,1	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,1
16 00	-0,2	0,4	0,4	-0,2	0,1	-0,1	-0,3	-0,9	-0,1
18 00	-1,1	-0,4	-0,6	-0,4	-0,1	0,1	-0,5	-1,1	-0,5
18 50	-1,1	-0,3	-0,7	-0,2	-0,1	0,1	-0,1	-1,0	-0,4
21 00	—	—	—	—	—	-0,2	-0,7	-0,9	-0,6
23 00	—	—	—	—	—	-0,4	-1,2	-0,8	-0,8
01 00	—	—	—	—	—	-1,0	-0,3	-1,1	-0,8
03 00	—	—	—	—	—	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
05 00	—	—	—	—	—	-0,2	-0,4	-0,6	-0,4
07 00	—	—	—	—	—	-0,4	-0,2	-1,2	-0,6

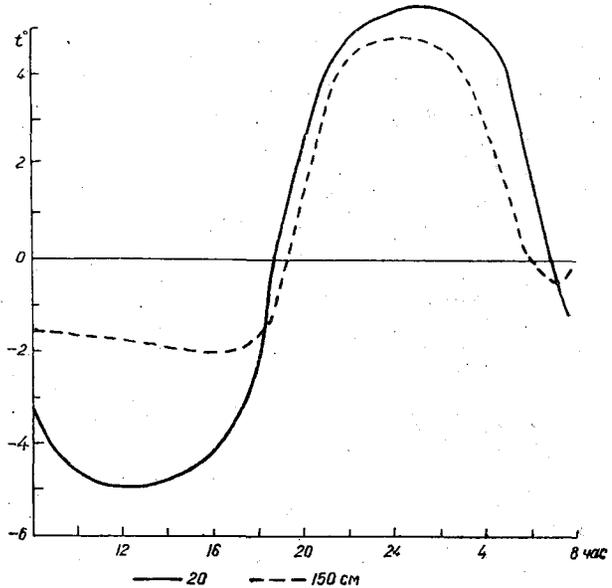


Рис. 4. Суточный ход разностей температуры воздуха (лесная полоса 26 — середина поля, овес). Каменная Степь.

1 — на высоте 20 см, 2 — на высоте 150 см.

Ночью в лесной полосе всегда было заметно теплее, чем в поле (овес), на высоте 20 см разности достигали 6°, на высоте 150 см 5° (табл. 10). Температура поверхности почвы при этом в лесной полосе всегда была выше температуры воздуха.

Таблица 10

Разности температуры воздуха лесной полосы 26 (середина) и поля (10-кратное расстояние от полосы)

Время, час. мин.	19/VI		20/VI		21/VI		22/VI		23/VI		25-26/VI		26-27/VI		27/VI		Средняя	
	Высота, см																	
	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150
08 00	—	—	-1,2	-1,1	-1,1	-0,6	-1,5	-0,4	-0,7	-0,4	-1,6	-0,7	-3,2	-2,2	-1,6	-0,1	-1,6	-0,8
10 00	-1,1	-0,4	-1,7	0,3	-1,2	0,1	-7,2	-3,2	-2,9	-1,7	-3,0	-1,2	-4,9	-1,4	-4,4	-1,1	-3,3	-1,1
12 00	-3,7	-1,4	—	—	-2,0	0,6	-5,4	-1,3	-3,0	-1,4	-3,1	-1,5	-5,0	-1,4	-5,7	-0,9	-4,0	-1,0
12 50	-3,5	-1,7	-2,0	-0,1	-3,2	-0,8	-4,4	-0,8	-3,4	-1,2	-3,6	-2,1	-3,4	—	-3,7	-0,5	-3,4	-1,1
14 00	-4,1	-2,1	-2,1	0,1	-3,8	-1,5	-4,6	-2,3	-2,6	-1,0	-3,8	-1,3	-4,8	-1,9	-4,8	-1,5	-3,8	-1,4
14 50	—	—	—	—	—	—	-2,6	-1,1	—	—	-3,4	-1,4	-3,0	—	-5,0	-1,9	-3,5	-1,5
16 00	-2,7	-1,9	-1,0	-0,7	-0,9	-0,2	-2,3	-1,0	-1,1	-0,4	-2,2	-1,1	-4,3	-2,1	-3,6	-1,2	-2,3	-1,1
18 00	-0,9	-1,7	0,8	0,2	1,1	-0,7	-0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	-2,2	-2,4	-1,7	-1,1	-0,4	-0,7
18 50	0,4	-1,0	3,3	0,5	2,4	0,6	0,1	-0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	1,0	-0,7	0,8	-0,2	1,0	-0,1
21 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	0,1	4,4	3,8	—	—	2,6	2,0
23 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,1	0,4	5,1	4,3	—	—	3,1	2,4
01 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,6	4,0	6,2	5,4	—	—	5,4	4,7
03 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,6	4,6	5,3	4,2	—	—	6,0	4,4
05 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5	0,7	4,0	1,3	—	—	-3,8	-1,0
07 00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-3,2	-2,8	-0,5	-0,6	—	—	-1,9	-1,7

Выходящий из лесной полосы воздух, отличающийся по температуре от окружающего, оказывает влияние на распределение температуры вблизи полосы. Так, в ночь с 26 на 27/VI при ветрах от полосы 26 (ЮВ 1 на основной станции) и ясном небе температура воздуха на расстоянии, 2-кратном высоте полосы, была на 1—2,5° выше, чем в середине поля.

Влияние теплообмена более теплого воздуха лесной полосы и более холодного воздуха поля наблюдалось и в других пунктах. В Деркуле [12] в ясную ночь при штиле вблизи лесной полосы было теплее, чем в середине поля. Проявление отопляющего влияния лесных полос в значительной мере зависит от характера опушек, на что указывал еще Г. Н. Высоцкий [11], наблюдая распределение минимальных температур в Великом Анадоле. На небольших открытых местах среди сомкнутого древостоя (прогалах) при отсутствии значительного подлеска и закрытых опушек ночное понижение температуры было слабее, чем на открытом поле. На полянах же, окруженных густыми опушками, понижение температуры, по сравнению с открытым полем, значительно больше.

Как следует из всего изложенного выше, в лесной полосе 26 (табл. 9, 10), вследствие большей затененности, создается отличный от поля термический режим, характеризующийся более сглаженным суточным ходом температуры. Суточная амплитуда температуры воздуха на высоте 20 см в лесной полосе 26 Каменной Степи была на 10° меньше, чем в поле (овес).

Для более широкой непродуваемой лесной полосы 37 на рис. 5 представлены разности с температурой поля черного пара за сутки со слабым ветром днем и штилем ночью. В лесной полосе 37 днем температура была на 4° ниже, чем в поле (черный пар) на высоте 20 см и на 1° на высоте 150 см. Разности лишь немного меньше, чем для лесной полосы 26. Ночью же различие с полем меньше, чем для лесной полосы 26. На высоте 20 см разности температуры воздуха лесной полосы и поля составляли всего 1°. Это отчасти связано с различной подстилающей поверх-

ностью полей (в первом поле овес, во втором — черный пар), теплоотдача черного пара больше, чем в поле с овсом. Кроме того, холодный воздух поля мог стекать, вследствие понижения поля, в направлении к юго-востоку. Во всяком случае разности ночью оказались не больше, а меньше, чем для полосы 26. Следовательно, в более широкой (60 м) непродуваемой лесной полосе 37 ход температуры не более сглаженный, чем в менее широкой (30 м) лесной полосе 26. Можно предположить, что для широких полос увеличение ширины полосы (в данном случае даже вдвое) не дает существенного эффекта в режиме температуры внутри лесной полосы.

Этот вывод предварительный и нуждается в проверке, которая может быть проведена лишь путем параллельных наблюдений в интересующих лесных полосах или же посредством сравнения с данными какой-либо одной точки. Ввиду отсутствия таких наблюдений мы были вынуждены сравнивать температурные условия каждой лесной полосы с данными прилежащих полей. Однако поля имели различные подстилающие поверхности, что могло существенно отразиться на распределении температуры воздуха.

Имеющаяся основная станция в Каменной Степи находилась на значительном расстоянии (около 4 км), и наблюдения на ней велись только в срочные часы в метеорологической будке на высоте 2 м.

Все же для ориентировки в табл. 11 приводятся разности температуры воздуха лесных полос 26 и 37 и основной станции за 13 час. Как видно из таблицы, разности температур обеих полос приблизительно одного порядка.

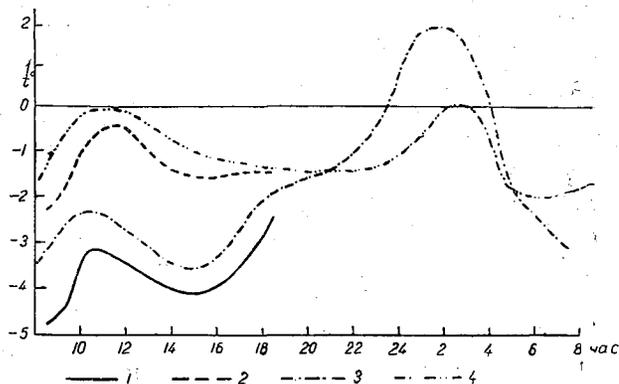


Рис. 5. Разности температуры воздуха (лесная полоса 37 — середина поля, черный пар). Каменная Степь.
1 — на высоте 20 см, 10/VII; 2 — на высоте 150 см, 10/VII; 3 — на высоте 20 см, 14—15/VII; 4 — на высоте 150 см, 14—15/VII.

Таблица 11

Температура воздуха в 13 час. на основной станции
(в будке на высоте 2 м) и в середине лесных полос
(на высоте 150 см)

Каменная Степь

Дата	Лесная полоса 26	Основ- ная станция	Раз- ности	Дата	Лесная полоса 37	Основ- ная станция	Раз- ности
Июнь				Июль			
19	22,1	24,0	-1,9	9	26,2	26,3	-0,1
20	28,0	27,7	0,3	10	28,8	29,3	-0,5
21	29,6	30,0	-0,4	12	32,9	32,8	0,1
22	31,0	32,4	-1,4	13	28,2	26,6	-0,4
23	25,2	25,7	-0,5	14	29,5	30,3	-0,8
25	19,2	19,8	-0,6				
26	22,4	21,8	-0,6				
27	25,4	25,9	-0,5				

Для лесной полосы 111, более узкой и продуваемой и менее затененной разнице температуры воздуха с полем меньше, чем для полос 26 и 37. На высоте 20 см в лесной полосе утром температура (6—8 час.) до 4°, а днем до 2° ниже, чем в поле; ночью же до 3° выше, чем в поле. Разности на высоте 150 см не-

велики, в пределах $0,5^\circ$, за исключением часов после восхода солнца (6—8 час.); когда они возрастают до 3° .

Эти данные приводятся за первый день наблюдений, в который сохранялся тот же характер погоды, что и при наблюдениях в предыдущих лесных полосах: почти безоблачный день с высокой температурой (34°) и низкой относительной влажностью (20%). В последующие дни характер погоды резко изменился, начался период грозových дождей, поэтому данные за эти дни не приводятся.

Все изложенное выше о термическом режиме лесных полос относилось к середине полос. Представляет интерес рассмотреть распределение температуры воздуха не только в середине лесной полосы, но и в различных точках ее. В лесных полосах 26 и 37 Каменной Степи проводились наблюдения еще и на обеих опушках в расстоянии 2 м от края полосы.

В широких с большим затенением лесных полосах 26 и 37 днем в результате адвекции теплого воздуха с поля, которая, несмотря на значительное снижение скорости ветра внутри лесных полос (скорости ветра менее 1 м/сек.), все же имеет место, создается своеобразное распределение температуры по горизонтали внутри лесной полосы.

Высокие деревья лесной полосы, затеняя северную опушку с юга, оказывают большее влияние на ход температуры на ней, чем на южной опушке. Вследствие этого радиационный приток тепла на северной опушке меньше, чем на южной, о чем свидетельствуют пониженные температуры поверхности почвы на северных опушках и повышенные на южных в лесных полосах 26 и 37.

На северной опушке лесной полосы 26 температура воздуха большей частью была ниже, чем на южной, но в зависимости от направления адвекции соотношение температуры менялось.

При ветрах с южной составляющей, когда на южную опушку поступает прогретый воздух с поля, различие температур внутри полосы 26 было наиболее велико. Примером может служить день 27/VI, когда разности температуры воздуха на опушках, т. е. на расстоянии 25 м, достигали 3° . Температура поверхности почвы (табл. 9) при этом была ниже температуры воздуха, следовательно имела место адвекция более теплого воздуха с поля. Воздушный поток при движении через полосу охлаждался, влажность его увеличивалась (табл. 12 и рис. 6).

Рис. 6. Распределение температуры, абсолютной и относительной влажности воздуха в лесной полосе 26 при южных ветрах. Каменная Степь.

1 — на высоте 20 см, 2 — на высоте 150 см.

Подобное распределение температуры внутри лесной полосы 26 было и в другие дни: 20/VI, а также 21/VI при более слабых ветрах с южной составляющей и 19/VI при умеренной силы ветрах с восточной составляющей.

Интересен ход температуры 22/VI. При слабых ветрах восточного направления северная опушка в 12—13 час. была холоднее южной на $3-4^\circ$. При повороте ветра к северо-северо-востоку и при усилении его (на основной станции 9 м/сек.) в 14—18 час. соотношение температуры изменилось: северная опушка стала теплее (на $0,5^\circ$) южной. В данном случае скорости ветра были большие, при более слабом ветре, естественно, разности температуры были бы больше. 23 и 25/VI при сильных ветрах с северной составляющей (ССВ 12 м/сек.) на южной опушке температура такая же, как и на северной.

Ночью (наблюдения проводились только в течение трех ночей) во всех случаях северная опушка была наиболее холодной в связи с тем, что поверхность почвы на ней была менее прогрета, хотя температура поверхности почвы была на $1-2^\circ$ выше температуры воздуха на 20 см.

Ночью (наблюдения проводились только в течение трех ночей) во всех случаях северная опушка была наиболее холодной в связи с тем, что поверхность почвы на ней была менее прогрета, хотя температура поверхности почвы была на $1-2^\circ$ выше температуры воздуха на 20 см.

Температура и влажность воздуха в лесной полосе 26, 27/VI (днем)
Каменная Степь

Место наблюдений	Температура				Абсолютная влажность				Относительная влажность			
	14 час.		16 час.		14 час.		16 час.		14 час.		16 час.	
	Высота, см											
	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150
Южная опушка	26,9	26,8	26,4	26,7	6,7	6,7	6,2	5,6	19	18	18	16
Середина полосы	24,9	25,0	24,3	25,2	7,7	7,6	7,5	6,4	24	24	25	20
Северная опушка	23,9	24,1	22,2	22,5	9,4	8,5	10,7	8,6	31	28	40	31
Разность между южной и северной опушками	3,0	2,7	4,2	4,2	-2,7	-1,8	-4,5	-3,0	-12	-10	-22	-15

Внутри широкой лесной полосы 37 температура также неодинакова. В результате большего проникновения солнечной радиации к почве на южной опушке градиент температуры воздуха на высоте 20—150 см больше ($0,8^\circ$), чем в середине полосы ($0,2^\circ$) и на северной опушке (изотермия и инверсия). Можно было бы ожидать и более высокой температуры воздуха на южной опушке, чем на северной. Однако и в данной, более широкой, непродуваемой лесной полосе адвекция оказывает заметное влияние на распределение температуры. В течение всего периода наблюдений преобладали ветры с северной составляющей, поэтому большую часть дней на южной опушке температура была не только не выше, а даже ниже, чем на северной. Только в полдень, когда прямая радиация при высоком солнце частично проникала сквозь листву кроны, на южной опушке температура воздуха была несколько повышена или такая же, как в середине лесной полосы. Во вторую половину дня южная опушка оказывалась наиболее холодной, разности температур воздуха на северной и южной опушках достигали 2° . В табл. 13 в качестве иллюстрации изложенного приводится температура воздуха в разных точках лесной полосы за день 14/VII.

Таблица 13

Температура воздуха в лесной полосе 37 14/VII (днем)
Каменная Степь

Место наблюдений	12 час.		14 час.		16 час.		18 час.	
	Высота, см							
	20	150	20	150	20	150	20	150
Южная опушка	30,0	29,3	31,0	30,4	30,1	29,7	28,4	28,6
Середина полосы	29,1	29,0	30,6	30,7	30,2	30,5	29,7	30,0
Северная опушка	29,0	28,8	30,9	30,9	31,0	31,1	30,1	30,4
Разность между южной и северной опушками	1,0	0,5	0,1	-0,5	-0,9	-0,4	-1,7	-1,8
Середина поля	32,0	29,1	33,6	31,2	33,5	31,7	31,6	30,7

Ночью наиболее холодной была северная опушка, на которой почва днем меньше прогревалась, следовательно и поступление тепла из почвы было ночью меньше, чем на южной, холодный же воздух с поля легко подтекал под высокими кустами опушки. В период наблюдений преобладали ветры с северной составляющей, следовательно и ночью, хотя ветер ослабевал (скорости ветра по анемометру были около 0), все же направление общего переноса сохранялось. Во время ночных наблюдений определенно чувствовалась тяга холодного воздуха с поля на северную

опушку. К сожалению, в условиях засушливой погоды нельзя было воспользоваться дымовыми шашками для определения направления движения воздуха в лесной полосе.

В табл. 14 для 3 час. приводится температура за отдельные ночи, откуда видно, что разности температуры воздуха на северной и южной опушках на высоте 20 см достигали -3° , на высоте 150 см -1° .

Таблица 14

Температура воздуха в лесной полосе 37 в отдельные ночи
(3 часа)

Каменная Степь

Место наблюдений	14/VII			15/VII		
	20 см	150 см	градиент температуры (20—150 см)	20 см	150 см	градиент температуры (20—150 см)
Северная опушка . .	12,6	15,1	-2,5	14,8	17,0	-2,2
Середина полосы . .	14,5	15,8	-1,3	17,4	17,9	-0,5
Южная опушка . . .	15,4	15,7	-0,3	18,2	18,1	0,1
Разность между северной и южной опушками .	-2,8	-0,6		-3,4	-1,1	

Все изложенное выше подтверждает высказанные в начале статьи предположения, что термический режим лесной полосы находится в большой зависимости от типа последней.

Наиболее сглаженный суточный ход температуры с малой суточной амплитудой температуры, т. е. более „лесной“, характерен для наиболее мощных лесных полос Каменной Степи вследствие большой затененности густым пологом крон. Разности температур лесной полосы 26 и поля днем достигали 2° на высоте 150 см и 5° на высоте 20 см, ночью $4-5^{\circ}$ соответственно, а суточная амплитуда температуры в лесной полосе по сравнению с полем уменьшалась на $6-10^{\circ}$, следовательно, в лесной полосе кривая суточного хода температуры была более сглаженной, чем в поле.

Формирование термического режима лесных полос в основном определяется следующими важными факторами.

Местное ослабление солнечной радиации и эффективного излучения под древесным пологом приводит к снижению дневных и повышению ночных температур.

Ослабление скорости ветра внутри лесной полосы уменьшает обмен и турбулентное перемешивание, что в отдельных лесных полосах с сильно изреженным древостоем, мало препятствующим проникновению солнечной радиации, может привести даже к повышению температуры днем.

Адвекция воздуха с поля, которая в значительной мере зависит от конструкции лесной полосы, выравнивает различия температуры лесной полосы и поля, а тем самым лесные полосы оказывают непосредственное воздействие на термический режим прилежащих участков поля.

Помимо этих имеют значение и другие факторы, как, например, отличный от поля покров почвы, иная влажность почвы и др.

Из всего изложенного также следует, что для формирования климата лесных полос имеет значение не только их конструкция, определяемая по степени продуваемости вертикального профиля полосы (продуваемая, ажурная, непродуваемая), но в значительной мере и другие факторы, указанные в статье С. А. Сапожниковой [21]. Из них, как это подтвердилось при рассмотрении приведенных выше данных, большое значение имеет общая сомкнутость крон (суммарная сомкнутость всех ярусов в проекции на горизонтальную поверхность), т. е. степень затененности. Примером является лесная полоса 26 (Каменная Степь), в которой при ажурности в вертикальном профиле почва была полностью затенена.

Поэтому при дальнейшем изучении климата лесных полос следует их типизировать, учитывая все факторы, определяющие климатический режим внутри полосы.

Необходимо проводить наблюдения как над радиационным режимом, так и над другими метеорологическими элементами, не только в середине лесной полосы, но и на опушках и на различных высотах над поверхностью почвы (под кронами, в кронах). Необходимо найти способы для прослеживания адвекции воздуха внутри лесной полосы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроресомелиорация. Сельхозгиз. М., 1948.
2. Адамов Н. П. Метеорологические наблюдения в опытных лесничествах. Труды Опытных лесничеств. Научный отчет, т. 1, СПб., 1901.
3. Адамов Н. П. Температура и влажность воздуха в лесу. Труды Опытных лесничеств, вып. 1, 1902.
4. Архипова Е. П. К вопросу о температуре почвы в лесных насаждениях. Труды ГГО, вып. 30, 1951.
5. Бойко Ф. А. Первый зерносовхоз. Сельхозгиз, 1949.
6. Воейков А. И. О влиянии лесов на климат. Природа и охота, № 4, 1878.
7. Воейков А. И. Климаты земного шара. Избранные сочинения АН СССР, т. I, М.—Л., 1948.
8. Воейков А. И. По вопросам лесной метеорологии. Метеорол. Вестник, 1892.
9. Воейков А. И. Особая экспедиция. Метеорол. Вестник, 1893.
10. Воейков А. И. Наблюдения в поле и лесу в Воронежской и Екатеринославской губерниях. Метеорол. Вестник, 1901.
11. Высоцкий Г. Н. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. Гидролестехиздат, М., 1938.
12. Глебова М. Я. Некоторые особенности режима температуры и влажности воздуха в лесных насаждениях и в поле. Труды ГГО, вып. 30, 1951.
13. Докучаев В. В. и Сибирцев. Труды экспедиции, снаряженной лесным департаментом, под руков. проф. Докучаева, СПб., 1894.
14. Карузин Г. В. и Шестоперов Г. П. Опыт изучения узких лесных полос в Тимашевском участке Куйбышевского края. Сборник „Полезачитные полосы“, вып. VI. Всесоюзн. НИИ агролесомелиорации, М., 1936.
15. Колосовская М. Я. Некоторые микроклиматические особенности полезачитных лесных полос Мариупольского лесничества ХГУ, Ученые записки № 18, Харьков, 1940.
16. Короткевич В. Н. Обзор работ по изучению микроклимата. Труды ГГО, вып. 6, 1936.
17. Кудряшов Г. М. Защита для предельных термометров. Труды ГГО, вып. 30, 1951.
18. Матякин Г. И. О влиянии лесных полезачитных полос на микроклимат. Сборник „Полезачитные лесные полосы“, вып. VI. Всесоюзн. НИИ агролесомелиорации, М., 1936.
19. Матякин Г. И. Полезачитные полосы в зоне полупустыни и их влияние на микроклимат межполосных пространств. Сборник „Полезачитные лесные полосы“. Всесоюзн. НИИ агролесомелиорации, М., 1937.
20. Сапожникова С. А. Микроклимат и местный климат. Гидрометеоздат, Л., 1950.
21. Сапожникова С. А. К вопросу о типизации лесных насаждений как климатообразующего фактора. Труды ГГО, вып. 30, 1951.
22. Скородумов А. С. и Смалько Я. А. Влияние защитных лесных насаждений на элемент водного баланса почв. Украинский НИИ агролесомелиорации и лесного х-ва. Труды по агролесомелиорации. Научный отчет 1948. Киев — Харьков, 1950.
23. Смирнова С. И. Особенности метеорологического режима лесной полосы по наблюдениям лесной гидрометстанции Гигант. Труды ГГО, вып. 30, 1951.
24. Юдин М. И. Влияние лесных полос на турбулентный обмен и оптимальная ширина полос. Сборник „Вопросы гидрометеорологической эффективности полезачитного лесоразведения“, Гидрометеоздат, Л., 1950.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ

Для характеристики влажности воздуха внутри лесных полос мы располагаем данными лишь для высот 20 и 150 см, которые не могут дать полную оценку режима влажности воздуха в полосах, так как кроны деревьев, интенсивность транспирации которых определяет в основном особенности этого режима, расположены значительно выше рассматриваемого слоя.

Тем не менее анализ режима влажности воздуха на этой высоте представляет интерес, так как он позволяет оценить условия, в которых развиваются молодые растения и происходит испарение с поверхности почвы и травостоя.

В основу характеристики положено сопоставление влажности воздуха лесных полос и поля по материалам наблюдений лесных гидрометстанций Гигант и Деркул за вегетационный период 1950 г.

Подробное описание рассматриваемых лесных полос дано в статьях Е. П. Архиповой „Влияние лесных полос на режим температуры почвы“ и М. Я. Глебовой „Температура воздуха в лесных полезащитных полосах“ (см. настоящий сборник).

Почва в полосе лесогидрометстанции Деркул покрыта сухой лесной подстилкой, травяного покрова нет. Следует отметить, что ввиду значительной ширины полосы и малоснежной зимы высота снежного покрова в центре полосы была небольшой, благодаря чему уже в июне влажность почвы была незначительной.

Наблюдения производились в середине лесополосы и межполосного поля шириной 200 м, занятого озимой пшеницей, довольно редкой и засоренной, высотой 50—60 см. Центральный пункт межполосного поля, расположенный на расстоянии, равном 10—15-кратной высоте окружающих полос, находился под некоторым их воздействием. Сроки наблюдений — 1, 7, 13 и 19 час. Имеются данные за июнь, август и сентябрь 1950 г.

Поверхность почвы в лесной полосе лесогидрометстанции Гигант покрыта редким травостоем, а также мертвой подстилкой. Следует отметить, что в полосе был значительный снежный покров, увлажнивший почву.

Наблюдения производились в середине лесной полосы. Параллельные наблюдения велись в поле, занятом озимой пшеницей, довольно редкой и невысокой, на расстоянии 500 м от лесной полосы. Сроки наблюдений — 7, 13 и 19 час. Имеются данные за июнь и часть июля 1950 г.

Во всех пунктах наблюдения производились аспирационным психрометром.

Были сопоставлены по срокам за каждый день абсолютная и относительная влажность воздуха лесных полос и поля. Подсчитаны повторяемости этих разностей, часть из которых приводится в приложении.

В 7 час. утра в Гиганте на высоте 20 см абсолютная влажность в лесной полосе преимущественно выше, чем в поле. В Деркуле наблюдается обратная картина: в 70% случаев влажность в полосе ниже по сравнению с полем (см. приложение). Это можно объяснить различным покровом поверхности почвы в обеих полосах: в Гиганте поверхность почвы покрыта травостоем, который испаряет, а в Деркуле почва покрыта мертвой сухой подстилкой.

Кроме того, различаются по влажности воздуха и поля в Деркуле и Гиганте, с которыми сравниваются лесные полосы. Поле в Деркуле увлажнено больше, чем поле в Гиганте. Это подтверждается сравнительно большим изменением влажности по вертикали в слое 20—150 см в Деркуле, в то время как в Гиганте это изменение незначительно (см. табл. 6).

На высоте 150 см в лесных полосах как Деркула, так и Гиганта абсолютная влажность с одинаковой вероятностью может быть и выше и ниже по сравнению с полем.

В 13 час. (табл. 1) в Гиганте условия в лесной полосе по сравнению с полем сохраняют тот же характер.

Таблица 1

Повторяемость разностей влажности воздуха (лесная полоса — поле) в 13 час. Июнь

Станции	Абсолютная влажность, мб														Относительная влажность, %			
	от -5,0 до -4,1	от -4,0 до -3,1	от -3,0 до -2,1	от -2,0 до -1,1	от -1,0 до -0,1	от 0,0 до 0,9	от 1,0 до 1,9	от 2,0 до 2,9	от 3,0 до 3,9	от 4,0 до 4,9	от 5,0 до 5,9	от -20 до -11	от -10 до -1	от 0 до 9	от 10 до 19	от 20 до 29		
Высота 20 см																		
Гигант				3	8	22	22	22	13	5	5		8	57	30	5		
Деркул	3	7	10	31	21	21		7				3	56	31	10			
Высота 150 см																		
Гигант				3	36	32	11	13	5				19	73	8			
Деркул				13	37	23	17	10					52	42	3	3		

В Деркуле днем на высоте 20 см условия в лесной полосе по сравнению с полем еще более ухудшаются. Это можно объяснить усиленным обменом днем, в результате которого влага, испаряющаяся с крон деревьев, уносится вверх. Таким образом, влажность воздуха в лесной полосе, в которой почва испаряет очень мало, оказывается меньшей, чем влажность в поле.

В 19 час. в Гиганте различие между влажностью лесных полос и поля меньше, чем днем. В Деркуле в это время влажность в полосе и поле почти одинакова. Ночью по данным Деркула влажность в лесной полосе и поле также почти не различается (см. приложение).

Таков характер распределения влажности в июне. В августе и сентябре по данным Деркула мы имеем другую картину. В это время травяного покрова в поле нет (пшеница скошена), испарение мало, а в лесной полосе с ее листовым покровом испарение частично сохранилось. В этот период влажность в лесной полосе оказывается большей или равной влажности в поле.

Переходим к характеристике относительной влажности лесной полосы. Утром в лесной полосе Гиганта в соответствии с абсолютной влажностью и особенно более низкой температурой относительная влажность повышена по сравнению с полем. В Деркуле ход относительной влажности такой же, как абсолютной.

Днем в Гиганте относительная влажность в полосе также больше, чем в поле. В Деркуле относительная влажность в лесу и поле почти одинакова. Ночью в Деркуле относительная влажность в поле выше, чем в полосе, что связано с более высокой температурой воздуха в полосе.

В табл. 2 и 3 приведены средние разности абсолютной и относительной влажности воздуха (лесная полоса — поле) для высот 20 и 150 см за июнь, август и сентябрь в стандартные сроки наблюдений.

Колебание разностей влажности воздуха в больших пределах в табл. 1 и в таблицах приложения можно объяснить тем, что в них представлены дни с раз-

личными погодными условиями. О роли последних свидетельствуют следующие данные. В Деркуле более высокая влажность в лесной полосе по сравнению с полем создается после выпадения осадков, когда испарение происходит не только с крон деревьев, но и с мертвой подстилки.

Таблица 2

Средние разности влажности воздуха (лесная полоса — поле) на высоте 20—150 см. Июнь 1950 г.

Станции	Абсолютная влажность, мб								Относительная влажность, %							
	1		7		13		19		1		7		13		19	
	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150
Деркул	0,2	0,1	-0,3	0,1	-1,0	0,3	-0,1	-0,1	-6	-2	-2	-1	0	1	-1	1
Гигант	—	—	0,6	0,1	1,8	0,9	1,4	0,4	—	—	6	2	10	5	6	3

Таблица 3

Средние разности влажности воздуха (лесная полоса — поле) на высоте 20—150 см. Август и сентябрь 1950 г. Деркул

Абсолютная влажность, мб								Относительная влажность, %							
1		7		13		19		1		7		13		19	
20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150

Август

0,8	0,3	0,9	0,8	0,0	0,3	1,0	0,8	1	3	5	3	1	1	7	7
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Сентябрь

0,3	0,2	0,7	0,5	0,5	0,7	0,7	0,6	2	2	5	3	2	1	5	3
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Для примера приведем разности абсолютной влажности лесной полосы и поля в Деркуле в 13 час. (табл. 4).

Таблица 4

Разности абсолютной влажности воздуха (лесная полоса — поле) в 13 час. после выпадения осадков, мб

Дата	Высота, см			Дата	Высота, см		
	20	50	150		20	50	150
15/VI	0,4	0,8	0,7	5/IX	1,6	1,7	0,8
30	0,8	2,2	2,4	6	1,1	2,4	2,2
4/VIII	1,9	1,0	0,6	13	1,4	1,4	2,0
23	0,3	0,6	0,9	22	1,2	2,1	1,2

Также благоприятны условия в лесной полосе по сравнению с полем в случае адвекции сухого воздуха, когда относительная влажность в поле понижалась до 25—30% (табл. 5).

Таким образом, мы видим, что в рассматриваемых лесных полосах хотя в среднем и не создается существенного различия во влажности воздуха, тем не менее в некоторых случаях наблюдаемые различия могут иметь практическое значение.

Таблица 5

Разности влажности воздуха (лесная полоса — поле) в 13 час. при адвекции сухого воздуха

Дата	Абсолютная влажность, (мб)			Относительная влажность, %		
	Высота, см					
	20	50	150	20	50	150
29/VI	2,5	2,6	1,8	7	8	8
5/VIII	1,4	1,5	1,3	2	1	1
21	1,3	1,1	0,7	2	2	0
17/IX	2,2	1,4	2,1	6	3	4

Для характеристики изменения влажности по вертикали были вычислены разности абсолютной и относительной влажности воздуха на высотах 20 и 150 см (табл. 6) для стандартных сроков.

Таблица 6

Средние разности влажности воздуха (лесная полоса — поле) на высоте 20—150 см. Июнь 1950 г.

Станции	Лесная полоса				Поле			
	1	7	13	19	1	7	13	19

Абсолютная влажность, мб

Деркул . . .	0,1	0,4	0,6	0,4	0,0	0,8	1,7	0,5
Гигант . . .	—	0,8	1,6	1,4	—	0,3	0,7	0,6

Относительная влажность, %

Деркул . . .	2	1	0	2	6	3	1	4
Гигант . . .	—	4	4	5	—	0	—1	2

В Деркуле, в лесной полосе, где растительный покров отсутствует, эти разности очень малы (0,6 мб в 13 час.). В поле они значительно больше.

В лесной полосе Гиганта изменение влажности по вертикали больше, чем в поле. Наибольшие значения достигаются днем и вечером (1,4—1,6 мб). В поле разности абсолютной влажности на 20 и 150 см очень малы, разности же относительной влажности в 13 час. даже отрицательны.

Рассмотренные полосы являются типичными для районов степей и сухих степей.

Для характеристики мощных лесных полос, типичных для условий лесостепи, можно использовать наблюдения Каменностепной экспедиции Главной геофизической обсерватории летом 1951 г.

Для примера подсчитана повторяемость разностей влажности воздуха за 12—13 час. в лесной полосе 26 (описание лесной полосы 26 см в указанных выше работах Е. П. Архиповой и М. Я. Глебовой) и межполосном поле, занятом овсом (за 8 дней наблюдений). Межполосное поле невелико, и точка наблюдений находится под некоторым воздействием лесных полос. Овес хорошо развитый, интенсивно транспирирующий. В данном случае на высоте 20 см различий между абсолютной влажностью в лесной полосе и поле не получилось (в среднем 0,0 мб).

На высоте 150 см заметно некоторое увеличение влажности в лесной полосе, но оно не превышает 2 мб в отдельные дни (в среднем 0,8 мб).

Относительная влажность в дневные часы в лесной полосе больше, чем в поле, (в среднем 3—5%), что связано с более низкой температурой воздуха в полосе по сравнению с полем (табл. 7).

Таблица 7

Повторяемость разностей влажности воздуха (лесная полоса — поле) в дневные часы
Каменная Степь

Абсолютная влажность, мб				Относительная влажность, %			
от -1,0 до -0,1	от 0,0 до 0,9	от 1,0 до 1,9	от -5 до -1	от 0 до 4	от 5 до 9	от 10 до 14	

Высота 20 см

56 | 33 | 11 | 11 | 22 | 56 | 11

Высота 150 см

| 60 | 40 | 10 | 70 | 20 |

Сопоставлена также влажность в лесной полосе и открытой степи, занятой овсом, но низким и редким. В данном случае различия больше, в отдельные дни они доходят в дневные часы по абсолютной влажности до 3—4 мб и по относительной до 15—20% (табл. 8). Средние различия относительной влажности на высоте 20 см составляют 10% и на 150 см 6%, т. е. разности того же порядка, что и в Гиганте в это же время.

Таблица 8

Повторяемость разностей влажности воздуха (лесная полоса — степь) в дневные часы

Абсолютная влажность, мб					Относительная влажность, %				
от -1,0 до -0,1	от 0,0 до 0,9	от 1,0 до 1,9	от 2,0 до 2,9	от 3,0 до 3,9	от 0 до 4	от 5 до 9	от 10 до 14	от 15 до 19	

Высота 20 см

17 | 50 | 17 | 16 | 63 | 25 | 12

Высота 150 см

| 50 | 33 | 17 | 12 | 88 |

Следует учесть, что мощные краны деревьев, интенсивно транспирирующие, в Каменной Степи находятся высоко над точками наблюдений (в отличие от Гиганта). Поэтому можно ожидать, что на больших высотах различия во влажности воздуха в мощной полосе и поле по сравнению с выше рассмотренными полосами, характерными для более засушливых районов, будут значительно больше.

Исходя из этого, для учета возможной адвекции влажного воздуха с полосы в поле необходимо ставить наблюдения в кронах деревьев.

О РАДИАЦИОННОМ РЕЖИМЕ ВНУТРИ ЛЕСНОЙ ПОЛОСЫ

Актинометрические наблюдения производились в лесных полосах Каменной Степи, Таловского района, Воронежской области экспедицией ГГО летом 1951 г.

Подставка для приборов высотой 1,5 м была сделана переносной, чтобы иметь возможность производить наблюдения в разных точках лесной полосы.

Точки наблюдений были установлены последовательно в лесных полосах 26 (21—23, 25—28/VI), 37 (9—10, 13—14/VII) и 111 (16—17, 19—20/VII). Параллельные наблюдения проводились в межполосных полях¹.

Полученные данные характеризуют радиационный режим внутри лесной полосы под пологом древесной растительности до высоты 1,5 м.

Измерялась суммарная и отраженная радиация по пиранометру системы Янишевского и радиационный баланс по эффективному пиранометру. Рассмотрены суммарная радиация и радиационный баланс как основные элементы, характеризующие изменение температурного режима в лесной полосе.

Измерения производились в центре лесных полос, а в лесной полосе 37 — еще на северной и южной опушках под пологом леса.

Наблюдения велись 3 раза в час по 10 мин. каждое наблюдение, с последующим часовым промежутком.

В лесной полосе 26 наблюдения производились в двух точках середины лесной полосы, разных по степени затененности, создаваемой кронами деревьев.

В точке 1, которая является типичной для данной полосы, кроны деревьев подроста образуют сомкнутый полог, что создает здесь полную затененность. Есть небольшие просветы сквозь кроны деревьев верхнего яруса, через которые падают блики солнца. В точке 2, расположенной рядом с точкой 1, затененность меньше. Есть значительные просветы.

Во все дни наблюдений 21—28/VI стояла сухая, преимущественно ясная погода.

Наибольшие значения суммарной радиации в точке 1 лесной полосы достигаются в 12—14 час. и равны 0,13 кал/см²·мин. (в среднем за все дни наблюдений). В течение часа напряжение суммарной радиации может колебаться в значительных пределах (в 14 час. 0,08, 0,14; 0,16 кал/см²·мин.). Это объясняется тем, что при порывах ветра вглубь полосы и на прибор попадают блики солнца.

Наименьшие значения в 5 и 18—19 час. — 0,02 кал/см²·мин. Уменьшение суммарной радиации кронами деревьев велико: днем в глубину лесной полосы проникает лишь 10% суммарной радиации поля.

Утром при малой высоте солнца проникновение суммарной радиации вглубь полосы еще меньше: так, в 8—9 час. проникает 6% суммарной радиации поля.

В точке 2 наблюдения производились один неполный день (27/VI). Здесь значения суммарной радиации получились большими, чем в точке 1. В 14—15 час. значение суммарной радиации составляет 27% соответствующего значения в поле.

¹ Подробное описание лесных полос дано в работах Е. П. Архиповой „Влияние лесных полос на режим температуры почвы“ и М. Я. Глебовой „Температура воздуха в лесных защитных полосах“ (см. настоящий сборник).

В табл. 1 приведена суммарная радиация в точках 1 и 2 лесной полосы 26 в среднем за все дни наблюдений, а также процент, который она составляет от соответствующих величин в поле.

В лесной полосе 37, близкой по конструкции к полосе 26, значения суммарной радиации почти не отличаются от соответствующих значений в полосе 26.

Погода в дни наблюдений также была сухой и малооблачной. В 12—13 час. суммарная радиация в середине лесной полосы в среднем за 9—10/VII равна 0,12 кал/см²·мин., что составляет 9% от соответствующего значения в поле.

13 и 14/VII производились наблюдения на северной и южной опушках лесной полосы под пологом леса (на расстоянии около 3 м от опушки вглубь леса).

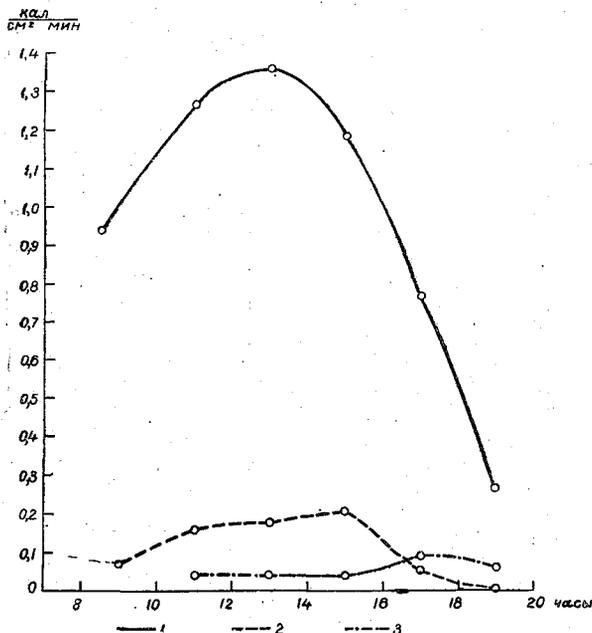


Рис. 1. Суммарная радиация.

1 — в поле, 2 — на южной опушке лесной полосы 37, 3 — на северной опушке лесной полосы 37.

На рис. 1 приведена суммарная радиация в поле и на опушках лесной полосы 37 за 14/VII (с 8 до 18 час.).

В продуваемой лесной полосе 111 кроны деревьев также образуют сомкнутый полог, но здесь затененность несколько меньше, чем в лесных полосах 26 и 37, ввиду отсутствия второго яруса деревьев и большей ажурности крон верхнего яруса. Наблюдения велись последовательно в двух точках: 16—17/VII в точке 1 и 19—20/VII в точке 2. Обе точки расположены в середине лесной полосы, причем точка 1 — в части полосы, более продуваемой, а точка 2 — в менее продуваемой части.

Следует учесть, что в дни наблюдений 17—20/VII погода была неустойчивой с переменной облачностью, временами выпадали осадки. В эти дни значения суммарной радиации в поле были занижены. Для сравнения солнечной радиации в лесной полосе и поле был ис-

Северная опушка представляет собой сомкнутый кустарник с отдельными просветами, шириной 7,5 м, высотой от 2 до 4 м.

В 12—13 час. на северную опушку проникает всего 3% от суммарной радиации поля. Во вторую половину дня значения суммарной радиации на опушке возрастают и становятся больше, чем в середине лесной полосы.

На южной опушке затененность, создаваемая кустарником, примерно такова же, как на северной. Ширина южной опушки 4 м, высота кустарника 2 м.

На южной опушке днем значения суммарной радиации больше, чем в середине полосы и на северной опушке. Наибольшее значение равно 0,21 кал/см²·мин. Это составляет 18% суммарной радиации в поле. К концу дня (после 16 час.) значения суммарной радиации несколько больше, чем в середине лесной полосы, и меньше, чем на северной опушке.

Таблица 1
Суммарная радиация в лесной полосе 26

Часы	Суммарная радиация			
	кал/см ² мин.		% от радиации в поле	
	Точки			
	1	2	1	2
08—09	0,06	—	6	—
10—11	0,12	—	9	—
12—13	0,13	0,21	10	15
14—15	0,13	0,32	11	27
16—17	0,05	0,08	7	10
18—19	0,02	0,03	7	—

пользован один день 16/VII с наибольшей облачностью в 16—17 час. 3—4 балла.

Наибольшее значение суммарной радиации в 10—12 час. равно $0,15 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин.}$ Это составляет 12—13% суммарной радиации поля. В 16—17 час., когда солнечная радиация в поле занижена благодаря облачности, суммарная радиация в лесной полосе составляет 14% суммарной радиации поля.

Таким образом, процент суммарной радиации, проникающий в глубину полосы 111, того же порядка, что и в полосах 26 и 37.

М. И. Сахаровым [3] производились исследования в различных фитоценозах Брянского опытного лесничества. По полученным данным в июле в глубину густого чернично-кисличного ельника проникает 5% суммарной радиации открытого места, в глубину сосняка лещинового — 11% суммарной радиации открытого места и т. д.

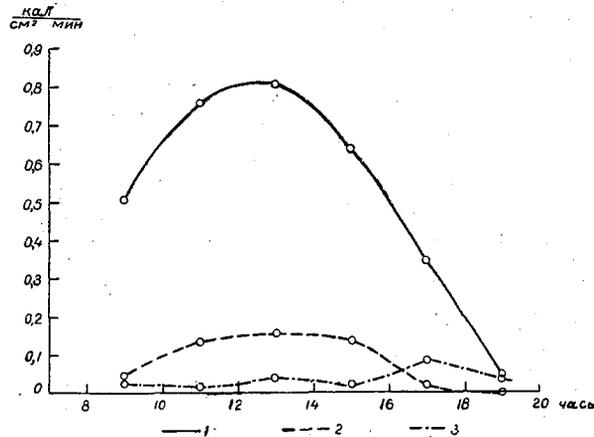


Рис. 2. Радиационный баланс.

1 — в поле, 2 — на южной опушке лесной полосы 37, 3 — на северной опушке лесной полосы 37.

Таким образом, суммарная радиация в лесных полосах такого же порядка, как в лесу.

Наибольшее значение радиационного баланса в лесных полосах, как и на открытом месте, достигается днем. В точке 1 полосы 26 в 12—13 час. он равен в среднем $0,09 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин.}$ Это составляет 10% соответствующего значения в поле. В остальные часы дня значение радиационного баланса уменьшается, приближаясь в утренние и вечерние часы к нулю.

В точке 2 полосы 26 значения радиационного баланса больше, чем в точке 1. Наибольшее значение в 14—15 час. равно $0,43 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин.}$, что составляет 61% значения радиационного баланса в поле (табл. 2).

Радиационный баланс в полосе 37 близок к радиационному балансу точки 1 в полосе 26. Наибольшее значение баланса в 12—13 час. равно в среднем $0,07 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин.}$ Это составляет 8% соответствующего значения в поле. На северной опушке в дневные часы значения радиационного баланса несколько меньше, чем в середине полосы. К концу дня (после 16 час.) они увеличиваются и становятся большими, чем в середине полосы и на южной опушке. На южной опушке днем радиационный баланс больше, чем в середине полосы. Он составляет

Таблица 2
Радиационный баланс в лесной полосе 26

Часы	Радиационный баланс			
	кал/см ² · мин.		% от балан-са в поле	
	Точки			
	1	2	1	2
08—09	0,02	—	4	—
10—11	0,06	—	8	—
12—13	0,09	0,21	10	24
14—15	0,03	0,43	4	61
16—17	0,02	0,04	5	10
18—19	0,01	0,02	14	25

около 15—20% от радиационного баланса в поле. На рис. 2 приведен радиационный баланс в поле и на опушках лесной полосы 37 за 14/VII (с 8 до 18 час.). К вечеру (16—18 час.) радиационный баланс на южной опушке и в середине полосы одинаков.

В полосе 111 наибольшее значение радиационного баланса в 10—12 час. равно 0,09—0,10 кал/см² · мин. Это составляет 12—14% от радиационного баланса в поле. В 16—17 час. радиационный баланс в лесной полосе составляет 25% от радиационного баланса в поле.

В ночной период, начиная с 20—21 часа, радиационный баланс во всех полосах становится равным нулю.

Таким образом, радиационный режим внутри лесных полос Каменной Степи, подобно радиационному режиму сплошных лесонасаждений, существенно отличается от радиационного режима в поле. Следует подчеркнуть, что при сомкнутости крон деревьев в проекции на горизонтальную поверхность и продуваемая лесная полоса значительно ослабляет напряжение как суммарной радиации, так и радиационного баланса в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арысская экспедиция 1945 г. Труды НИУ, вып. 39, 1947.
2. Сапожникова С. А. Микроклимат и местный климат. Гидрометеиздат, Л., 1950.
3. Сахаров М. И. Радиация и альbedo в лесных фитоценозах. Метеорология и гидрология, № 5—6, 1940.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 5, 1947.

О ВЛИЯНИИ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН

Одним из важнейших факторов, определяющих гидрометеорологическую эффективность полезащитного лесоразведения, является ослабление турбулентного обмена в нижних слоях воздуха в межполосных клетках.

Турбулентный обмен в приземном слое воздуха в значительной степени определяет микроклиматические особенности данного места: изменение интенсивности турбулентного обмена сказывается на изменении распределения температуры и влажности воздуха, на испарении и испаряемости, радиационном балансе. Однако этот важный показатель эффективности полезащитного лесоразведения изучен еще недостаточно. Целью данной работы является качественная оценка изменения интенсивности турбулентного обмена почти непродуваемой полосой и полосой, продуваемой в основном в нижнем ярусе (по материалам экспедиции ГГО 1951 г. в Каменной Степи).

Действие почти непродуваемой лесной полосы

Ослабление коэффициента обмена за непродуваемой полосой было рассчитано в клетке поля Б-5 (черный пар) в зависимости от удаления от лесной полосы и от высоты над поверхностью земли. Расчет основывался на том, что изменение турбулентного обмена лесной полосой приблизительно пропорционально отношению температурного градиента в степи к температурному градиенту в клетке, т. е. что

$$\frac{k'}{k} = \alpha \frac{\Delta t}{\Delta t'} \quad (*)$$

Определим значения α . Коэффициенты турбулентного обмена для клетки и для открытой степи соответственно равны

$$k' = \frac{P'}{\rho c_p \frac{\partial T'}{\partial x}},$$

$$k = \frac{P}{\rho c_p \frac{\partial T}{\partial z}},$$

где k' и k — коэффициенты турбулентного обмена в клетке и степи, P' и P — турбулентные потоки тепла, ρ — плотность воздуха, c_p — теплоемкость воздуха, $\frac{\partial T'}{\partial x}$ и $\frac{\partial T}{\partial z}$ — температурные градиенты в клетке и в степи.

Отсюда

$$\frac{k'}{k} = \frac{P'}{P} \frac{\frac{\partial T}{\partial z}}{\frac{\partial T'}{\partial x}}$$

Из уравнения теплового баланса

$$P' = R' - LE' - B',$$

$$P = R - LE - B,$$

где R' и R — радиационные балансы в клетке и степи. LE' и LE — затраты тепла на испарение в клетке и степи, B' и B — теплообмены в почве в клетке и степи, получаем

$$\frac{k'}{k} = \frac{R' - LE' - B'}{R - LE - B} \frac{\frac{\partial T}{\partial z}}{\frac{\partial T'}{\partial z}}$$

В околополуденные часы в солнечную погоду составляющие теплового баланса¹ в клетке и степи в среднем за 12—17/VII имеют следующие значения:

Клетка

$$R' = 0,70 \text{ кал/мин.}$$

$$LE' = 0,07 \text{ кал/мин.}$$

$$B' = 0,10 \text{ кал/мин.}$$

Степь

$$R = 0,75 \text{ кал/мин.}$$

$$LE = 0,07 \text{ кал/мин.}$$

$$B = 0,10 \text{ кал/мин.}$$

Подставив эти данные в (*), получим, что

$$\alpha = \frac{R' - LE' - B'}{R - LE - B} = 0,9.$$

Полученное значение α , достаточно близкое к единице, свидетельствует о том, что для качественной характеристики $\frac{k'}{k}$ можно пользоваться непосредственно отношением градиентов температуры (в отдельные дни отклонения α от среднего значения незначительны).

Обмен рассматривался по слоям 0—20, 20—50 и 50—150 см за 7 дней июля (с 12 по 17/VII). Принималось, что в околополуденные часы процесс однороден,

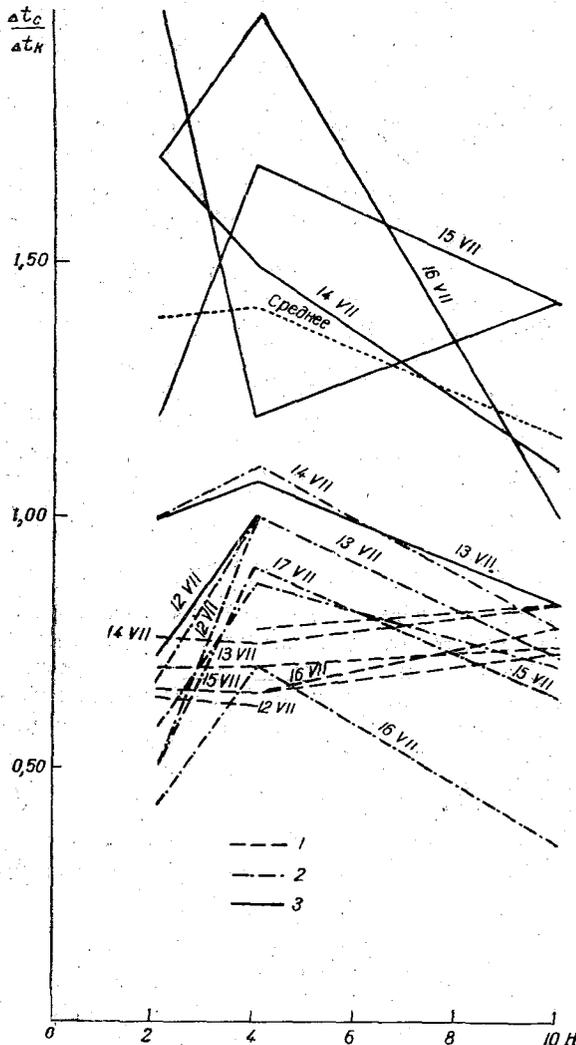


Рис. 1. Поле Б-5 — непродуваемая лесная полоса.
1 — слой 0—20 см, 2 — слой 20—50 см, 3 — слой 50—150 см.

поэтому за каждый день осреднение произведено за интервал времени 10—15 час. Результаты представлены на рис. 1, из которого видно, что в общем ослабление турбулентного обмена под влиянием лесных полос уменьшается с высотой и что в каждом слое с удалением от полосы изменения качественно различны.

¹ Радиационный баланс определялся на основе непосредственных наблюдений над его компонентами; испарение — по динамике влажности почвы, теплообмен в почве — по изменению теплосодержания.

1. Слой 0—20 см. На всех расстояниях от полосы обмен в клетке ослаблен по сравнению со степью ($\frac{\Delta t}{\Delta t'}$ равно 0,65—0,75), причем интенсивность обмена почти не меняется с удалением от полосы: на 2- и 4-кратном расстоянии от полосы обмен одинаков, на 10-кратном расстоянии наблюдается слабое увеличение обмена на 5—7% по сравнению с 2- и 4-кратным расстояниями.

2. Слой 20—50 см. В целом турбулентный обмен уменьшен по сравнению со степью. Но интенсивность обмена резко меняется в зависимости от удаления от полосы. На 2-кратном расстоянии обмен сравнительно слабый: $\frac{\Delta t}{\Delta t'}$ меняется во всех случаях, кроме одного, от 0,43 до 0,68. На 4-кратном расстоянии наблюдается резкое увеличение турбулентности: $\frac{\Delta t}{\Delta t'}$ в отдельных случаях возрастает до единицы. Затем к 10-кратному расстоянию происходит постепенное уменьшение обмена: значения $\frac{\Delta t}{\Delta t'}$ находятся в интервале 0,35—0,78.

3. Слой 50—150 см. Этот слой характеризуется большой неоднородностью значений $\frac{\Delta t}{\Delta t'}$. В среднем здесь турбулентность выше, чем в степи на всех расстояниях от полосы.

Расстояние от полосы	2H	4H	10H
Средние $\frac{\Delta t}{\Delta t'}$	1,39	1,41	1,16

Таким образом, с удалением от полосы турбулентность падает, но на 4-кратном расстоянии (4H) в среднем она почти та же, что и на 2-кратном (2H).

В отдельные дни на 2- и 4-кратных расстояниях наблюдаются значительные отклонения от средних значений: на 2-кратном $\frac{\Delta t}{\Delta t'}$ колеблется от 0,72 до 2,00, на 4-кратном — от 1,00 до 2,00.

Особенности изменения $\frac{\Delta t}{\Delta t'}$, а следовательно, и турбулентного обмена можно объяснить исходя из следующих физических соображений. Влияние обрушивания воздушных масс при переваливании потока через непродуваемую полосу сказывается через диффузию вихрей сверху в нижележащие слои. В верхнем слое 50—150 см диффузия сказывается сильнее, чем в слое 20—50 см, и на более близких расстояниях от полосы, чем и объясняется небольшая разница интенсивности обмена на 2- и 4-кратном расстоянии от полосы в слое 50—150 см.

В слое 20—50 см диффузия вихрей хорошо заметна на 4-кратном расстоянии, где отмечается резкое увеличение турбулентности. В интервале от 4- до 10-кратного расстояния происходит постепенное затухание вихрей и интенсивность обмена падает.

В слое 0—20 см диффузия вихрей сверху не проявляется. Этот слой характеризуется относительным застоем. Некоторое увеличение обмена в центре поля связано с началом восстановления ветрового режима. Увеличение скорости ветра приводит к увеличению завихренности в самом нижнем слое воздуха под влиянием шероховатости подстилающей поверхности.

Для сравнения за несколько дней для слоя 0—20 см обмен был рассчитан по формуле М. И. Будько и М. И. Юдина

$$\frac{D'}{D} = \frac{5}{4} \frac{\theta_w - \theta}{\theta' - \theta} - \frac{1}{4},$$

Таблица 1

Формула	Отношение коэффициентов	Расстояние от полосы		
		2 H	4 H	10 H
М. И. Будько и М. И. Юдина $\frac{D'}{D}$		0,60	0,61	0,63
$\frac{k'}{k} = \alpha \frac{\Delta t}{\Delta t'}$ $\frac{k'}{k}$		0,63	0,63	0,66

где D' , D — коэффициенты турбулентной диффузии для клетки и степи, θ'_w , θ_w — температура поверхности почвы в клетке и в степи, θ' , θ — температура воздуха. Для сопоставления приводим данные за 13/VII, полученные двумя способами (табл. 1).

Из сопоставления видно, что результаты очень близки друг к другу. Это можно рассматривать как подтверждение принятых положений.

Действие продуваемой лесной полосы

Для определения характера изменения турбулентного обмена за продуваемой лесной полосой был произведен аналогичный расчет в клетке поля, занятого скошенным лугом.

Обмен рассматривался также по слоям 0—20, 20—50, 50—150 см. Так как параллельные наблюдения в степи в это время производились на черном пару, то

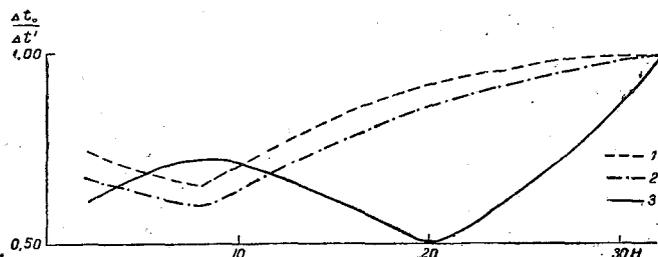


Рис. 2. Поле 3-1 скошенный луг. Продуваемая лесная полоса.

1 — слой 0—20 см, 2 — слой 20—50 см, 3 — слой 50—150 см.

для сопоставления с открытым ровным местом мы взяли крайний пункт наблюдения, удаленный от полосы на 332 м, т. е. на расстояние, равное 32-кратной высоте деревьев, на котором практически влияние лесных полос уже не ощущается.

Коэффициент пропорциональности α для данного поля (3-1) не определялся, так как нет оснований считать его существенно отлич-

ным от единицы. Для продуваемой полосы также разбирается в основном качественная сторона вопроса.

1. Слой 0—20 см. На 2-кратном расстоянии обмен ослаблен по сравнению с 32-кратным расстоянием, так как $\frac{\Delta t}{\Delta t'} = 0,74$. К 8-кратному расстоянию наблюдается постепенное убывание обмена: $\frac{\Delta t}{\Delta t'} = 0,65$. Далее до 32-кратного расстояния происходит постепенное нарастание турбулентности (рис. 2).

2. Слой 20—50 см.

На 2-кратном расстоянии обмен ослаблен: $\frac{\Delta t}{\Delta t'} = 0,67$; к 8-кратному происходит дальнейшее ослабление турбулентности: $\frac{\Delta t}{\Delta t'} = 0,60$, а затем наблюдается постепенное нарастание обмена.

3. Слой 50—150 см. На 2-кратном расстоянии обмен сравнительно слабый: $\frac{\Delta t}{\Delta t'} = 0,62$, на 8-кратном расстоянии наблюдает-

ся усиление обмена: $\frac{\Delta t}{\Delta t'} = 0,72$. При дальнейшем удалении от полосы обмен падает, и на 20-кратном расстоянии $\frac{\Delta t}{\Delta t'} = 0,50$. После 20-кратного обмен постепенно возрастает.

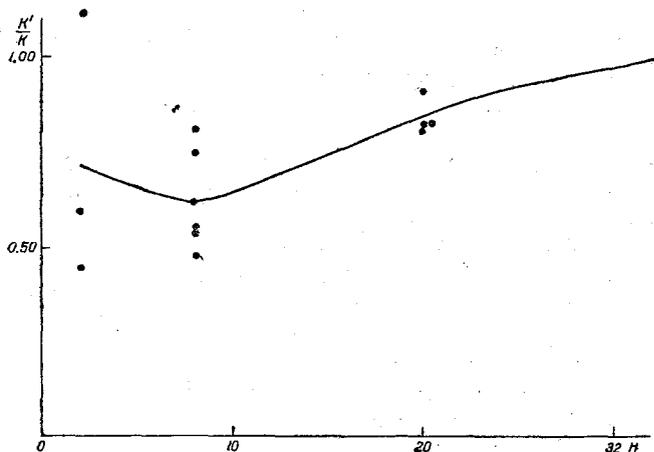


Рис. 3. Поле 3-1 скошенный луг, продуваемая полоса.

ся усиление обмена: $\frac{\Delta t}{\Delta t'} = 0,72$. При дальнейшем удалении от полосы обмен падает, и на 20-кратном расстоянии $\frac{\Delta t}{\Delta t'} = 0,50$. После 20-кратного обмен постепенно возрастает.

Все изложенное выше можно объяснить следующим образом: в нижних слоях (0—50 см) отчетливо заметно влияние продуваемости полосы в нижнем ярусе. К этим слоям применимо объяснение механизма действия продуваемых лесных полос, даваемое М. И. Юдиным.

В воздушном потоке, проходящем сквозь полосу, турбулентные вихри размельчаются. Мелкие вихри затухают приблизительно на 8-кратном расстоянии от по-

лосы и затем начинается постепенное нарастание турбулентного обмена, связанное с восстановлением скоростей ветра за полосой. В слое 50—150 см сказывается эффект переваливания потока через полосу: возрастание турбулентности на 8-кратном расстоянии. Падение интенсивности турбулентности на участке $8H—20H$ можно объяснить затуханием диффузии вихрей сверху.

Рост обмена после $20H$ объясняется постепенным восстановлением ветрового режима.

Для рассматриваемого поля (3-1) уменьшение турбулентного обмена за полосой определялось также по методу М. И. Будыко и М. И. Юдина, основанному на уравнении теплового баланса

$$\frac{k'}{k} = \frac{R'L(q_1 - q_2) + c_p(\theta_1 - \theta_2)}{RL(q_1' - q_2') + c_p(\theta_1' - \theta_2')}$$

где q_1 и q_2 — удельная влажность в клетке и в степи. Результаты представлены на рис. 3. Из сопоставления видно, что характер изменения турбулентного обмена с удалением от полосы на рис. 2 (в слое 0—50 см) и рис. 3 совпадает.

ЛИТЕРАТУРА

- Будыко М. И. и Юдин М. И. К постановке экспериментальных исследований по изучению турбулентности в районах полезащитных лесных полос. Метеорология и гидрология, № 5, 1951.
- Юдин М. И. Влияние лесных полос на турбулентный обмен и оптимальная ширина полос. „Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесоразведения“. Гидрометеиздат, Л., 1950.

О ВЛИЯНИИ ТРАВСТОЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОСЕВОВ СРЕДИ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА

Изменение температурного режима воздуха на поле с сельскохозяйственными (главным образом, злаковыми) культурами под влиянием комплекса полезащитного лесоразведения до сих пор в должной мере не выяснено.

Неясность вопроса зависит от трудностей постановки наблюдений на поле с сельскохозяйственными культурами и от различного влияния посевов, отличающихся по своим свойствам, на метеорологический, в частности термический режим воздуха. Различия в конструкции, ширине, высоте лесных полос, величине межполосного поля, равно как и выбор пунктов наблюдений на различной удаленности от полос, а также разные высоты наблюдений вносили добавочные осложнения при характеристике термического режима межполосного поля с сельскохозяйственными культурами.

В последнее время произведено построение схемы воздействия комплекса полезащитного лесоразведения на температуру воздуха межполосных полей и дан анализ изменения теплового баланса при мелиорации [2, 9]. Положения этих работ должны быть более детально разработаны на основе фактического материала.

Из ряда экспериментальных работ по исследованию температурного режима межполосных полей с посевами злаковых культур известно следующее:

1) по данным наблюдений за температурой воздуха в метеорологической будке на высоте 2 м от поверхности почвы в Каменной Степи различия температуры воздуха межполосного поля и поля в открытой степи незначительны и не дают возможности установить влияние полос на температуру воздуха [10];

2) на узких межполосных полях, ограниченных полосами непродуваемой конструкции, по наблюдениям в крайних для злаковых культур северных (Карелия) [4] и южных (Прикаспийская полупустыня) [7] географических зонах днем в теплое время года наблюдается повышение, в ночное время — понижение температуры воздуха на межполосном поле по сравнению с полем на открытом пространстве;

3) данных по температуре воздуха на некоторой высоте над растениями, на уровне и внутри растительного покрова на межполосных полях в степной и лесостепной зонах имеется мало, и характеристика температурного режима по этим данным мало разработана, хотя представляет большой интерес для науки и практики.

По материалам наблюдений В. А. Бодрова [1], Г. И. Матякина [6, 7, 8], Л. А. Голубевой, которые до последнего времени являлись почти единственными материалами по изучению температуры воздуха на межполосных полях с сельскохозяйственными культурами, трудно сделать определенные выводы, так как методике их наблюдений нельзя признать удовлетворительной.

О методике наблюдений Бодрова (в частности о синхронности наблюдений) трудно сказать что-либо определенное, так как в его работе [1] приводятся данные по температуре воздуха на уровне растений и на высоте 50 см над ними,

осредненные за весь период наблюдений. Матякин при удачном расположении пунктов наблюдения и достаточно пригодной аппаратуре (аспирационные психрометры) проводил наблюдения на выполотых площадках диаметром 1,0—1,5 м; температуру воздуха над которыми, конечно, нельзя приравнять к температуре среди растений. Голубева измеряла температуру воздуха на уровне рабочего листа растений термометрами, установленными в психрометрических будках, которые являлись слишком мощным изолятором от реального термического режима среди растений. Абсолютные величины температуры воздуха, полученные этими исследователями, конечно, не могли характеризовать температурный режим воздуха среди растений, но относительные различия показаний установок на разных расстояниях от полосы и в открытой степи позволили дать некоторую наметку в решении вопроса.

По данным Г. И. Матякина и Л. А. Голубевой [11] было установлено, что лесные полосы влияют на температуру воздуха следующим образом:

1) уменьшение скорости ветра (точнее, турбулентного обмена) на межполосном поле приводит к некоторому увеличению суточных амплитуд,

2) развитие более мощного растительного покрова в межполосном поле уменьшает суточные амплитуды за счет затенения почвы и большей транспирации растений.

Более подробной характеристики механизма воздействия этих факторов, подтвержденной фактическим материалом, нет.

Выявление влияния травостоя на термический режим затруднялось тем, что при изучении влияния лесных полос на микроклимат поля с посевом злаковых культур часто считалось обязательным условием наличие совершенно одинакового травостоя на сравниваемых участках в полях среди лесных полос и в открытой степи. Но даже при одинаковых агротехнике и севообороте на поле среди лесных полос (при наличии высокого уровня агротехники, структурных почв) большие запасы влаги в почве за счет уменьшенного стока талых и ливневых вод и более выгодного перераспределения снежного покрова, наряду с уменьшением испарения непосредственно с почвы, стимулируют развитие более мощного, более высокого и густого растительного покрова.

Таким образом, для характеристики реального температурного режима поля с посевами в межполосном пространстве необходим учет влияния этого более мощного травостоя на температуру воздуха.

Попытаемся на материалах экспедиции Главной геофизической обсерватории в июне — июле 1951 г. в Каменной Степи подробнее остановиться на выявлении механизма воздействия травостоя во взаимодействии с лесными полосами на температурный режим межполосного поля.

Экспедиция проводила наблюдения на полях с посевами овса в степи и межполосном поле во вторую половину (19—27) июня в фазы „колошение — цветение — начало молочной спелости“. Июнь 1951 г. отличался жаркой, засушливой погодой при фактическом отсутствии осадков. В период наблюдений погода была преимущественно безоблачная, за исключением времени с 16 час. 22/VI по 12 час. 30 мин. 23/VI, когда наблюдалось увеличение облачности при прохождении холодного фронта.

В табл. 1 приводятся температура и относительная влажность воздуха по данным метеостанции Каменная Степь в 13-часовой срок в дни наблюдений в июне.

Межполосное поле имело размеры 405×455 м, пункты наблюдений располагались к северу от полосы, ограничивающей поле с южной стороны, на следующих от нее расстояниях:

Пункт	Расстояние, м
1	40 (2-кратное высоте деревьев полосы)
2	100 (5-кратное высоте деревьев полосы)
3	200 (10-кратное высоте деревьев полосы)

Таблица 1

Даты	Температура, град. от — до	Относительная влажность, % от — до
Июнь		
19, 20, 21, 22	25—30	14—15
23, 25, 26	18—22	22—26
27, 28	26—31	14—16

Полосы, окружающие овсяное поле, имели высоту 20—22 м, ширину около 25 м, продуваемую с высоты 2,5 м конструкцию (до высоты 2,5—3 м — довольно густые подлесок и опушки).

Наблюдения над температурой воздуха на овсяном поле в степи и на трех пунктах в межполосном поле производились при помощи аспирационных психрометров, расположенных горизонтально на высотах 20 см над почвой внутри травостоя, 20 см над поверхностью овса и на 150 см над почвой.

На 10- и 2-кратном расстояниях от полосы наблюдения проводились на этих высотах весь период (19—27/VI). В степи наблюдения на высоте 20 см от поверхности почвы внутри травостоя были начаты только с 23/VI, что очень затруднило анализ материала (только четыре дня — 23, 25, 26, 27/VI можно сравнивать температуру внутри травостоя в межполосном поле и степи). Пункт на 5-кратном расстоянии от южной полосы установлен с 22/VI (данные за 22, 23, 25, 26, 27/VI).

В пунктах наблюдений были установлены в двух повторностях срочные ртутные термометры на поверхности почвы. На 10-кратном расстоянии от полосы (почти совпадающем с центром поля) и на пункте наблюдений в степи были установлены в двух повторностях термометры Савинова на глубине 5, 10, 15, 20 см и вытяжные термометры на глубине 40 и 80 см.

В пунктах наблюдений на овсяных полях травостой овса около приборов тщательно оберегался от поломки и помятия. При неизбежной (из-за отсутствия дистанционной аппаратуры) порче травостоя приборы перемещались на участки с ненарушенным травостоем.

Овес в степи и клетке 20/VI 1951 г. отличался по мощности травостоя (табл. 2).

Таблица 2

Место наблюдений	Высота растений, см	Густота стояния на 0,25 м ²	Вес сырой массы пробы, г	Вес сухой массы пробы, г
Степь .	40	67	330	131
Клетка .	78	80	703	221

Из этих данных видно, что овес в межполосной клетке по высоте и весу растительной массы почти вдвое превосходит травостой овса в степи. В конце периода наблюдений высота овса в степи достигла 50—60 см, в межполосном поле 100—110 см.

Влажность почвы овсяного поля в степи была ниже влажности почвы межполосного поля. В табл. 3 дано процентное содержание влаги в почве в слое от 1 до 150 см на 27/VI.

Рассмотрим фактические данные по температуре почвы и воздуха на межполосном поле. Дневная (с 8 по 19 час.) температура поверхности почвы и температура почвы на глубинах была в центре клетки (10-кратное расстояние от полосы) ниже, чем в степи, главным образом за счет затенения почвы более мощным травостоем, в среднем по данным за 8 дней (18, 19, 20, 21, 23, 25, 26, 27/VI), на следующие величины:

Таблица 3

Слой почвы, см	Влажность почвы, %		
	межполосное поле	степь	
			поверхность почвы 6,7°
			на глубине 5 см 4,7
			" 10 " 3,7
			" 15 " 2,8
			" 20 " 2,7
1—10	12,8	12,0	
11—50	20,9	18,6	
51—100	21,0	18,1	
101—150	23,6	16,1	

Перегрева воздуха в центре поля на всех высотах как внутри, так и над травостоем почти не наблюдалось. На 2- и 5-кратном расстояниях от полосы перегрев воздуха, по сравнению со степью, на высоте 20 см от поверхности почвы внутри

травостоя не наблюдался 1 день из 4 дней с наблюдениями (27/VI) при жаркой сухой погоде со слабым ветром. 23, 25, 26/VI — при адвекции сравнительно холодного при сильном ветре, со сравнительно небольшим дефицитом влажности воздуха, после прохождения холодного фронта, внутри травостоя наблюдался перегрев воздуха на 1—2,5° по сравнению со степью.

Температура воздуха в межполосном поле на высоте 20 см над овсом и 150 см над почвой во всех пунктах была несколько ниже или равна температуре воздуха на этих высотах в степи.

В жаркие сухие дни (20, 21, 22, 27/VI) температура воздуха над овсом в межполосном поле была ниже на большие величины, чем при адвекции холодного воздуха.

Приведем пример (табл. 4) величин температуры воздуха за 2 дня (25 и 27/VI), различающихся между собой по типу погоды (по данным метстанции за 13-часовой срок).

Таблица 4

	Температура	Дефицит влажности	Ветер м/сек.
25/VI адвекция холодного воздуха	19,8	18,2	7
27/VI жаркая сухая погода . . .	25,9	30,4	5

Таблица 5

Температура воздуха в степи и межполосной клетке в среднем за дневные часы (8—19 час.) Июнь

Число	Расстояние	Температура	Δ	Температура	Δ	Температура	Δ
		20 см над почвой		20 см над овсом		150 см над овсом	
25	Степь . .	21,1		20,1		19,7	
	2 Н . . .	22,4	+1,3	19,3	-0,8	19,2	-0,5
	5 Н . . .	21,9	+0,8	19,4	-0,7	19,0	-0,7
	10 Н . . .	20,9	-0,2	19,5	-0,6	19,4	-0,3
27	Степь . .	28,5		26,0		25,8	
	2 Н . . .	27,2	-1,3	25,2	-0,8	25,2	-0,6
	5 Н . . .	27,1	-1,4	25,5	-0,5	25,1	-0,7
	10 Н . . .	26,9	-1,6	25,1	-0,9	24,9	-0,9

Примечание 1. Δ — разность температуры „межполосное поле — степь“.
2. 2Н, 5Н, 10Н — расстояния кратные высоте деревьев полосы.

Из данных табл. 5 видно, что повышение температуры воздуха на межполосном поле наблюдается при определенном типе погоды (холодной адвекции), главным образом на высоте 20 см от почвы внутри овса. На высоте 20 см над поверхностью овса температура воздуха на поле среди полос всего ниже.

Кроме прочих факторов снижению температуры в межполосных клетках на высоте 20 см над овсом может способствовать и большая высота над почвой. В степи высота 20 см над овсом соответствовала высоте 60 см над почвой, в межполосной клетке — 98 см.

Разница температур воздуха на высоте 150 см при адвекции холодного воздуха невелика. 26/VI в некоторые часы наблюдалось повышение температуры до 0,5° по сравнению со степью. В дни с жаркой сухой погодой температура воздуха на этой высоте ниже по сравнению с температурой воздуха над овсом в степи до 0,5—1°. Это можно объяснить тем, что повышение потенциальной возможности испарения (за счет большего дефицита влажности воздуха) и соответствующих затрат тепла на испарение в значительной мере реализуется в межполосной клетке, где имеются большие запасы влаги в почве.

Таким образом, уменьшение турбулентного обмена, которое при холодной адвекции ведет к некоторому повышению температуры воздуха в межполосном

поле, при адвекции сухого горячего воздуха перекрывается противоположным влиянием на температуру мощно транспирирующего травостоя, лучше обеспеченного почвенной влагой по сравнению с открытой степью.

При анализе актинометрических наблюдений на овсяных полях в степи и межполосном поле отмечается увеличение альbedo коротковолновой радиации от более мощного травостоя овса в поле среди лесных полос.

Таблица 6

Часы	Межполосное поле	Степь
08—09, 16—17	0,20	0,15
10—15	0,25	0,20

Приводим средние величины альbedo в дни наблюдений в кал/см² · мин. (табл. 6).

За счет большей, по сравнению со степью, отраженной радиацией величины радиационного баланса в межполосном поле в дневное время были на 5—6% меньше радиационного баланса в степи.

Излучение деятельной поверхности овсяного поля в клетке в дневные часы при сухой жаркой погоде должно уменьшаться за счет более низкой температуры подстилающей поверхности, но это уменьшение компенсируется увеличением излучения за счет большой излучающей поверхности мощного травостоя. Таким образом, увеличение альbedo в клетке является решающей причиной уменьшения радиационного баланса. Возможные при адвекции холодного воздуха более высокие температуры деятельной поверхности межполосного поля могут увеличить на нем эффективное излучение по сравнению с открытым полем, что дополнительно снижает радиационный баланс¹. Так, 23—24/VI, при прохождении холодного фронта, радиационный баланс на межполосном поле в сумме за сутки был на 12% меньше, чем в степи.

Уменьшение теплового потока в воздух, непосредственно связанное с уменьшением радиационного баланса, возможно, способствовало тому, что и при адвекции холодного воздуха перегрев в межполосной клетке наблюдался лишь в глубине травостоя, где влияние уменьшения теплового потока перекрывалось еще большим уменьшением турбулентного обмена.

По мере подъема над травостоем и уменьшения различия в турбулентном обмене, уменьшение теплового потока в межполосной клетке может оказаться решающим. Именно этим обстоятельством можно объяснить тот факт, что над травостоем и при адвекции холодного воздуха температура на межполосном поле была ниже, чем в степи.

Все изложенное свидетельствует о том, что термический режим на межполосном поле определяется, главным образом, влиянием травостоя на составляющие теплового баланса деятельной поверхности.

Режим температуры приземных слоев воздуха и верхних слоев почвы на поле с редким травостоем, окруженном лесными полосами, будет в корне отличен от термического режима при наличии мощного травостоя.

При редком травостое фактор уменьшения турбулентного обмена получает преобладающее влияние, и наблюдается повышение температуры на поле среди лесных полос, что подтверждается данными М. Я. Глебовой [3] по наблюдениям на поле с редким травостоем пшеницы, окруженном лесными полосами.

Это говорит о том, что при наличии лесных полос, но при низком уровне агротехники на полях сельскохозяйственных культур может наблюдаться вредный для организма растений (особенно при высоких дневных температурах на юго-востоке степной зоны) перегрев. При наличии же высокой агротехники структурных почв лесные полосы способствуют развитию мощного травостоя, который уже сам создает для себя благоприятные микроклиматические условия.

Всесторонняя разработка вопроса о влиянии травостоя на микроклимат, как правило, более мощного на полях среди лесных полос, является обязательным

¹ О температуре деятельной поверхности в данном случае можно судить только косвенно, по температуре воздуха среди травостоя, так как данными о температуре самого травостоя, который образует деятельную поверхность, мы не располагаем.

этапом при изучении гидрометеорологической эффективности комплекса полезащитного лесоразведения. Для изучения реального температурного режима среди растений в межполосном пространстве необходима постановка наблюдений над всеми компонентами теплового баланса на полях с различными культурами, окруженных полосами различных конструкций в различных географических районах зоны полезащитного лесоразведения. Особенно большое внимание следует уделить вопросам методики микроклиматических наблюдений, которые не смогут быть разрешены должным образом без введения дистанционной аппаратуры для наблюдения в посевах сельскохозяйственных культур. Необходимо также разработка приборов, измеряющих температуру листьев и стеблей растений, в первую очередь злаковых, так как именно она, в основном, регулирует жизнедеятельность растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бодров В. А. Влияние лесных полос на микроклимат прилегающей территории. М.—Л., 1936.
2. Будыко М. И. Изменение климата в связи с планом преобразования природы в засушливых районах СССР (гл. 5, § 1), Гидрометеоиздат, Л., 1952.
3. Глебова М. Я. Некоторые особенности режима температуры и влажности воздуха в лесных насаждениях и в поле. Труды ГГО, вып. 30, 1951.
4. Гольцберг И. А. Лесные полосы на севере СССР. Метеорология и гидрология, № 6, 1951.
5. Короткевич В. Н. Обзор работ по изучению микроклимата. Труды ГГО, вып. 6, 1936.
6. Матякин Г. И. О влиянии лесных полос на микроклимат. Труды ВНИАЛМИ, вып. VI, 1936.
7. Матякин Г. И. Полезащитные полосы в зоне полупустыни и их влияние на микроклимат. „Полезащитные лесные полосы“. ВАСХНИЛ, 1937.
8. Матякин Г. И. Росташевские защитные лесные полосы. Опыты и исследования. ВНИАЛМИ, вып. V, 1934.
9. Сапожникова С. А. Изменение климата в связи с планом преобразования природы в засушливых районах СССР (гл. 5, § 2). Гидрометеоиздат, Л., 1952.
10. Селянинов Г. П. и Леонтьевский П. Л. Климатические условия сельскохозяйственной культуры на Каменно степной опытной станции. Каменно степная опытная станция, вып. 39, 1931.
11. Справочник агролесомелиоратора, 1949.

ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ БЕЗМОРОЗНОГО ПЕРИОДА НА МЕЖПОЛОСНЫХ ПОЛЯХ

Проводящиеся в нашей стране в осуществление сталинского плана преобразования природы посадки полезащитных полос и орошение на огромных территориях дают широкие возможности не только для борьбы с засухой. Рациональная закладка полезащитных полос с учетом условий перераспределения холодных масс воздуха ночью позволит использовать это мероприятие для широкой борьбы с поздними весенними и ранними осенними заморозками, временами наносящими большой ущерб хозяйствам восточной и юго-восточной части Европейской территории СССР.

Как показывает опыт, наиболее действенной мерой борьбы с заморозками является правильный учет влияния местоположения поля на интенсивность минимальных температур и искусственная мелиорация микроклимата, либо обеспечивающая отвод холодных масс воздуха местного происхождения от поля, либо застилающая его от холодных потоков. Эти мероприятия наиболее действенны в условиях изрезанного, холмистого или волнистого рельефа, даже при небольших уклонах местности, наблюдающихся в степной зоне СССР. Полезащитные лесные полосы, в зависимости от своей конструкции, могут оказать весьма различное действие на распределение ночных температур на прилегающих к ним полях.

Специальные наблюдения над распределением заморозков на межполосных полях в существующих лесных полосах не производились. Но учитывая, что заморозки являются лишь частным случаем в распределении ночных температур, когда уровень их опускается ниже 0° , можно использовать для оценки влияния лесных полос на длительность безморозного периода наблюдения над температурой в ночные часы, производившиеся в разное время в отдельных полезащитных оазисах.

Необходимым условием возможности использования таких наблюдений для указанной выше цели является определение температуры воздуха невысоко над поверхностью почвы, желательно на уровне травостоя. На этих высотах наиболее четко проявляется уменьшение турбулентного обмена под влиянием полезащитных полос, и характер распределения температур зависит в первую очередь от местных условий. На больших высотах, на 1—5 м над почвой, значительно сильнее проявляется горизонтальное перемешивание воздуха, вследствие которого различия в распределении ночной температуры под влиянием лесных полос сглаживаются.

Почти все имеющиеся в настоящее время материалы по распределению температур ночью на межполосных полях относятся к условиям ясных ночей, без ветра или со слабым ветром и характеризуют, таким образом, условия погоды, соответствующие радиационным заморозкам. Наиболее существенным различием в погодных условиях во время радиационных заморозков и в период ночных наблюдений, проводившихся летом, помимо уровня температур, является распределение относительной влажности воздуха, которая в летние ночи, как правило, значительно ниже, чем весной и осенью.

В июне — июле 1951 г. экспедиция ГГО в Каменной Степи провела несколько серий ночных наблюдений в межполосных полях на разном расстоянии от лесных полос и над разными деятельными поверхностями.

Одна серия наблюдений была проведена на поле черного пара около непродуваемой, вполне облитвленной, полосы. Наблюдения проводились при ясном небе, в две ночи при слабом ветре через полосу, с подветренной стороны ее, и в одну ночь — при штиле. При этих условиях, как видно из табл. 1 и 2, при слабом ветре из-за полосы, минимальная температура в 3 часа ночи наблюдалась в зоне затишья за полосой, на расстоянии, равном 2-кратной высоте ее. В середине поля температура оказалась даже выше, чем в самой полосе, что объясняется большим запасом тепла, накопленного полем черного пара в дневные часы, и достаточным турбулентным перемешиванием приземных слоев воздуха в поле при скорости ветра около 1 м/сек.

Таблица 1
Температура и влажность воздуха
Черный пар, полоса непродуваемая (3 часа ночи)

Место наблюдений	13/VII		14/VII		15/VII	
	Температура	Относительная влажность	Температура	Относительная влажность	Температура	Относительная влажность
Высота 20 см						
Середина лесной полосы 37 . . .	16,1	65	14,5	61	17,9	59
Южная опушка	15,9	67	15,4	59	18,2	—
Поле на расстоянии 2-кратном высоте	15,2	63	15,1	55	17,5	54
Середина поля	16,5	59	15,6	59	16,7	56
Высота 150 см						
Середина лесной полосы 37 . . .	16,3	61	15,8	58	17,8	62
Южная опушка	16,3	66	15,7	—	18,1	—
Поле на расстоянии 2-кратном высоте	15,4	67	17,0	54	18,6	59
Середина поля	17,3	57	17,2	52	17,9	58
Облачность	0/0		0/0		0/0	
Ветер, м/сек.	СВ 1,2		СВ 1,0		Штиль	

Примечание. Ветер слабый из-за полосы.

Таблица 2
Градиент температуры ($\Delta t_{20-150 \text{ см}}$) и разность температур (середина поля — место наблюдений) на высоте 20 (d_{20}) и 150 (d_{150}) см
Черный пар, полоса непродуваемая (3 часа ночи)

Место наблюдений	13.VII			14/VII			15/VII		
	Δt	d_{20}	d_{150}	Δt	d_{20}	d_{150}	Δt	d_{20}	d_{150}
Середина лесной полосы 37 . . .	-0,2	-0,4	-1,0	-1,3	-1,1	-1,4	+0,1	+1,2	-0,1
Южная опушка	-0,4	-0,6	-1,0	-0,3	-0,2	-1,5	+0,1	+1,5	+0,2
Поле на расстоянии 2-кратном высоте	-0,2	-1,3	-1,9	-1,9	-0,5	-0,2	-1,1	+0,8	+0,7
Середина поля	-0,8	—	—	-1,6	—	—	-1,2	—	—

При штиле наиболее теплой является опушка лесной полосы, и минимум температуры передвигается в открытое поле, где в это время наблюдался застой приземного слоя воздуха.

Около хорошо продуваемой полосы, при ветре из-за полосы минимум располагается также вблизи нее, в зоне затишья, к середине поля температура повышается. При штиле наблюдается обратное явление (табл. 3, 4).

Таблица 3

Температура и влажность воздуха
Черный пар, полоса хорошо продуваемая (3 часа ночи)

Место наблюдений	17/VII		21/VII		22/VII ¹	
	Температура	Относительная влажность	Температура	Относительная влажность	Температура	Относительная влажность
Высота 20 см						
Середина лесной полосы 111 . . .	19,5	60	10,3	—	14,0	—
Поле на расстоянии 2-кратном высоте	20,2	53	9,6	85	13,8	60
84 м от полосы	18,9	62	—	—	—	—
Поле на расстоянии 10-кратном высоте	—	—	8,6	87	15,2	50
Высота 150 см						
Середина лесной полосы 111 . . .	19,8	—	11,4	—	14,5	—
Поле на расстоянии 2-кратном высоте	20,4	55	11,8	65	14,4	57
84 м от полосы	20,9	55	—	—	—	—
Поле на расстоянии 10-кратном высоте	—	—	10,2	8	15,0	53
Облачность	8/0		0/0		0/0	
Ветер, м/сек.	3 1,0		СЗ 0,5		ЮВ 1,8	

Примечание. Ветер из-за полосы.

Таблица 4

Градиент температуры (Δt_{20-150}) и разность температур (поле на расстоянии 10-кратном высоте — место наблюдений) на высоте 20 (d_{20}) и 150 (d_{150}) см

Место наблюдений	17/VII			21/VII			22/VII		
	Δt	d_{20}	d_{150}	Δt	d_{20}	d_{150}	Δt	d_{20}	d_{150}
Середина лесной полосы 111 . . .	-0,3	—	—	-1,1	+1,6	+1,2	-0,5	-1,2	-0,5
Поле на расстоянии 2-кратном высоте	-0,2	—	—	-2,2	+1,0	+1,6	-0,6	-1,4	-0,6
84 м от полосы	-2,0	—	—	—	—	—	—	—	—
Поле на расстоянии 10-кратном высоте	—	—	—	-1,6	—	—	+0,2	—	<—

Вертикальный градиент температуры в поле как в зоне затишья, так и в середине его, изменяется мало. Резкое уменьшение его отмечается лишь в полосе и на опушке под деревьями. При слабых ветрах лесная полоса оказалась несколько холоднее поля, при штиле — теплее его.

Аналогичная, хотя и неполная, серия наблюдений была проведена на межполосной клетке, занятой хорошим густым травостоем овса (высотой около 80 см). Судя по наблюдениям, проведенным 27/VI, наличие густого травостоя резко меняет распределение ночных температур, и низкие температуры устанавливаются над травостоем уже возле опушки, почти не изменяясь по мере удаления от нее (табл. 5, 6).

¹ 22/VII наблюдения производились к северу от полосы над скошенной травой.

Таблица 5

Температура и влажность воздуха

Овес, полоса снизу непродуваемая, в верхней части продуваемая

Место наблюдений	26/VI		27/VI		28/VI	
	Температура	Относительная влажность	Температура	Относительная влажность	Температура	Относительная влажность
Высота 20 см						
Середина полосы 26	8,5	58	7,7	70	8,3	67
Северная опушка	6,0	77	5,0	85	8,9	66
Поле на расстоянии 2-кратном высоте	—	—	3,2	88	4,5	87
Поле на расстоянии 10-кратном высоте	1,9	82	3,1	81	—	—
Высота 150 см						
Середина полосы 26	9,3	54	8,5	64	9,1	56
Северная опушка	7,5	59	7,3	76	9,2	64
Поле на расстоянии 2-кратном высоте	—	—	4,3	—	8,3	65
Поле на расстоянии 10-кратном высоте	4,7	53	4,3	78	—	—
Облачность	2/0		0/0		0/0	
Ветер, м/сек.	ВЮВ 2,0		ВЮВ 1,0		Штиль	

Примечание. Ветер из-за полосы.

Таблица 6

Градиент температуры ($\Delta t_{20-150 \text{ см}}$) и разность температур (поле на расстоянии 10-кратном высоте — место наблюдений) на высоте 20 (d_{20}) и 150 (d_{150}) см

Место наблюдений	26/VI			27/VI			28/VI		
	Δt	d_{20}	d_{150}	Δt	d_{20}	d_{150}	Δt	d_{20}	d_{150}
Середина полосы 26	-0,8	+6,6	+4,6	-0,8	+4,6	+4,2	-0,8	—	—
Середина опушки	-1,5	+4,1	+2,7	-2,3	+1,9	+3,0	-0,2	—	—
Поле на расстоянии 2-кратном высоте	—	—	—	-1,1	—	—	-3,8	—	—
Поле на расстоянии 10-кратном высоте	-2,8	—	—	-1,2	—	—	—	—	—

На лесогидрометстанции Гигант (Сальский район, Ставропольского края) в 1950 г. в течение 37 дней (с 3/VI по 9/VII) проводились систематические наблюдения над максимальной и минимальной температурой на уровне травостоя озимой пшеницы на разных расстояниях от лесной полосы. Термометры были установлены в защитах Кудряшова. Поле (1×2,5 км) со всех сторон окружено невысокими (около 5—6 м) молодыми непродуваемыми полосами. Основные полосы направлены по меридиану.

Наблюдения проводились на постоянной цепи точек, расположенных на запад от лесной полосы на расстоянии 10, 25, 50, 100, 150, 250 и 500 м от леса. Основная станция находилась в открытой степи в 5 км от цепи. Сравнение ее данных с наблюдениями в точке, расположенной на расстоянии 500 м от полосы (середина поля), дали различия в пределах точности наблюдений (около $\pm 0,2^\circ$).

В табл. 7 приводятся средние разности температур между серединой поля и отдельными точками наблюдений на разных расстояниях от полосы. Цепь точек,

к сожалению, была постоянной, с расчетом на господство восточных ветров (из-за полосы). Фактически же в период наблюдений резко преобладали западные ветры, при которых, как и следовало ожидать, разности минимальных температур перед полосой колеблются в пределах точности отсчетов.

Таблица 7

Разности минимальных температур (середина поля — точка наблюдений)
при разных направлениях и скоростях ветра

Гигант

Расстояние точки от полосы, м	Штиль	Ветер на полосу, м/сек.			Ветер из-за полосы, м/сек.		Ветер вдоль полосы, м/сек.	
		1—2	3—4	4	1—2	3—4	1—2	3—4
10	+0,3	0,0	1,0	0,1	-1,2	-0,4	-0,3	0,0
25	-1,3	-0,1	-0,2	0,0	-1,6	-1,2	-0,6	-0,5
50	-0,1	0,1	-0,2	0,2	-0,3	0,0	-0,2	0,4
100	0,0	0,0	-0,1	0,1	-0,1	0,0	-0,4	0,3
150	0,0	-0,1	-0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,5	0,4
250	0,4	0,3	-0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,3
Число случаев	8	4	1	13	2	2	3	1

При ветрах из-за полосы отмечается относительно сильное снижение температур в зоне затишья, достигающее 1,2—1,5° на расстоянии 25 м от полосы, равном 5-кратной ее высоте. Ближе к полосе понижение температуры несколько меньше.

При ветрах вдоль полосы и под незначительным углом к полосе наиболее низкие температуры также наблюдаются в пределах ближайших к полосе 10—25 м, на которые простирается зона пониженной скорости ветра, образующаяся в этом случае вдоль полосы.

Превышающее 1° снижение температур в точке на расстоянии 25 м от полосы, отмеченное при штиле, определяется не только влиянием полосы, а некоторым сгущением травостоя озимой пшеницы в этой точке, которое и снижает температуру. В связи с этим минимум температуры на этой точке при ветрах из-за полосы и вдоль полосы, очевидно, несколько ниже, чем должен был бы быть только под влиянием полосы.

Слабое тепляющее влияние полосы в приопушечной зоне отмечается при штиле и ясном небе, но на расстоянии 10 м от нее это влияние выявляется уже очень слабо (+0,3°).

На тепляющее влияние открытых лесных опушек на прилегающие поля в тихие ясные ночи указал Г. П. Высоцкий [1] уже в 1894 г., по наблюдениям в Велико-анадольском лесничестве. Это же явление отмечено Г. И. Матякиным [2] в Богдинских лесных полосах, М. Я. Глебовой [4] в Деркульском лесничестве.

М. Я. Глебова приводит для межклеточного поля с озимой пшеницей интересную схему распределения температуры воздуха на высоте 20 и 150 см для двух ночей — одной штилевой и одной ночи со слабым ветром из-за полосы. При штиле выявляется тепляющее действие полосы на прилегающее поле, при слабом ветре из-за полосы минимальные температуры располагаются в зоне затишья за полосой, в приопушечной зоне.

Для Росташевских полос Г. И. Матякин [3] такого тепляющего влияния полосы не выявил. Он пишет „За шестидневный период ночных наблюдений место минимума температуры в преобладающем большинстве случаев совпадает с местом минимума скорости ветра, и поэтому для непродуваемой полосы температурный минимум наиболее выражен и находится непосредственно около опушки, а у ажурной — на некотором отдалении (примерно на 50 м от опушки)“.

Обобщая имеющийся немногочисленный материал по влиянию лесных полос на распределение ночных минимальных температур в межполосном пространстве, необходимо отметить следующее.

1) Влияние лесных полос на термический режим ночи на межполосных полях определяется конструкцией полос и режимом погоды ночи.

2) При слабом ветре из-за полосы возле непродуваемых лесных полос с плотной опушкой минимумы температуры ночью располагаются непосредственно в приопушечной зоне. Около продуваемых лесных полос они отмечаются на расстоянии 3—5-кратной высоты полосы также в зоне максимального затишья. К середине поля минимум повышается за счет лучшего перемешивания нижних слоев воздуха с верхними. Разность температур приопушечной зоны и поля порядка 1—1,5° на высоте травостоя.

3) При ясной штилевой погоде без выраженного направления ветра возле лесных полос продуваемой конструкции образуется приопушечная зона несколько повышенных температур за счет интенсивного теплообмена относительно теплой лесной полосы и холодного поля. Ширина этой зоны незначительна, порядка двух-трех высот полосы, и само повышение температур над минимумом прилегающего поля порядка 0,5°. Минимум температур в этом случае располагается в поле.

4) При скоростях ветра, превышающих 2—3 м/сек., даже в ясные ночи разность минимальных температур в разных частях межклеточного поля сглаживается и не превышает точность определения температуры.

5) С наветренной стороны термического влияния полос не наблюдается.

6) Указанные закономерности выявляются при отсутствии растительности на межклеточном поле (черный пар) или же при слабом и относительно сухом травостое (например, озимая пшеница в фазе молочной и восковой спелости, скошенная трава, всходы и т. п.). При обильном, густом, интенсивно транспирирующем травостое влияние полевых полос на распределение минимальных температур полностью перекрывается влиянием травостоя, в результате которого в межклеточном пространстве может наблюдаться повсеместное значительное снижение ночных температур, определяемое тепловым балансом травостоя. В этом случае разность ночных температур поле — лесная полоса может достигать 6—8° и больше, причем создается резкий скачок температуры в приопушечной зоне.

Сравнение минимальных температур в открытой степи и среди межклеточного поля, проведенное в Каменной Степи Г. Т. Селяниновым и Н. П. Леонтьевским [5] на основании данных метеорологических станций, работавших параллельно в двух точках, показало, что за май и сентябрь минимальные температуры в степи были на 0,4—0,5° ниже, чем в клетке. В остальные месяцы вегетационного периода температуры не различались. В противоречии с этим подсчетом находятся данные по длительности безморозного периода на этих же двух станциях (табл. 8).

Полученные разности на высоте 2 м в обоих случаях так малы, что в среднем можно принять, что температуры ночью в степи и среди достаточно большой межполосной клетки одинаковы, и, следовательно, при оценке влияния лесных полос на длительность безморозного периода надо считаться лишь с изменением условий в пределах самого межклеточного поля.

Наблюдения в Гиганте также подтверждают указанный выше вывод об отсутствии существенных различий в температурах ночи среди широкого межполосного пространства и открытой степи. К этому же выводу приходит Г. И. Матякин [3] в отношении Росташевских полос.

Я. А. Смалко [6], проводивший серию градиентных наблюдений в течение 12 суток (август — сентябрь 1949 г.) на Владимировском опытном поле в открытой степи и в межполосном поле над черным паром, нашел, что поле ночью около 1° теплее степи как на высоте 20, так и 150 см (табл. 9).

Наблюдения проводились в условиях достаточно сильных ветров (1,5—2,2 м/сек. в среднем в ночные часы) и очень слабо выраженной инверсии температур (—0,1,

Таблица 8

Длительность безморозного периода
в Каменной Степи

Станция	Начало	Конец	Длительность
Межполосная .	5/V	2/X	149
Степная . . .	3/V	3/X	152

—0,5°), т. е. в условиях хорошего турбулентного перемешивания, при котором полученное Смалько превышение температуры поля ночью над степью является сомнительным. Произведенное осреднение наблюдений не позволяет оценить физическую сущность полученного им вывода.

Таблица 9

Разность температуры (открытая степь — межполосное поле)
за 12 ночей. Август—сентябрь 1949 г. (по Смалько)

	Часы						
	19	21	23	1	3	5	7
20 см	0,8	1,4	0,7	0,7	1,0	1,4	0,1
150 см	-0,1	0,6	0,4	-0,3	1,1	0,9	0,0
Средняя скорость ветра в степи на высоте 2 м, м/сек.	2,5	2,5	1,8	2,2	1,5	2,0	3,3

Исходя из имеющихся эмпирических данных и теоретических соображений по тепловому балансу степи и достаточно широкого межполосного поля (порядка 15—20-кратной и более высоты взрослых полос), в условиях ровного места и сходной подстилающей поверхности, можно считать доказанным, что существенных изменений длительности безморозного периода под влиянием полезащитных лесных полос продуваемой конструкции ожидать нельзя. Над черным паром длительность безморозного периода в межполосной клетке может в среднем оказаться на несколько дней больше, чем в степи за счет лучшей теплопроводности более влажной почвы. Увеличение длительности безморозного периода в межклеточном поле по сравнению со степью на высоте 2 м (метеобудка) не должно превышать 5—6 дней, что соответствует по расчетам автора [7] превышению минимальных температур весной и осенью порядка 0,5°, отмеченному в Каменной Степи.

Длительность безморозного периода на поверхности черного пара в среднем на 20 дней меньше, чем в метеобудке. Это соотношение не изменяется под влиянием полезащитных полос, так как градиенты температуры в тихие ясные ночи ко времени ночного минимума температур в степи и в клетке существенно не различаются.

Влияние полезащитных полос на уменьшение длительности безморозного периода на межклеточных полях может проявиться косвенно, за счет возникновения заморозков в тихие ясные ночи над более мощным высоким и густым травостоем сельскохозяйственных культур, развивающимся на межклеточных полях за счет лучшего их увлажнения. Это явление заморозков над травой, при отсутствии их над другими подстилающими поверхностями, является результатом резкого выхолаживания травяного покрова под влиянием ослабленного теплообмена с почвой под травостоем, излучения и транспирации растений, особенно интенсивного при малой влажности воздуха. В этих условиях могут возникнуть явления „скрытого заморозка“, когда температура растений опускается ниже нуля при положительной температуре окружающего воздуха и заморозка на травостое.

Явление заморозка над травой наблюдается только при достаточно густом, сомкнутом травостое и поэтому проявляется не в начале вегетационного периода, в фазу всходов, а лишь в более поздних фазах (кущения и позднее). Так как необходимым условием возникновения таких заморозков является наличие интенсивно вегетирующего травостоя, то опасность их для сельскохозяйственных культур ограничивается весенним и ранним летним периодом. Осенью при естественном осеннем отмирании растений опасность возникновения заморозков невелика. Для озимых культур осенью они не опасны вследствие большой морозостойкости подготовленных к зимовке озимых.

Оценка уменьшения длительности безморозного периода под влиянием травостоя очень трудна вследствие большой изменчивости как густоты травостоя, так

и погодных условий из года в год. Как показывают отрывочные сведения, известные автору, в отдельных случаях повреждения культур заморозками этого типа среди клеток над густым травостоем могут наблюдаться на 15—20 дней позднее, чем в открытой степи. В среднем это явление сокращает длительность безморозного периода на 10—12 дней. Вероятность подобных заморозков возрастает с увеличением континентальности климата и увеличением, в связи с этим, суточной амплитуды температуры воздуха и уменьшением влажности его. Относительно редкие повреждения заморозками сельскохозяйственных культур над травостоем в степной и лесостепной зонах объясняются в основном тем, что яровые зерновые культуры в фазе кущения достаточно морозостойки, а в более поздние фазы — цветения и молочной спелости — заморозки даже над травостоем в этих зонах наблюдаются в исключительных случаях. Теплолюбивые культуры (бахчевые, кукуруза, просо и т. п.) также смыкают травостой к тому времени, когда возможность заморозков в силу высокого общего уровня температур уже миновала. В отдельных случаях заморозки этого типа могут оказываться губительными для озимых культур, отличающихся сомкнутым густым травостоем уже с ранней весны. В это же время озимые, начиная интенсивно вегетировать, резко снижают свою устойчивость к низким температурам.

Для сельскохозяйственных культур степной и лесостепной зон наиболее опасными являются заморозки поздней весной и ранней осенью смешанного адвективно-радиационного происхождения, возникающие в результате адвекции воздуха с температурой выше нуля при последующем радиационном выстывании его.

При этом самый заморозок проходит обычно как чисто радиационный при ясном небе, слабом ветре или штиле, высокой относительной влажности воздуха. Как показали подсчеты автора [7], повторяемость заморозков при таких условиях погоды в юго-восточной части Европейской территории СССР составляет 70% всех случаев опасных заморозков, в юго-западной части — 85% и в средней части — 75%.

Чисто адвективные заморозки, сопровождающиеся сильным ветром и часто значительной облачностью, наблюдаются соответственно в 18, 3 и 15% всех случаев. Как показывает опыт, наличие полезных полос положительно влияет на интенсивность адвективных заморозков на межполосном поле, снижая скорость ветра и задерживая быстроту охлаждения растения [8]. При адвективных заморозках наиболее сильные повреждения отмечаются против разрывов в полосах, где скорость ветра обычно повышена.

Увеличение морозоопасности приопушечной зоны полезных полос при радиационных заморозках может быть ориентировочно оценена, если принять, что согласно наблюдениям, температура над травостоем ночью при радиационных условиях погоды в среднем примерно на 1° ниже, чем открытой степи. Градиент температуры в нижних слоях воздуха (20—150 см) в поле и на опушке приходится принимать постоянным, хотя это не совсем точно (см. табл. 1—3). Согласно подсчетам автора [7], среднее понижение минимальной температуры на 1° на высоте 2 м соответствует уменьшению длительности безморозного периода на 5—6 дней. Принимая эту величину одинаковой для весны и осени, можно считать, что в приопушечной зоне полезных полос длительность безморозного периода может быть на 10—12 дней короче, чем среди межполосного поля, при равных условиях подстилающей поверхности.

Ширина приопушечной зоны невелика, не более 3—5 высот полосы, причем для непродуваемых полос эта зона начинается непосредственно у полосы, для продуваемых и ажурных полос она сдвинута несколько дальше в поле.

Восточная окраина поля находится в лучших условиях в отношении повреждения культур заморозками. В случае легкого повреждения растений заморозком, в этой части поля они закрыты от утренних лучей солнца тенью от полосы и благодаря медленному оттаиванию могут оправиться от повреждения, если оно было не слишком сильным.

Указанная выше оценка уменьшения длительности безморозного периода в приопушечной зоне на 10—12 дней сделана при условии равенства подстилающей поверхности среди поля и у опушки. Но весной в период заморозков почва в при-

опушечной зоне, как правило, лучше увлажнена за счет зимних запасов влаги. Благодаря лучшей теплопроводности влажной почвы опасность заморозков здесь понижается и практически в наиболее опасный период с весенними заморозками условия в приопушечной зоне могут быть не хуже, чем в середине поля.

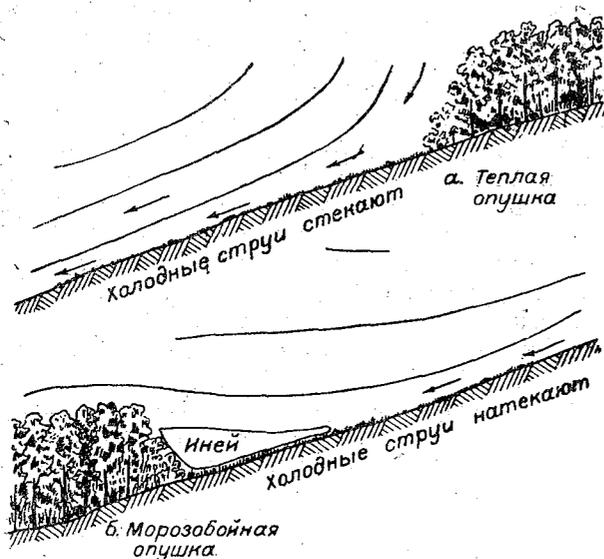


Рис. 1.

При изрезанном, холмистом или волнистом рельефе влияние полезащитных полос на изменение длительности безморозного периода значительно усложняется. В этом случае вопрос решается условиями стока и подтока холодных масс воздуха с прилегающих возвышенностей и склонов, т. е. условиями местной адвекции.

Таблица 10

Влияние местоположения на длительность безморозного периода

Местоположение	Поправка (в днях)		
	Весна	Осень	Всего
Вершины и верхние части склонов	+10	+10	+20
Долины больших рек, прибрежные зоны больших озер и водохранилищ	+5	+10	+15
Широкие (> 1 км) плоские долины	0	0	0
Долины при слабо холмистом рельефе	-5	-7	-12
Открытые плоские небольшие долины и логи. Разность высот бровки и дна $\Delta h < 50$ м	-4-6	-8-10	-12-16
Открытые долины в холмистой местности (Δh от 50 до 100 м)	-6-10	-10-15	-16-25
Замкнутые долины и котловины (Δh от 50 до 100 м)	-12	-18	-30
Сырые низины	-11	-14	-25
Лесные поляны	-11	-14	-25
Города	+5	+10	+15
Побережье моря	+8	+12	+20

Примечание. Знак „+“ (плюс) означает увеличение длительности безморозного периода, знак „-“ (минус) уменьшение его по сравнению с открытым ровным местом.

Этот вопрос разрабатывался Г. Н. Высоцким [9], схема которого по качественному влиянию полос на склонах на длительность безморозного периода приводится на рис. 1. Отсутствие специальных наблюдений очень затрудняет количественную оценку влияния местной адвекции, интенсивность которой определяется площадью воздухообора, крутизной и протяженностью склона, свойствами прилегающих к нему пониженных форм рельефа, обеспечивающих сток холодного воздуха.

Изменение длительности безморозного периода под влиянием рельефа дано в табл. 10. Таблица 10 составлена по данным автора и показывает среднюю величину этих изменений без полезационных лесных полос.

При расположении лесных полос поперек склона (по горизонталям), как это рекомендуется гидрометслужбой для задержания поверхностного стока на склонах в холмистых районах с неустойчивыми ветрами, полосы в верхней части склона в том случае, когда водораздел не используется под сельскохозяйственными культурами, должны быть густыми внизу, чтобы задерживать сток холодного воздуха с водораздела. Полосы, расположенные в средней и нижней частях склона, обязательно должны быть хорошо продуваемыми в нижней части, чтобы обеспечивать сток холодного воздуха со склона и не создавать его подпора. С этой же целью в нижних полосах следует давать дополнительные разрывы для стока холодного воздуха в балки и овраги.

Все полосы, расположенные вдоль склона (поперек горизонталей), должны в нижней своей части иметь с обеих сторон свободный сток воздуха в прилегающие долины.

Располагая лесные полосы по склонам в зависимости от условий рельефа с таким расчетом, чтобы обеспечить максимальный сброс холодного воздуха со склонов в балки и овраги, не используемые под сельскохозяйственные культуры, можно значительно увеличить длительность безморозного периода и уменьшить опасность заморозков на полях, расположенных на склонах.

Долины шириною свыше 700—800 м по длительности безморозного периода не отличаются от ровного места на незначительно превышающих их водоразделах. Поэтому к ним также относится все сказанное выше в отношении изменения длительности безморозного периода на ровном месте.

ВЫВОДЫ

1. Влияние лесных полезационных полос на термический режим межполосных полей в тихие ясные ночи незначительно. Существенных изменений в длительности безморозного периода на межполосных полях, по сравнению с открытой степью, ожидать нельзя. Исключение составляет узкая приопущенная зона около полос (порядка не более 3—5 высот полосы), в которой длительность безморозного периода может быть меньше (до 10 дней), чем в середине поля.

2. Влияние полезационных полос на длительность безморозного периода проявляется косвенно, за счет возникновения поздних радиационных заморозков над травостоем межполосных полей. При густом сомкнутом травостое на межполосном поле весенние радиационные заморозки могут наблюдаться в среднем на 10—12 дней позднее, чем в открытой степи с несомкнутым травостоем. Наиболее опасны эти заморозки для озимых культур, рано смыкающих травостой.

3. Отвод холодного воздуха местной адвекции при закладке полезационных полос на склонах позволяет значительно улучшить микроклимат склонов и частично долин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий Г. Н. Суточные минимумы температуры на Великоанадольском участке экспедиции Лесного департамента. Труды экспедиции, снаряженной Лесным департаментом под руководством проф. Докучаева, 1894.
2. Матякин Г. И. Полезационные лесные полосы в зоне полупустыни и их влияние на микроклимат. Труды ВИАЛМИ. Полезационные лесные полосы ВАСХНИЛ, вып. VIII, 1937.
3. Матякин Г. И. О влиянии лесных полос на микроклимат. Опыты и исследования. ВИАЛМИ, вып. 6, 1936.

4. Глебова М. Я. Некоторые особенности режима температуры и влажности воздуха в лесных насаждениях и в поле. Труды ГГО, вып. 30 (92), 1951.
5. Селянинов Г. Т. и Леонтьевский Н. П. Климатические условия с.-х. культуры на Каменностепной опытной станции ГИОА. Каменностепная опытная станция, вып. 34, 1930.
6. Скородумов А. С. и Смалько Я. А. Влияние защитных лесных насаждений на элементы водного баланса и климат приземного слоя атмосферы. Труды по агролесомелиорации. Научный отчет за 1948. Укр. НИИ агролесомелиорации и лесного хозяйства, 1950.
7. Гольдберг И. А. Климатическая характеристика заморозков и методы борьбы с ними в СССР. Труды ГГО, вып. 17 (79), 1949.
8. Панфилов Я. О конструкции лесных полос. Конструкция лесных полос и заморозки. Журнал „На лесокультурном фронте“, № 7—8, 1932.
9. Высокый Г. Н. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. 1938.
10. Рыжиков Д. П. и Руденко А. И. Агротехника люцерны в условиях полей, защищенных лесными полосами. Труды по агролесомелиорации. Научный отчет за 1948 г. Укр. НИИ агролесомелиорации и лесного хозяйства, 1950.

АЭРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ПЕРИОДОВ ЛЕТОМ 1951 г. В КАМЕННОЙ СТЕПИ

Летом 1951 г. в период с 20/VI по 22/VII была проведена комплексная экспедиция ГГО в Каменную Степь, Воронежской области. Во время работ экспедиции иногда наблюдались засушливые периоды, часто с наличием суховейных ветров. Имеющиеся в нашем распоряжении материалы аэрологических наблюдений дают возможность разобрать некоторые особенности в строении атмосферы в эти периоды. В экспедиции проводились наблюдения как в самом нижнем слое, так и в более высоких слоях тропосферы при помощи:

- 1) подъема метеорографов и других приборов на привязных аэростатах и самолетах,
- 2) радиозондовых подъемов,
- 3) базисных шаропилотных наблюдений,
- 4) выпуска уравновешенных шаров-пилотов.

В работе на основании материалов аэрологических наблюдений попытаемся проследить для периодов засухи и суховеев, трансформацию воздушного потока и некоторые различия метеорологических элементов, наблюдаемые в нижних слоях атмосферы над открытой степью и зоной лесных полос.

Под засушливым периодом будем условно подразумевать периоды с погодой, при которой температура воздуха в полуденные часы выше 25° , относительная влажность 25% и меньше, дефицит насыщения 25 мб и больше. Те же погодные условия, сопровождающиеся ветрами у земной поверхности не менее 5 м/сек., будем считать суховеями.

Судить о наличии засухи и суховеев будем по метеорологическим наблюдениям пункта, расположенного в открытой степи на пару в нескольких километрах от массива лесных полос. По данным этих наблюдений, исходя из указанных выше градаций погоды, можно наметить два периода, во время которых наблюдалась засуха и суховей. Первый период — с 25 по 29/VI. Ход метеорологических элементов у земной поверхности приведен в табл. 1. Второй засушливый период, уже с наличием суховейных ветров, был с 9 по 16/VII с кратковременными перерывами. Ход метеорологических условий дан в табл. 2.

Далее дадим краткую характеристику циркуляционных условий этих периодов.

Аэросиноптические условия

По данным радиозондовых подъемов, производимых два раза в сутки, построены изоплеты температуры воздуха. На рис. 1 даны изоплеты температуры воздуха для 20° , 10° , 0° и т. д., через 10° , причем по оси абсцисс отложено время от 20/VI до 22/VII, а по оси ординат — высоты. На рисунке хорошо заметно начавшееся 22/VI снижение высоты всех изотерм. Например, изотерма 0° была 21/VI на уровне 4200 м, а к 26/VI понизилась до 2300 м, соответственно, высота начала стратосферы понизилась с 12 до 10,5 км. Такое резкое понижение температуры воздуха было вызвано вхождением с севера холодного воздуха.

Далее дадим краткий синоптический анализ процессов, вызвавших засушливые периоды. Эти анализы проведены при участии М. В. Завариной.

Образовавшийся на севере в холодной массе воздуха антициклон начал быстро опускаться сначала на юго-запад, а затем почти на юг. Траектория движения центра

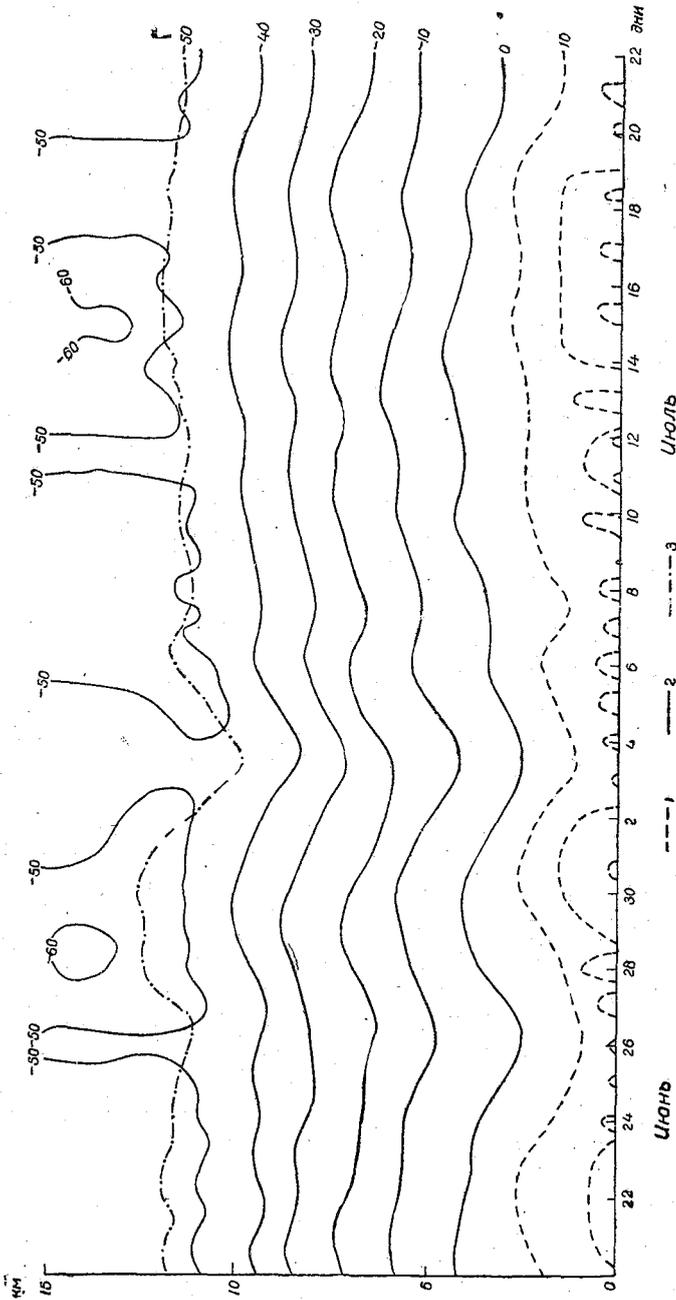


Рис. 1. Изоплеты температуры воздуха.

1 — положительные изотермы, 2 — отрицательные изотермы, 3 — высота тропопаузы.

антициклона на земной поверхности проходила 22/VI над Северной Норвегией, 24 — в районе Вологды, 25 — около Москвы и 26/VI несколько восточнее Воронежа. С 26 по 29/VI антициклон стал практически неподвижным, а его центр медленно смещался на юго-восток. Траектория движения центра антициклона на уровне поверхности 850 мб проходила до 26/VI параллельно перемещению центра на земле,

но значительно западнее ее, примерно по линии Петрозаводск — Харьков. Далее их траектории сближаются и почти совпадают. Построенная траектория движения воздушной частицы на поверхности 850 мб проходит немного восточнее траектории движения центра антициклона на земной поверхности. После 26/VI траектория описывает почти замкнутую окружность с центром около Каменной Степи и радиусом 200—300 км, проходя через районы Саратова и Ворошиловграда.

Таблица 1

Значения метеорологических элементов за период с 25 по 29/VI 1951 г. в степи на пару

Дата	Метеоэлементы	8	10	12	14	16	18
25/VI	<i>t</i>	16,8	18,4	20,4	21,4	20,7	19,1
	<i>U</i>	42	29	26	25	25	27
	<i>e</i>	7,9	6,2	6,1	6,3	6,2	6,1
	<i>d</i>	12,1	16,1	19,2	20,5	19,5	17,2
	<i>v</i>	CB4	CB4	CB8	CB6	CB6	CB7
	Облачность	0/0	1/1 Cu	0/0	0/0	1/1 Cu	0/0
26/VI	<i>t</i>	18,2	20,2	21,3	22,0	23,1	23,1
	<i>U</i>	33	26	22	19	20	22
	<i>e</i>	7,0	6,0	5,6	5,2	5,1	5,7
	<i>d</i>	15,0	19,0	21,1	22,9	24,3	23,6
	<i>v</i>	B4	B4	CB3	Ю2	Ю2	Ю1
	Облачность	2/0 Ci	0/0	2/0 Ci	1/0Ci	0/0	0/0
27/VI	<i>t</i>	23,5	25,1	25,8	27,1	27,0	25,7
	<i>U</i>	24	18	17	15	15	15
	<i>e</i>	7,0	5,8	5,8	5,5	5,4	5,0
	<i>d</i>	23,6	27,8	29,1	32,3	32,2	29,9
	<i>v</i>	3	2	3	2	2	1
	Облачность	0/0	0/0	0/0	0/0	10/0Cs	2/0 Cs
28/VI	<i>t</i>	26,1	28,7	28,7	29,9	29,3	28,3
	<i>U</i>	20	16	15	14	15	18
	<i>e</i>	6,8	6,1	5,9	6,0	6,1	7,1
	<i>d</i>	28,7	33,0	35,5	38,2	35,8	34,9
	<i>v</i>	2	2	2	3	2	1
	Облачность	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
29/VI	<i>t</i>	25,7	28,1	29,4	30,2	31,2	29,8
	<i>U</i>	29	26	26	26	23	25
	<i>e</i>						
	<i>d</i>	24,8	29,7	32,1	33,7	36,6	33,2
	<i>v</i>	2	2	3	3	2	1
	Облачность	0/0	0/0	0/0	1/1 Cu	1/1 Cu	0/0

Примечание. *t* — температура воздуха, *U* — относительная влажность (в %), *e* — абсолютная влажность (в мб), *v* — скорость ветра (в м/сек.).

Таким образом, в период с 26 по 29/VI район Каменной Степи находился почти в центре малоподвижного антициклона. Из-за малых скоростей ветра у земной поверхности этот период отнесен нами не к суховейному, а к засушливому. Следует отметить, что с 27 по 29/VI в ряде пунктов был отмечен суховей, например, в Ростове-на-Дону скорости ветра доходили до 6—8 баллов при температуре воздуха выше 30° и относительной влажности около 20%, в Сталинграде температура воздуха была 33°. Один и тот же антициклон вызвал в Каменной Степи засуху, а в более южных районах суховей.

Ниже будут разобраны условия трансформации воздушной массы в этот период.

После 29/VI началось вновь быстрое понижение температуры воздуха на всех высотах, сопровождавшееся образованием вначале кучевой, а затем и кучево-дождевой облачности до 10 баллов. В период с 1 по 3/VII через районы Каменной

Таблица 2

Значения метеорологических элементов за период с 9 по 16/VII 1951 г. в степи на пару

Дата	Метеозле- менты	Часы					
		8	10	12	14	16	18
9/VII	<i>t</i>	23,0	25,0	26,1	28,7	28,5	27,3
	<i>U</i>	43	29	23	22	21	22
	<i>e</i>	12,0	9,1	7,8	8,6	7,8	8,1
	<i>d</i>	12,2	24,1	27,6	32,7	32,9	29,8
	<i>v</i>	СВ4	ВЮВ5	СВ4	ВЗ	ВЮВ6	ЮВ4
	Облачность	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
10/VII	<i>t</i>	25,7	28,1	29,4	30,2	31,2	29,8
	<i>U</i>	29	26	26	26	23	25
	<i>e</i>	9,7	10,0	10,5	11,0	10,5	10,5
	<i>d</i>	24,8	29,7	31,1	33,7	36,6	33,2
	<i>v</i>	ЮЮВ2	ЮЮВ4	ЮЮВ8	Ю5	ЮЮВ8	ВЮВ4
	Облачность	0/0	0/0	0/0	1/1 Сu	1/1 Сu	0/0
12/VII	<i>t</i>	28,8	31,2	33,4	33,7	33,6	31,8
	<i>U</i>	31	27	24	22	22	28
	<i>e</i>	12,4	12,1	12,0	11,3	11,7	12,9
	<i>d</i>	28,8	35,1	41,4	43,2	42,6	35,9
	<i>v</i>	В7	В7	В8	ВСВ7	ВСВ8	ВСВ8
	Облачность	0/0	0/0	1/1 Сu	9/9 Сu	7/7 Сu	0/0
13/VII	<i>t</i>	24,7	27,7	28,2	29,6	30,3	29,1
	<i>U</i>	39	33	31	28	25	27
	<i>e</i>	12,1	12,4	11,8	11,7	10,9	11,0
	<i>d</i>	20,2	26,3	28,0	31,5	34,0	30,9
	<i>v</i>	ВСВ4	ВСВ4	ВСВ3	ВСВ4	ВСВ6	ВСВ6
	Облачность	0/0	2/2 Сu	1/1 Сu	0/0	0/0	0/0
14/VII	<i>t</i>	24,8	27,5	29,4	31,7	32,1	31,3
	<i>U</i>	30	26	20	22	23	23
	<i>e</i>	9,3	9,7	8,5	10,5	10,9	10,5
	<i>d</i>	23,5	28,7	34,2	38,3	38,9	37,2
	<i>v</i>	Штиль	ВСВ4	В6	ВСВ4	ВЮВ6	ВЮВ4
	Облачность	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
15/VII	<i>t</i>	27,3	32,4	34,6	35,7	34,8	34,1
	<i>U</i>	39	33	26	24	28	27
	<i>e</i>	14,2	16,3	14,0	13,3	14,3	14,1
	<i>d</i>	23,3	34,0	43,1	44,1	40,3	41,4
	<i>v</i>	СС33	ВСВ6	ЮЮВ8	ЮЮВ8	ЮВ2	ССВ4
	Облачность	7/3 Сu, Ас	0/0	7/7 Сu	10/9 Сu, Сi	5/1 Сi, Сu	1/0 Сi
16/VII	<i>t</i>	28,8	31,2	32,4	34,6	34,0	33,6
	<i>U</i>	43	36	31	25	24	26
	<i>e</i>	17,2	16,4	15,4	13,8	12,9	13,2
	<i>d</i>	23,6	30,6	34,9	43,3	42,2	40,9
	<i>v</i>	ВСВ4	ВСВ7	ВСВ6	ВСВ8	СВ8	ВСВ6
	Облачность	0/0	0/0	1/1 Сu	0/0	2/2 Сu	0/0

Примечание. 11/VII наблюдений не было.

Степи прошел холодный фронт с 10-балльной облачностью типа Св. Нулевая изотерма вновь понизилась к 3/VII до 2100 м; 4 и 5/VII прошел размытый теплый фронт, но без осадков, вызвавший повышение температуры на всех уровнях; 6 и 7/VII вновь отмечено кратковременное прохождение холодного фронта.

Второй засушливый период с наличием суховейных ветров наблюдался с 9 по 16/VII. Циркуляционные условия, вызвавшие суховей в районе Каменной Степи, были несколько иные, чем в первом разобранным нами случае. Антициклон азорского происхождения в течение нескольких дней смещался почти в широтном направлении на восток.

Иногда антициклон делился на два центра. Например, 14/VII один центр антициклона находился в районе Москвы, а другой — над южной частью Уральского хребта. Прохождение размытых фронтов в этот период было отмечено 11 и 15/VII.

Траектория движения отдельной частички воздуха на уровне поверхности 850 мб по периферии антициклона проходила 6/VII через Англию, далее через Гданьск, Минск, Москву и Казань и к 12/VII, описав дугу, подошла к Воронежу с востока. В дальнейшем эта траектория описала почти окружность. Можно считать, что основной поток воздуха в этом антициклоне должен проходить несколько южнее указанной выше траектории.

Если в первом случае засухи мы имели меридиональный перенос холодного воздуха, то во втором случае перенос был широтный. На различное происхождение воздушных масс указывают также значения абсолютной и удельной влажности воздуха, приведенные в таблицах 1, 2 и 7. По очагам формирования массы воздуха, вызвавшие засуху, в первый период, можно отнести к морскому полярному воздуху и к морскому тропическому воздуху для второго периода. Очевидно, только интенсивная трансформация этих масс воздуха как по пути их движения, так и на месте могла вызвать образование в них засухи и суховей.

Ветровой режим и турбулентный обмен

На основании анализа синоптических условий можно считать, что оба засушливых периода в Каменной Степи были вызваны трансформацией воздуха в антициклонах. Прежде чем перейти к рассмотрению количественных характеристик процесса трансформации, кратко рассмотрим строение антициклона, ветровой режим и температурный обмен в эти периоды.

Как известно, в антициклонах имеется слой опускания воздуха. В некоторых случаях процесс опускания может вызвать образование инверсии оседания (сжатия) или, что бывает чаще, слоя с уменьшенными значениями вертикального температурного градиента. При рассмотрении процессов трансформации воздуха по высотам наличие такого слоя имеет весьма существенное значение.

По данным радиозондовых подъемов в оба засушливых периода как в утренние, так и в дневные часы мы имеем слой с инверсией или уменьшенными значениями вертикального температурного градиента γ . Значения γ , высота начала ($H\gamma$) и толщина слоя с уменьшенными значениями γ (ΔH) приведены в табл. 3. Следует отметить, что при радиозондовых подъемах обычно несколько сглаживаются инверсии температуры воздуха и поэтому такие значения γ , как $0,0-0,2^\circ$, можно относить к инверсиям.

Средняя высота слоя с уменьшенными значениями γ или инверсией в первый период составила 2,3 км, а во второй — 2,2 км от земной поверхности. Слой с инверсией температуры или уменьшенными значениями γ должен явиться задерживающим в развитии конвективной турбулентности на большие высоты и, в частности, тормозящим развитие облачности.

Высота задерживающего слоя, как видно из табл. 3 (день), повышается по мере трансформации воздушной массы и не зависит от скорости ветра ниже него.

Прохождение даже размытых фронтов вызывает уничтожение этого слоя (11, 15 и 16/VII). Толщина задерживающего слоя относительно велика и составляет ночью около 1,2—1,5 км, днем 0,6—0,9 км. Уменьшение толщины слоя в дневные часы и некоторый подъем его вызваны усилением турбулентности и ее распространением на большие высоты.

По данным М. И. Будыко [1], в засушливых районах, к которым относится и Каменная Степь, большая часть радиационного тепла передается в атмосферу турбулентным теплообменом. Интенсивный турбулентный теплообмен в антициклонах

будет иметь место только, очевидно, в нижних слоях до высот 2—3 км. При рассмотрении трансформации воздуха в антициклонах наличие слоя с уменьшенными значениями вертикального градиента температуры необходимо учитывать, так как процессы прогрева воздуха выше и ниже задерживающего слоя должны быть различными. Величина турбулентного теплообмена тесно связана с характером подстилающей поверхности — ее шероховатостью, альбедо, влажностью и испарением. Поэтому, меняя характер подстилающей поверхности, можно весьма существенно изменить термический и водный режим нижних слоев атмосферы и тем самым ослабить прогрев воздуха, т. е. уменьшить интенсивность засухи и суховеев.

Таблица 3
Характеристики задерживающего слоя в антициклонах
25—29/VI и 9—16/VII 1951 г.

Время наблюдений	Июнь					Июль								
	25	26	27	28	29	9	10	11	12	13	14	15	16	
Утро	γ	0,0	0,23	0,38	0,22	0,27	0,27	0,24	—	0,34	0,0	0,17	0,45	—
	$H\gamma$	2,8	1,8	2,3	2,7	3,1	2,1	3,3	—	1,5	2,1	1,6	2,5	—
	ΔH	0,8	1,2	1,3	1,6	0,8	1,2	1,7	—	1,5	1,3	1,5	1,5	—
День	γ	0,25	0,47	0,29	0,32	0,48	0,26	0,45	—	0,26	0,0	0,15	—	0,59
	$H\gamma$	2,5	2,7	3,0	3,2	4,0	3,3	2,8	—	3,2	2,3	2,4	—	2,6
	ΔH	0,5	0,6	1,0	0,7	1,0	0,6	1,6	—	0,6	0,7	0,9	—	0,7

В нашей работе [2] указано на большую роль увлажнения подстилающей поверхности в уменьшении интенсивности суховеев. Наличие же задерживающего слоя при суховеях на высоте около 2 км ограничивает тепло и влагообмен относительно небольшим слоем атмосферы. Эти обстоятельства еще раз подтверждают большую эффективность всего комплекса мероприятий сталинского плана преобразования природы в борьбе с засухой и суховеями.

Ветровые режимы обоих засушливых периодов во многом резко различаются между собой, но имеют и некоторые общие черты.

Таблица 4
Среднесуточные значения направления (в град.) и скорости ветра (в м/сек.) по высотам. Июнь

Дата	Высота, км						
	0,1	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
26	150 3	114 4	123 4	123 4	104 3	104 3	147 3
27	225 3	206 3	232 3	223 3	240 3	238 3	239 1
28	207 2	206 3	224 3	223 3	264 3	262 3	227 3
29	125 2	185 3	172 3	177 3	163 3	167 3	193 4

Направление ветра в период с 26 по 29/VI колеблется от юго-восточного и южного до западного (табл. 4). Скорости ветра как у земной поверхности, так и в слое до 3 км почти не меняются с высотой, суточный ход выражен очень слабо. Во втором периоде северо-восточное и восточное направления ветра более устойчивые как по высотам, так и в отдельные дни. Скорости ветра часто имеют максимальные значения у земной поверхности, мало меняясь до высоты 3 км. Скорость ветра в период с 9 по 16/VII значительно больше, чем в первом случае, достигая 8—10 м/сек. у земли и создавая здесь суховейные явления (табл. 5). Но в оба периода можно отметить и некоторые общие положения, а именно, сохранение почти постоян-

Распределение направления (в град.) и скорости ветра (в м/сек.) по высотам. Июль

Дата	Часы	Высота, км						
		0,1	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
9	17	53 4	47 5	41 5	45 6	36 5	30 6	19 7
10	12	86 9	85 8	83 8	77 8	83 8	70 7	81 8
11	13	73 8	66 8	69 9	83 8	76 5	122 5	166 5
12	12	37 10	34 8	31 10	43 9	24 11	34 10	30 9
13	17	49 5	46 6	45 7	36 7	28 6	30 6	31 10
14	14	58 5	45 6	42 7	35 7	31 8	50 6	50 10
15	17	47 8	45 8	44 8	41 8	23 9	26 12	34 11
16	12	26 8	32 9	35 9	39 10	29 9	33 10	25 10

ной скорости ветра в слое до 3 км, даже иногда некоторое уменьшение ее к уровню 3 км, и наличие часто наблюдающегося с высотой левого поворота ветра. Уменьшение скорости ветра к высоте 3 км, возможно, связано с наличием на этом уровне

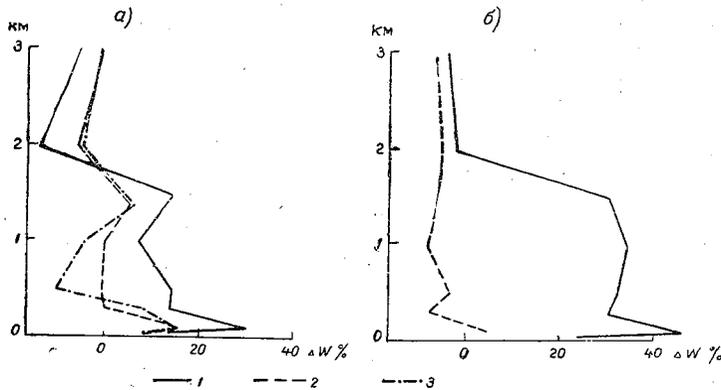


Рис. 2. Суточный ход отклонений вертикальной скорости шара-пилота от табличной Δw (100%).
 а — период с 9 по 16/VII, б — период с 25 по 29/VI. 1 — день, 2 — утро, 3 — вечер.

слоя с уменьшенным вертикальным градиентом. Очевидно, интенсивный обмен в слое до 2 км и ровная подстилающая поверхность (степь) быстро выравнивают направления ветра по высоте.

Некоторой дополнительной характеристикой состояния атмосферы служат отклонения величин вертикальной скорости шара-пилота от табличной (Δw в %). Величина Δw , как известно, является функцией турбулентного состояния атмосферы: при усилении турбулентности величина Δw возрастает, при ослаблении величина Δw уменьшается. На рис. 2 приведен ход отклонений Δw с высотой. С высоты около 2 км отклонения за оба периода становятся отрицательными, т. е. с этого уровня турбулентные движения должны ослабевать. Зато ниже 2 км в дневные часы наблюдается значительная турбулентность, особенно большая в слое до 0,5—1,0 км. Утром и вечером турбулентность значительно меньше вследствие ослабления конвективных токов и только несколько возрастает на уровне 1,5 км, очевидно, вследствие динамических причин, т. е. усиления скорости ветра в этом слое. Ход отклонений вертикальной скорости шара-пилота, приведенный на рис. 2, характерен, по нашему мнению, для антициклональных условий в районе Каменной Степи.

М. П. Чуриновой до данным базисных наблюдений произведен расчет коэффициента турбулентности. Расчет производился по формуле Д. Л. Лайхтмана

$$k = \frac{2l (\lg e)^2}{\left(d \lg [(U_g - u)^2 + v^2] \right)^2 dz}$$

где k — коэффициент турбулентности в слое механического перемешивания в м²/сек.; $l = 2\omega \sin \varphi$ — параметр Кориолиса (ω — угловая скорость вращения земли, φ — широта места); u и v — составляющие скорости ветра; U_g — составляющая геострофической скорости ветра; z — высота в метрах; e — основание натурального логарифма.

Величина коэффициента турбулентности в период с 25 по 29/VI в дневные часы доходит до 18—19 м²/сек., а во второй период в те же часы — до 27—28 м²/сек.

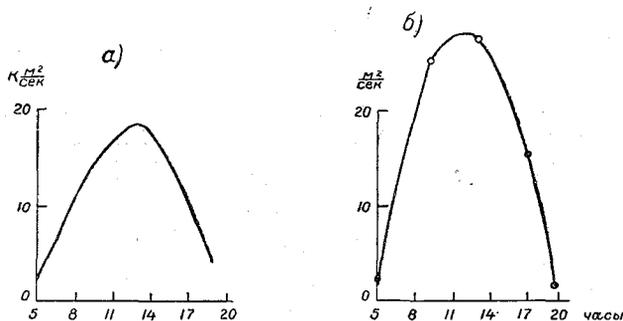


Рис. 3. Суточный ход коэффициента турбулентности.
а — период с 25 по 29/VI, б — период с 9 по 16/VI.

В обоих случаях величина коэффициента турбулентности имеет хорошо выраженный суточный ход с максимумом в полуденные часы. Абсолютные значения k относительно велики и указывают на наличие интенсивного турбулентного обмена в слое механического перемешивания как над полосами, так и над степью. На рис. 3 дан суточный ход k в оба периода.

Некоторое уменьшение величины коэффициента турбулентности в период 25—29/VI может быть частично объяснено меньшими скоростями ветра в слое механического перемешивания (в нашем случае слой в 1 км) по сравнению со скоростями ветра во втором периоде.

Трансформация воздушных масс в засушливые периоды

В настоящее время большинство исследователей объясняют образование засухи и суховеев на юго-востоке Европейской территории СССР трансформацией воздушных масс. К этому числу нужно отнести работы В. Г. Кастрова [4], Е. В. Ишерской [7], В. Р. Дубенцова [5], М. В. Завариной [6], Б. Л. Дзердзеевского [3] и ряда других. Например Дубенцов приводит величины изменений температуры воздуха для интенсивной трансформации быстро движущегося воздушного потока в 3—4° за сутки и для мало подвижного антициклона от 1,5 до 2° за сутки.

Приведенные материалы дают нам также основание объяснить оба случая образования засухи в районе Каменной Степи как результат трансформации воздушного потока. К сожалению, имеющиеся у нас наблюдения позволяют проследить интенсивность процесса трансформации только в нижнем слое (2—3 км) и по наблюдениям в одном пункте.

Трансформация воздуха в период с 25 по 29/VI отнесена нами к типу трансформации в мало подвижной воздушной массе. Наземные наблюдения для этого периода приведены в табл. 1. Они показывают быстрый прогрев воздуха и уменьшение его относительной влажности особенно в дневные часы. Величина абсолютной влажности воздуха остается почти без изменения.

Величина прогрева воздуха по высотам дана в табл. 6.

Таблица 6 составлена по данным радиозондовых подъемов за 16 час. 45 мин. Приведенные в таблице числа дают величины суточных изменений температуры воздуха (t) и относительной влажности (u) на разных высотах, причем знак минус показывает, что за сутки температура воздуха понизилась, а относительная влаж-

ность повысилась. Высоты взяты от уровня моря, отметка пункта равна 190 м. Поскольку всюду берется один срок наблюдений, влияние суточного хода температуры и влажности воздуха сведено к минимуму.

Таблица 6

Суточные изменения температуры (t) и относительной влажности (U) воздуха по высотам

Дата	Высота, км												
	0,0		0,5		1,0		2,0		3,0		4,0		
	t	U	t	U	t	U	t	U	t	U	t	U	
Июнь													
26	1,7	6	3,3	8	3,7	7	2,9	7	0,8	7	1,1	8	
27	4,0	4	3,9	7	2,7	7	2,6	7	3,0	7	4,4	7	
28	2,8	1	1,8	0	3,3	0	4,1	0	2,1	0	0,8	0	
29	1,3	-7	2,5	-2	2,6	-2	0,7	-2	1,3	-2	3,0	-3	
Сумма . .	9,8	—	11,5	—	12,3	—	10,3	—	7,2	—	9,3	—	
Июль													
10	2,5	-2	1,3	-4	2,5	-2	4,0	-1	2,9	1	2,6	1	
11	1,2	0	1,1	-5	1,5	-7	1,0	-13	1,8	-10	0,6	-18	
12	1,3	1	1,7	6	0,7	7	0,4	10	2,4	14	0,4	12	
13	-3,4	-3	-3,2	-2	-3,2	-1	-2,8	-3	-3,1	0	3,9	0	
14	1,8	5	1,3	5	1,5	7	1,6	10	-0,3	11	-2,1	11	
15	1,7	-4	3,6	-7	3,9	-10	4,4	-15	1,1	-20	-0,6	-21	
16	0,8	0	-0,5	1	-0,4	0	-2,6	5	-1,5	7	0,1	8	
Сумма . .	5,9	—	4,5	—	6,5	—	5,0	—	6,4	—	4,9	—	

Прогрев малоподвижного воздуха в первый засушливый период был весьма значительным, особенно в нижних слоях. Наибольшая величина суммарного прогрева за четыре дня, равная 12,3°, приходится на уровень 1 км. На земной поверхности прогрев был даже несколько меньше и составил 9,8°. Выше 1 км суммарная величина прогрева также уменьшается. Увеличение интенсивности прогрева воздуха на высоте около 1 км можно объяснить или адвекцией тепла в начальный период или наличием большого количества пыли, почти постоянно наблюдающейся в периоды засухи. Увеличенное содержание пыли в атмосфере в периоды засухи отмечалось неоднократно. Например, 8/VII 1951 г. О. А. Дроздов при полете на ПО-2 над Каменной Степью указывает на значительное ухудшение видимости на высоте до 2—2,5 км вследствие запыленности атмосферы.

Наличие большого количества пыли в атмосфере при суховеях и засухах было одной из причин объяснения происхождения суховеев как следствия переноса прогретого воздуха из степей и пустынь Средней Азии и юго-востока Европейской территории СССР. Интенсивное развитие в дневные часы конвективной турбулентности и часто наблюдающиеся вихри могут, очевидно, вызвать быстрый перенос пыли в верхние слои атмосферы в районе трансформации воздушной массы.

Не вдаваясь в разбор отдельных колебаний величины прогрева воздуха на разных высотах и в разные дни, отметим только, что средняя за сутки величина прогрева воздуха в малоподвижном антициклоне на земной поверхности составляет 2,4°, а на высоте 1 км — даже 3,1°, или соответственно 0,1 и 0,13° в час. Эти величины значительно больше приведенных в работе В. Р. Дубенцова величин интенсивности трансформации для тех же условий.

Из табл. 6 следует, что уменьшение относительной влажности воздуха по высотам также несколько больше, чем по земной поверхности. На рис. 4 приведены

средние значения относительной и абсолютной влажности по радиозондовым подъемам до высоты 4 км. Как видно из рисунка, величина относительной влажности в слое до 4 км почти не меняется и составляет всего 18%, а величина удельной влажности резко падает с высотой. К сожалению, измерения радиозондами относительной влажности в условиях засухи дают недостаточно надежные результаты. В первый засушливый период был всего один подъем метеорографа на самолете 27/VI в 14 час. Изменения температуры и влажности за эти дни дано на рис. 4.

Величина относительной влажности до высоты 1 км остается почти постоянной, а затем начинает медленно увеличиваться, доходя до 34% на уровне 3 км. Вертикальный температурный градиент больше адиабатического был в слое до 1,5 км. Результаты самолетного зондирования даны в табл. 7. Можно считать, что в этот период прогрев воздуха сопровождался его высушиванием до относительно больших высот. Величина удельной влажности уменьшилась почти на 2 г к уровню 2 км по сравнению с наземной.

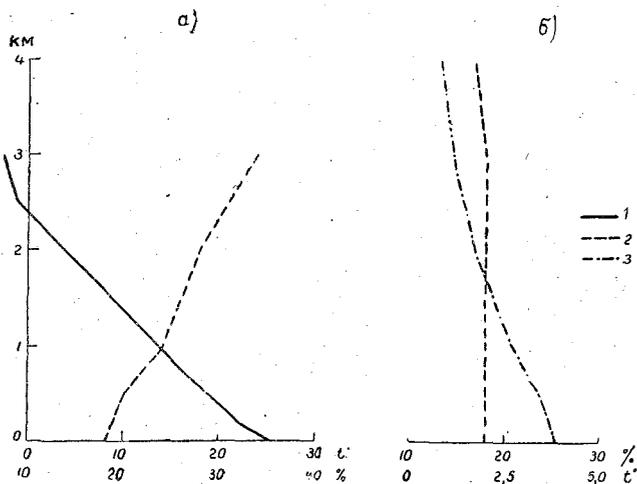


Рис. 4. Распределение температуры, относительной и удельной влажности по высотам.

а — по самолетному подъему 27/VI в 14 час., б — средние значения по радиозондовым подъемам за период 25—29/VI. 1 — температура воздуха, 2 — относительная влажность, 3 — удельная.

выше, но зато температура воздуха, скорости ветра и особенно дефицит насыщения в дневные часы были значительно больше, чем в первый засушливый период.

Прогрев воздуха шел медленнее, чем в первый период, а в отдельные дни, например 13 и 16/VII, наблюдалось даже понижение температуры воздуха. Наибольшая суммарная величина прогрева в этот период также была около 1 км, несколько меняясь по высотам в отдельные дни. Интенсивность прогрева в среднем за сутки составляла для земли всего 0,8°, а для 1 км 0,9°, т. е. почти в 3—3,5 раза меньше интенсивности прогрева в первый засушливый период.

Распределение по высотам за отдельные дни температуры воздуха, относительной и удельной влажности и вертикального температурного градиента по самолетным подъемам дано в табл. 7.

Следует заметить, что подъемы самолета происходили в разные сроки. Время в табл. 7 дано с округлением до целого часа, поэтому определить величину прогрева воздуха за сутки по самолетным подъемам не представляется возможным. Относительная влажность на высоте 2 км, при засушливых условиях на земле, иногда доходит до 70—75%, поэтому в некоторые дни наблюдались кучевые облака. Но несмотря на сильно развитую конвективную турбулентность, приток водяного пара от земной поверхности был очень мал, так как испарение, по-видимому, практически почти отсутствовало и поэтому происходило только перераспределение водяного пара по высоте. В соответствии с этим величина удельной влажности в слое до 2 км часто оставалась без изменения, или очень медленно

уменьшалась, а относительная влажность увеличивалась (см. например 10/VII). Сохранение почти постоянства удельной влажности с высотой показывает так же интенсивное перемешивание воздуха в слое до 2 км и большой турбулентный обмен.

Величина эквивалентно-потенциальной температуры воздуха на уровне 1 км 27/VI была 30°, а во второй период на этом же уровне в среднем 44,5°, что ясно указывает на коренное различие масс воздуха, создавших засуху в оба периода.

Таблица 7

Ход метеорологических элементов по высотам в дневные часы

Высота, км	9/VII 11 час.			10/VII 16 час.			11/VII 13 час.			12/VII 13 час.			16/VII 13 час.			27/VI 14 час.		
	t	γ	U q	t	γ	U q	t	γ	U q	t	γ	U q	t	γ	U q	t	γ	U q
0,0	24,8	—	30,5,8	30,6	—	23,5,5	30,1	—	28,7,6	32,8	—	22,7,2	33,1	—	28,9,3	25,8	—	20,3,9
0,1	23,9	0,9	30,5,7	27,7	2,9	25,6,0	27,4	2,7	30,7,1	30,0	2,8	24,6,6	31,5	1,60	29,8,9	24,2	1,6	22,3,9
0,3	21,8	1,05	36,6,1	21,8	1,05	36,6,1	25,1	1,30	30,6,3	27,7	1,15	28,6,9	28,5	1,50	31,8,0	21,4	1,4	22,3,7
0,5	19,9	0,25	37,5,7	22,8	1,15	32,6,0	23,0	1,00	35,7,0	26,6	1,05	30,6,6	26,1	1,20	35,8,1	19,1	1,15	23,3,2
1,0	14,8	1,02	44,5,2	17,7	1,02	39,5,5	17,6	1,08	48,6,8	19,9	1,14	39,6,4	21,1	1,00	40,7,2	13,7	1,08	25,2,7
1,5	10,9	0,80	45,4,4	12,2	1,10	54,5,9	14,0	0,72	57,6,8	14,8	1,02	45,5,6	16,2	0,98	48,6,7	8,6	1,02	27,2,3
2,0	7,2	0,74	46,3,7	7,2	1,00	70,5,6	8,3	1,14	75,6,4	10,0	0,98	48,4,6	11,0	1,04	54,5,7	4,2	0,88	31,2,0
3,0	1,2	0,60	40,2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,8	0,70	34,1,9

Примечание. *t* — температура воздуха, *γ* — вертикальный температурный градиент, *U* — относительная влажность, *q* — удельная влажность.

Во втором засушливом периоде интенсивный прогрев наблюдался только в первые дни, а далее он протекал очень медленно, так как масса воздуха, очевидно, быстрее достигала равновесной температуры. Ход изменения температуры прогрева по времени наших двух периодов близко совпадает с графиком изменения дневной температуры при засухах, приводимых в работе Е. С. Селезневой [8]. Ход величины прогрева в наш первый засушливый период соответствует засухе инсоляционного типа, второй период — засухе адвективного типа по типизации Е. С. Селезневой.

Следует также отметить, что еще Б. П. Мультиановский в работе [9], опубликованной в 1915 г., привел ряд траекторий движения центров антициклонов, вызвавших образование засухи на юго-востоке России. Траектория нашего широтного вхождения совпадает с западным типом траектории Б. П. Мультиановского (карта № 1), а наше меридиональное вхождение совпадает с его активным полярным типом (карта № 5), причем ни одна из приведенных Б. П. Мультиановским траекторий не дает выноса воздуха с юго-востока.

Ход интенсивности трансформации воздуха выше задерживающего слоя нами не рассмотрен. Механизм прогрева массы воздуха на больших высотах иной, чем вблизи земной поверхности. Выяснение его требует специальных исследований.

Краткие выводы по разделу. 1. Основной причиной двух засушливых периодов летом 1951 г. в районе Каменной Степи следует считать трансформацию масс воздуха в антициклонах.

2. Трансформация может иметь место как при меридиональных вторжениях холодного воздуха с севера, так и при широтном вхождении с запада относительно теплого воздуха.

3. Основной причиной повышения температуры воздуха в нижнем слое при его трансформации является турбулентный теплообмен.

4. Наличие в антициклонах слоя на уровне 2—3 км с уменьшенным значением вертикального температурного градиента или инверсии препятствует дальнейшему развитию турбулентного теплообмена и часто тормозит развитие облачности. Отсутствие же облачности способствует дальнейшему усилению засухи. Высота этого слоя при трансформации воздуха постепенно повышается.

5. Большое значение для интенсивности засухи имеет величина равновесной температуры как предел прогрева воздуха.

6. Интенсивность трансформации малоподвижного воздуха, пришедшего с севера была больше интенсивности прогрета быстро движущегося антициклона, пришедшего с запада.

7. Засушливые условия могут создаваться и в массах морского воздуха после его трансформации.

8. Наблюдающиеся случаи повышенной концентрации пыли в слое 2—3 км могут быть образованы переносом ее от земной поверхности в верхние слои в районе трансформации как конвективной турбулентностью, так и вихрями.

9. Интенсивный турбулентный теплообмен в условиях засухи ведет к почти равномерному распределению в нижнем 2-километровом слое удельной влажности.

10. Величина вертикального температурного градиента при засухе в дневные часы часто бывает в слое 1,5—2 км несколько больше адиабатической.

11. Ход отклонений вертикальной скорости шара-пилота от табличной с высотой при засухах также указывает на интенсивную конвективную турбулентность в слое до 2 км.

12. Меняя характер подстилающей поверхности, можно вызвать изменение интенсивности засухи и суховеев.

13. Нисходящие движения воздуха при суховеях имеют место только выше задерживающего слоя и до земной поверхности не доходят — это подтверждается наличием сверхадиабатических градиентов, интенсивного обмена в дневные часы и мощных радиационных инверсий ночью.

14. Процесс образования засухи и суховеев (в нашем определении) одинаков, т. е. в одном и том же антициклоне в зависимости от величины горизонтальных градиентов давления при благоприятных условиях может наблюдаться или сухой или засуха.

15. Вынос воздуха с юго-востока из пустынь и полупустынь может, очевидно, иногда наблюдаться в антициклоне, но он не играет основной роли в образовании суховеев и засухи.

Различия в распределении метеорологических элементов в зоне лесных полос и в открытой степи

Далее перейдем к рассмотрению особенностей в ходе метеорологических элементов в зоне лесных полос и над открытой степью. Рассмотрение начнем с различий в ходе температуры и влажности по высотам.

Различие в температуре и влажности воздуха над степью и массивом лесных полос. Для выяснения различий в температуре и влажности воздуха над степью и массивом лесных полос был применен метод самолетного зондирования по горизонтали. Самолет с метеорографом СМ-43 совершал горизонтальные полеты на высотах 200, 300, 500, 750 и 1000 м. Обычно полет начинался над степью за 5—8 км до полос по ветру длился в течение 3—5 мин. и переходил на массив лесных полос, которые самолет пролетал за 4—5 мин., после разворота самолет проходил на следующей высоте по тому же маршруту, но уже против ветра.

Ввиду того, что в дневные часы вблизи земной поверхности наблюдалась сильная болтанка, горизонтальный полет на высоте 100 м не производился. В рассмотрение взяты высоты 200, 300, 500, 750 и 1000 м. При горизонтальных полетах бортаэролог отмечал время нахождения над степью и над массивом. При обработке метеорограмм по времени находились значения температуры и относительной влажности над степью и над массивом лесных полос. Следует отметить, что полученные по этому методу результаты, особенно учитывая несовершенство самолетных метеорографов для таких тонких измерений, являются ориентировочными.

Наибольших различий в горизонтальном распределении температуры и относительной влажности над степью и массивом следовало бы ожидать в нижних слоях (табл. 8). По нашим данным на уровнях 200 и 300 м никаких различий в распределении температуры и влажности практически не имеется, так как разности в $0,1^\circ$ и $0,2^\circ$ или $2\text{—}3\%$ лежат в пределах точности метода.

Турбулентное состояние атмосферы над полосами и в открытой степи. По данным отклонений вертикальной скорости шара-пилота от табличной и величинам коэффициентов турбулентного обмена была дана общая оценка турбулентности атмосферы в районе Каменной Степи. В результате приходим к выводу,

Таблица 8

Средние значения температуры (t) и относительной влажности воздуха (U) над степью и массивами лесных полос

Высота, м	Над степью				Центр оазиса	
	ветер на полосы		ветер с полос		t	U
	t	U	t	U		
Утро						
200	16,0	63	16,1	63	16,0	63
300	15,7	69	15,8	64	15,7	67
500	15,0	62	14,9	62	14,9	62
1000	11,0	55	10,7	60	10,6	57
День						
200	19,1	56	18,9	57	19,1	56
300	18,2	59	18,3	59	18,0	59
500	17,8	51	17,6	54	17,3	53
1000	12,6	61	12,7	63	13,3	59
Вечер						
200	20,1	43	20,3	45	20,1	43
300	19,2	46	19,0	44	19,2	45
500	18,8	35	18,4	41	19,2	36
1000	14,8	44	13,9	45	14,0	44

что конвективная турбулентность должна иметь значительное развитие, в дневные часы в слое до 1,5—2,0 км, выше 2 км наблюдается резкое ослабление ее. Для характеристики особенностей турбулентного состояния атмосферы над лесными полосами и открытой степью используем:

- а) визуальные наблюдения бортаэролога;
- б) ленты акселерографа;
- в) записи порывистости ветра приемником аэростатного метеорографа.

а) Визуальные наблюдения бортаэролога. Бортаэролог, находившийся на самолете ПО-2, отмечал, что в утренние часы болтанка, как правило, не наблюдалась. Полеты над полосами и над открытой степью утром между собой почти не отличались. В дневные часы сильная болтанка наблюдалась над лесными полосами на высотах от 500 до 1000 м. При пересечении полос болтанка наблюдалась в виде большого числа отдельных бросков. В вечерние часы иногда наблюдалась слабая болтанка. В общем, в степи болтанка была более слабая и без резких толчков. Над массивом лесных полос отмечено ее усиление и увеличение числа отдельных ударов. В некоторых случаях, особенно при предгрозовом состоянии атмосферы, как например 4/VII в 11 час. 12 мин., над лесными полосами пилот с 1000 м терял управление самолетом, так как его резко втягивало под мощное кучевое облако.

б) Записи и обработанные ленты акселерографа. На самолете был установлен акселерограф, записывавший величины перегрузок, испытываемых самолетом при полете. По величинам перегрузок (см., например, работу А. С. Дубова [12]) несложно рассчитать и значения вертикальных скоростей, которые на-

блюдаются над различными участками. В нашем распоряжении была одна лента акселерографа, обработанная полностью. Полет совершен 8/VII в начале суховейного периода.

Таблица 9

Результаты обработки лент акселерографа за 8/VII в 18 час. 12 мин.

	150 м			400 м			630 м			1170 м		
	н	ц	с	н	ц	с	н	ц	с	н	ц	с
\bar{w}	0,76	0,65	0,55	0,42	0,46	0,25	0,38	0,34	0,29	—	0,36	0,21
$+\bar{w}$	0,84	0,54	0,61	0,38	0,41	0,27	0,29	0,56	0,28	—	0,36	0,29
$-\bar{w}$	0,62	0,79	0,51	0,46	0,49	0,31	0,49	0,15	0,30	—	—	—
A	2,35	1,95	2,40	1,65	1,62	1,82	0,98	1,52	0,96	—	0,52	0,40
N	1,17	1,03	0,83	0,60	0,49	0,70	0,29	0,33	0,25	—	0,09	0,03
t_N	0,85	0,17	1,2	1,67	2,0	1,3	3,4	3,0	4,0	—	11,1	33,1
n	1,09	0,89	0,59	0,42	0,49	0,47	0,23	0,33	0,22	—	0,05	0,03

В табл. 9 н — начало оазиса лесных полос, ц — центр оазиса лесных полос, с — степь в 4—5 км до лесных полос, при движении самолета по ветру, \bar{w} — среднеарифметическая вертикальная скорость в м/сек., $+\bar{w}$ — среднеарифметическая положительная скорость в м/сек., $-\bar{w}$ — среднеарифметическая отрицательная скорость в м/сек., A — максимальная амплитуда, N — число порывов ветра в 1 сек., t_N — продолжительность одного порыва в секундах, n — число переходов через нуль в 1 сек.

Интересной характеристикой состояния атмосферы является число порывов ветра в 1 сек. и близкая ей величина — число переходов через нуль в 1 сек.

Одного примера недостаточно для того, чтобы сделать какие-либо выводы. Но можно отметить, что на высоте 150 м число порывов в 1 сек. наибольшее и быстро уменьшается с высотой. Средняя продолжительность одного порыва на 150 м составляет около 1 сек., на 400 м — 1,7 сек., на 630 м — 3,5 сек. и на 1170 м — около 20 сек. Наибольшая турбулентность в 18 час. получилась в начале лесных полос и наименьшая в — степи. Средние величины вертикальных скоростей наибольшие на уровне 150 м и медленно уменьшаются с высотой. В начале лесных полос величина w почти всюду больше, чем в центре массива лесных полос и составляет до нашего подъема на 150 м около 70 см/сек., на 400 м — 40 см/сек., на 630 м — 35 см/сек. и на 1170 м — около 30 см/сек. Полученные величины вертикальных токов весьма значительны для вечерних часов, особенно, если учесть, что в это время уже почти не было кучевой облачности, как известно, способствующей развитию вертикальных движений. Графическое нанесение результатов обработки акселерограмм является наиболее наглядным для суждения о структуре ветра и дано на рис. 5 для высот 150, 400 и 630 м полета 8/VII.

Метод регистрации пульсаций ветра при помощи записи акселерографом представляет большой интерес и может быть с успехом применен при исследовании турбулентности и вертикальных смещений в зоне лесных полос. Следует отметить, что сложность обработки лент не позволила произвести обработку большого числа случаев.

в) Регистрация записи порывистости ветра приемником аэростатного метеорографа. Во время работ экспедиции при аэростатных подъемах происходила регистрация порывистости ветра. К сожалению, одновременных наблюдений в степи и в зоне лесных полос не было и количество самих на-

блюдений относительно мало, чтобы сделать какие-либо окончательные выводы. Но все же можно отметить, что в первый засушливый период с 25 по 29/VI в зоне лесных полос порывистость ветра в слое от 40 до 180 м почти отсутствовала, что можно объяснить малыми скоростями ветра (1—3 м/сек.), наблюдавшимися в этот период. Возникавшие конвективные токи при малых скоростях ветра (до 1—3 м/сек.) на приемник порывистости не действовали, так как лежали ниже порога его чувствительности. Регистрацию порывистости ветра прибор начинал со скоростей 2—3 м/сек. Во второй засушливый период скорости ветра были больше

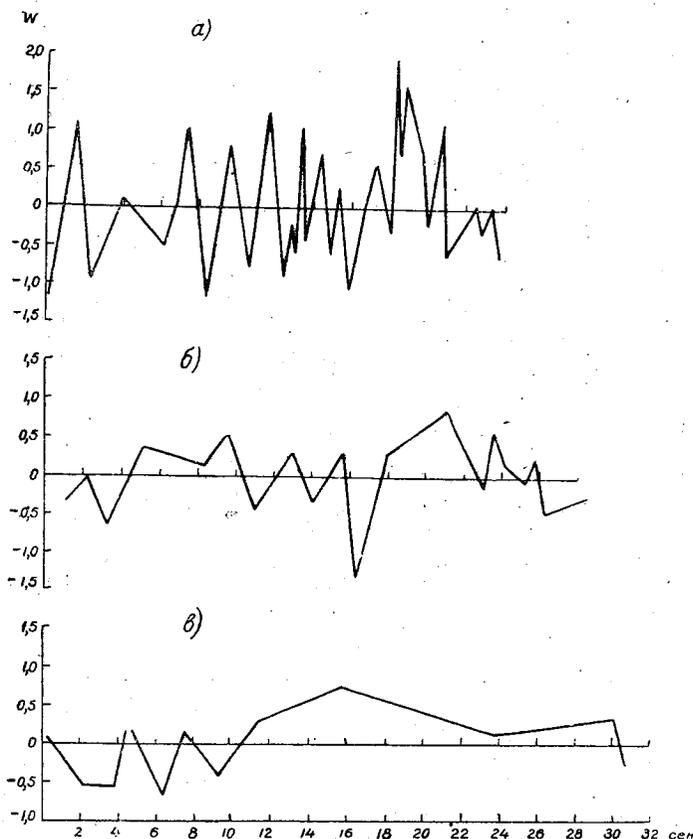


Рис. 5. Вертикальная скорость самолета по записям акселерографа. Полет на ПО-2 8/VII 1951 г. в 18 час. 12 мин.
a — высота 150 м, 18 час. 15 мин., скорость 110 км/час., *б* — высота 400 м, 18 час. 43 мин., скорость 100 км/час., *в* — высота 630 м, 19 час. 10 мин., скорость 100 км/час.

и наблюдалась значительная его порывистость. Подсчет порывистости ветра (в м/сек.) производился в виде отклонений от средней скорости за те же периоды времени. Числовые величины порывистости получены как средние взвешенные по 6-минутным промежуткам.

В табл. 10 даны средние скорости ветра и средние величины порывистости (в м/сек.), полученные по записям аэростатного метеорографа. Подъем аэростата происходил примерно в центре массива лесных полос, в северо-западном углу клетки Б-5. Наблюдения, как уже отмечалось нами, были неодновременные: в степи подъем аэростата производился с 10 по 12/VII, т. е. всего 3 дня, в зоне лесных полос подъемов было больше. Из табл. 10 получается, например, что в зоне лесных полос наибольшая порывистость в дневные часы была на высоте 40 м, на уровне же 180 м, несмотря на увеличение средней скорости ветра до 7 м/сек., порывистость уменьшилась почти вдвое.

В утренние и вечерние часы порывистость над лесными полосами почти отсутствует, несмотря на наличие относительно сильных ветров (3—5 м/сек.). Над степью величина порывистости во все сроки на высоте 180 м несколько больше, чем на высоте 40 м; это связано, очевидно, с ростом средней скорости ветра.

Таблица 10

Средние значения скорости и порывистости ветра, м/сек.

Высота, м	Лесные полосы (с 9 по 16/VII)			Степь (с 10 по 12/VII)		
	Утро	День	Вечер	Утро	День	Вечер
2	1 —	3 —	2 —	2 —	6 —	4 —
40	3 ± 0,0	5 ± 2,3	4 ± 0,0	4 ± 0,2	7 ± 1,8	7 ± 0,7
180	3 ± 0,0	7 ± 1,4	5 ± 0,2	6 ± 0,5	8 ± 2,1	8 ± 1,3

Над степью наблюдается рост порывистости ветра к высоте 180 м, а над лесными полосами днем — уменьшение порывистости к тому же уровню. Эти положения являются весьма ориентировочными и подлежат проверке и уточнению. Но различия в распределении порывистости в нижних слоях над лесными полосами и степью должны быть. Следует отметить в обоих случаях хорошо заметный суточный ход порывистости ветра на уровнях 40 и 180 м: более раннее ослабление порывистости ветра над лесными полосами в вечерние часы и более позднее появление ее утром. Регистрация порывистости ветра даст в дальнейшем несомненно весьма ценный материал для изучения структуры ветра. Запись средней скорости ветра в нижних слоях позволяет наметить суточный ход и рост скорости ветра с высотой. Ввиду производства наблюдений в разные периоды делать какие-либо сопоставления не представляется возможным.

Различие в сроках начала и конца инверсий температуры воздуха.

Анализ материалов, полученных по аэростатным и самолетным подъемам, по распределению температуры воздуха в приземном слое над лесными полосами и открытой степью показал, что сроки появления инверсий температуры воздуха и их прекращения часто весьма значительно различаются между собой.

Регистрация температуры воздуха в лесных полосах производилась метеорографом, поднимаемым на привязном аэростате, а в открытой степи — как на самолете, так и привязном аэростате. При аэростатных подъемах температура воздуха измерялась обычно на высотах 40, 100 и 180 м. Соответственно этим высотам определены вертикальные температурные градиенты, но ввиду того, что непрерывной регистрации температуры на земной поверхности не было, а иногда отмечались ее большие колебания, то расчет градиента в слое 0—40 м не всегда был надежен. Для уменьшения возможных ошибок расчета времени начала и конца инверсий возьмем за основу вертикальный градиент в слое 0—100 м. Ввиду возможных различий в измерении температуры воздуха методами привязных аэростатов и самолетных подъемов в открытой степи были проведены параллельные наблюдения обоими методами.

Для увеличения числа случаев нами взяты подъемы и в дни с отсутствием засухи и суховеев. Одновременные подъемы самолета и аэростата в открытой степи, проведенные 11 и 12/VII, дают, как видно из табл. 11, близко совпадающие сроки начала и конца инверсий. На этом основании можно производить сравнение сроков начала и конца инверсий и полученных двумя методами в другие дни.

В среднем конец приземной инверсии в зоне лесных полос приходится на 8 час. 15 мин., а в открытой степи — на 7 час. Таким образом, в лесных полосах инверсия температуры утром, в период работ экспедиции, сохранялась примерно

на 1 час 15 мин. дольше, чем в открытой степи. Вечером инверсия в лесных полосах начинается в среднем около 17 час., а в открытой степи — в 20 час. Здесь расхождение в сроках составляет уже около 3 часов. Период с отсутствием приземной инверсии в лесных полосах равен примерно 9 часам, а в открытой

Таблица 11

Ориентировочные сроки конца и начала инверсий температуры воздуха
в слое от 1,5 до 100 м

Дата	Конец	Ветер	Облачность	Начало	Ветер	Облачность	Примечание
В лесных полосах							
Июнь							
26	8 30	штиль	1/0 Ci	15 30	ЮВ 2	1/0 Ci	Аэростат
27	9 45	Ю 2	0/0	16 20	Ю 3	1/0 Ci	"
28	8 40	Ю 2	0/0	16 15	Ю 1	0/0	"
29	—	Ю 2	0/0	15 50	Ю 2	0/0	"
Июль							
3	7 45	С 2	5/0 Ac	—	—	—	"
5	7 40	ЮВ 1	10/0 Ci, Cs	—	—	—	"
6	9 40	Ю 2	0/0	19 30	ЮЗ 2	10/6 Ci, Cc	"
7	6 30	штиль	9/0 Ci	18 40	С 3	7/1 Ci, Cs, Cu	"
15	7 40	—	—	—	—	—	"
Среднее	8 15			17 00			
В открытой степи							
Июль							
7	5 40	—	9/0 Ci 10/0 Ci, Cs, Cc	19 00	ССЗ 4	9/0 Ci, Cs	Самолет
6	—	—	—	19 30	ССЗ 4	10/5 Ac, Sc	"
9	7 00	ССВ 3	0/0	20 00	СВ 2	0/0	"
10	6 45	штиль	0/0	18 50	СВ 4	2/2 Cu	Аэростат
11	6 40	В 1	10/9 Ns, Frnb	19 20	СВ 5	2/0 Ci, Ac	"
11	6 30	В 1	10/9 Ns, Frnb	20 00	СВ 5	2/0 Ci, Ac	Самолет
12	6 40	СВ 6	1/0 Cc	19 40	СВ 4	0/0	Аэростат
12	6 30	СВ 6	1/0 Cc	20 10	СВ 4	0/0	Самолет
16	7 00	СВ 2	9/9 Cu	—	—	—	"
16	7 10	СВ 3	0/0	19 20	СВ 4	2/0 Ci	"
17	7 00	штиль	0/0 Cu	—	—	—	"
Среднее	7 00	—	—	20 00			

степи — 13 часам. Приземная инверсия температуры создает обычно более благоприятные атмосферные условия для роста растений в суховейные периоды: наиболее высокие температуры и низкая относительная влажность должны наблюдаться не у самой земли, а на некоторой высоте. Из табл. 11 хорошо заметно (в засушливый период с 26 по 29/VI) наличие меньшего интервала времени между концом и началом инверсии, т. е. более благоприятных условий для развития приземных инверсий в зоне лесных полос. Эти инверсии в дальнейшем будем называть инверсиями лесных полос.

Характерной особенностью приземного слоя атмосферы (50—100 м) с 25 по 29/VI была малая скорость и слабая порывистость ветра; это обстоятельство, очевидно, увеличило продолжительность приземной инверсии почти на 1,5 часа. В этот период наблюдались наиболее низкие значения относительной влажности у земной поверхности и поэтому благоприятная для растительности защитная

роль инверсий должна быть особенно велика. На рис. 6 приведен ход относительной влажности за 10 и 18 час. у земной поверхности в лесных полосах на клетке с овсом и в открытой степи. В лесных полосах относительная влажность в 10 и 18 час. выше на 4—6%. При значительном уменьшении скорости ветра иссушающее действие суховея должно сильно ослабляться. Наличие инверсий над лесными полосами иногда подтверждается и метеорологическими наблюдениями. Выясним причины, вызывающие инверсию в зоне лесных полос. Очевидно здесь сказывается влияние нескольких причин. Ослабление скорости ветра в зоне лесных полос, а следовательно, и уменьшение перемешивания, способствуют более продолжительному существованию приземной инверсии ночью; в утренние часы она начинает постепенно разрушаться от земной поверхности. Отсутствие турбулентности и слабая еще конвекция затрудняет перенос тепла вверх, и инверсия в лесных полосах может существовать несколько дольше, чем в открытой степи. Эта причина, очевидно, имеет место в утренние часы и задерживает разрушение ночной инверсии.

Второй причиной, оказывающей влияние на более раннее создание инверсий в зоне лесных полос, является испарение влаги растительностью — так называемая транспирация. В литературе имеется ряд указаний, в частности у С. А. Сапожниковой [10], на значительное понижение температуры самых нижних слоев воздуха вследствие усиленной транспирации влаги растительностью, что ведет к резкому понижению температуры воздуха во вторую половину суток. Мощный растительный покров в межполосных клетках, широкие лесные полосы большой высоты, как это имеет место в Каменной Степи, должны способствовать усиленной транспирации, а следовательно, могут вызывать понижение температуры у зем-

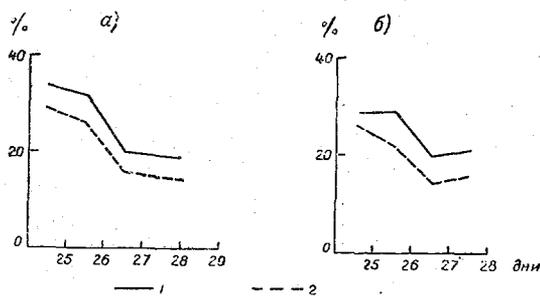


Рис. 6. Ход относительной влажности у земной поверхности.

а — за 10 час., б — за 18 час. 1 — полосы, 2 — степь.

ной поверхности в послеполуденные часы. Сочетание быстрого понижения температуры воздуха у земной поверхности в послеполуденные часы с продолжающимся повышением температуры воздуха в слоях 50—100 м может создать инверсию температуры, при одновременном уменьшении турбулентного и конвективного обмена в слое инверсии.

Третьей причиной, оказывающей влияние на развитие инверсии данного типа, может явиться тень, создаваемая лесными полосами, и более низкие температуры воздуха днем в самих полосах. Лесные полосы постоянно создают теневые участки, температура воздуха в которых понижается сравнительно быстро, при слабой вертикальной турбулентности эффект затенения также должен способствовать более раннему созданию приземных инверсий.

Четвертой причиной более продолжительного существования инверсий в зоне лесных полос может быть радиационное излучение. Альbedo растительного покрова больше, чем альbedo открытой почвы, поэтому отражение солнечной энергии лесными полосами больше, чем открытой почвой, а следовательно, температура воздуха над растительностью должна быть несколько меньше, чем в степи.

И, наконец, некоторое влияние на развитие инверсий может оказывать эффект динамического торможения воздушного потока над лесными полосами. Все эти соображения являются пока только качественными; количественно влияние каждой из этих причин требует дальнейших наблюдений и расчетов.

В общем, несмотря на малое количество наблюдений, можно считать установленным наличие в период июня — июля в зоне лесных полос Каменной Степи, в особенности при слабых ветрах, более продолжительного существования приземной инверсии и более раннее ее начало в зоне лесных полос. Эту приземную

инверсию мы назвали инверсией лесных полос. Наличие такой инверсии должно создавать более благоприятный термический режим для растительности в зоне лесных полос. Окончательная причина образования таких инверсий еще не ясна, но, очевидно, она связана с теми факторами, о которых говорилось выше. Ввиду того что высота аэростатных подъемов была не более 200—220 м, определить верхнюю границу приземной инверсии не удалось. Нами было приведено несколько самолетных подъемов с определением высоты и мощности приземных радиационных инверсий (табл. 12).

Таблица 12

Высота и мощность ночных приземных инверсий в степи

Дата	Время, час. мин.	Начало		Конец		Раз- ность темпе- ратуры	Толщина слоя, м
		Высота, м	Темпе- ратура	Высота, м	Темпе- ратура		
6/VII	05 00	0	16,9	403	22,2	5,8	403
7/VII	05 00	0	12,2	344	14,6	2,4	344
11/VII	06 10	0	19,1	85	19,8	1,7	85
12/VII	05 10	0	17,1	400	24,1	7,0	400

Ввиду малого числа случаев эти данные приведем и для дней, не входящих в засушливые периоды.

Высота ночной приземной инверсии может достигать до 400 м с повышением температуры воздуха на 5—7°.

Суточный ход вертикального температурного градиента

Подъемы метеорографа на привязном аэростате позволили получить некоторые сведения о суточном изменении вертикального температурного градиента и его величине в нижних слоях атмосферы. В обработку взяты высоты 40, 100, 180 м. Суточный ход величины вертикального температурного градиента γ дадим для нескольких подъемов. Ввиду небольшого числа подъемов аэростатного метеорографа в течение суток приведем их для дней и не входящих в засушливые периоды. Примеры с суточным ходом величины γ в зоне лесных полос приведены на рис. 7 для слоев 0—40, 0—100 и 100—180 м. Ход γ на рис. 7 и других аналогичных рисунках дан для уменьшения ошибок при малых разностях высоты, иногда с небольшими выпрямлениями (слои 0—40 и 0—100 м). На рис. 7 по оси абсцисс отложено время суток и облачность, по оси ординат — величины γ (положительные вверх и отрицательные вниз от оси абсцисс).

Суточный ход величины γ хорошо заметен на рис. 7 и описывать его не будем. Отметим только некоторые характерные особенности в дни 7 и 16/VII. После восхода солнца величина γ в слоях 0—40 и 0—100 м начинает быстро расти и достигает максимума около 8—10 час., затем наблюдается уменьшение величины γ и далее идет почти плавный ход с отдельными колебаниями, особенно в слое 0—40 м, которые не даны на рис. 7. Колебания эти вызываются, например, кратковременными затенениями местности, облачностью и др. причинами.

Скачок в ходе величины γ , в среднем около 9 час., вызван, очевидно, тем, что прогрев воздуха, начавшийся у земной поверхности, распространяется вверх не сразу, а после достижения температурой некоторого критического состояния, связанного с образованием конвективной турбулентности. После этого тепловая энергия переносится вверх. Процесс идет в дальнейшем относительно быстро, разность температур между нижними слоями уменьшается и, следовательно, уменьшается величина γ . Этот момент иногда совпадает с началом образования кучевой облач-

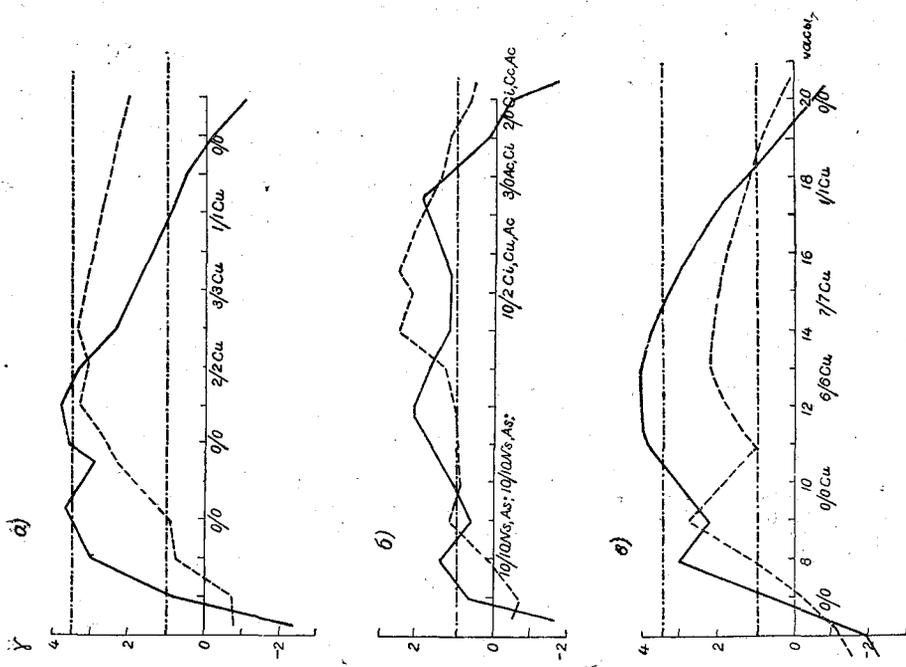


Рис. 8. Суточный ход вертикального температурного градиента в Каменной Степи по аэроостату.
 а — 10/VI, б — 11/VI, в — 12/VI. 1 — слой от 0 до 100 м, 2 — слой от 100 до 180 м.

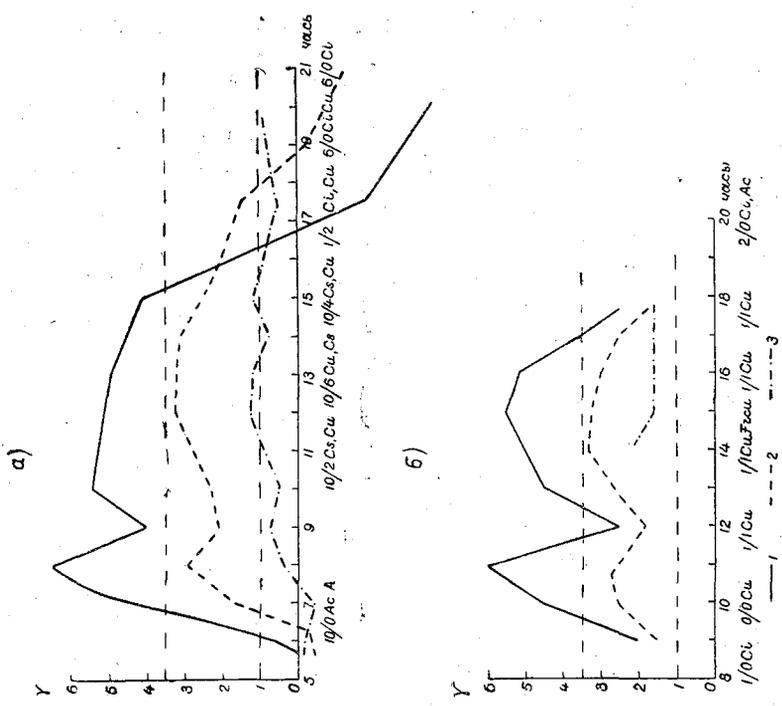


Рис. 7. Суточный ход по слоям в лесных полосах по аэроостату.
 а — 7/VI, б — 16/VI. 1 — слой от 0 до 40 м, 2 — слой от 0 до 100 м, 3 — слой от 100 до 180 м.

ности. Вечером инверсия начинается от земной поверхности, и γ в слое 0—40 м в первую очередь переходит в отрицательную величину. Величины γ , даже в дни с облачностью верхнего и среднего яруса, как это наблюдалось 7/VII в слоях 0—40, 0—100 м и отчасти 100—130 м, имеют значения больше адиабатического. Значительные вертикальные градиенты до 4—7° на 100 м, т. е. больше градиента автоконвекции наблюдаются в слое 0—40 м. Величина γ в слое 0—100 м иногда близко подходит к градиенту автоконвекции.

Рисунки 8, 9 указывают, что большие вертикальные градиенты температуры, наблюдаемые в самом приземном слое, распространяются при благоприятных условиях и в более высокие слои, во всяком случае, до высоты 100 м. На этих уров-

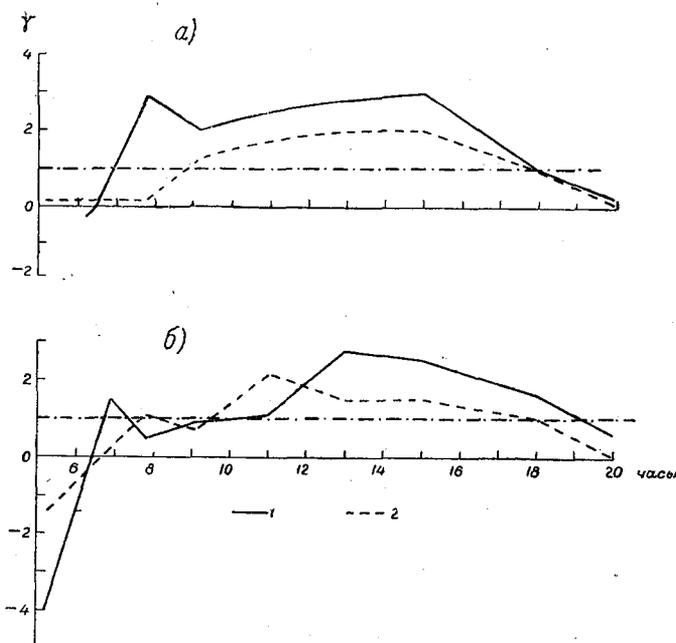


Рис. 9. Суточный ход вертикального температурного градиента в Каменной Степи по самолетным подъемам. а — 11/VII, б — 12/VII. 1 — слой от 0 до 100 м, 2 — слой от 100 до 180 м.

нях даже интенсивный турбулентный обмен в дневные часы не в состоянии выровнять потенциальные температуры по высотам.

На рис. 8 дан суточный ход величины γ в открытой степи для слоев 0—100 и 100—180 м, причем особых различий с рис. 7 нет. Ввиду того что метеорограф на уровне 40 м в эти дни работал с перерывами, величины γ для слоя 0—40 м на рис. 8 не приведены. Особых различий по нескольким подъемам в степи и в зоне лесных полос, проведенных к тому же в разные дни, выделить нельзя. Для сравнения показаний самолетного и аэростатного метеорографов на рис. 9 дан ход γ 11 и 12/VII по самолетным подъемам. Как абсолютных совпадений величин γ , полученных этими двумя методами, так и резких различий в ходе γ между самолетом и аэростатом не имеется, поскольку аэростат практически находился в одной точке, а самолет облетал большой район.

ВЫВОДЫ

Ввиду малого количества материалов наблюдений выводы по различию хода метеорологических элементов над зоной лесных полос и открытой степью носят ориентировочный характер и применимы, в основном, пока только для района Каменной Степи и для периода июнь — июль:

1. С высот 200—300 м различия в распределении температуры воздуха и относительной влажности над степью и массивом лесных полос (на одном уровне) не наблюдаются или же лежат в пределах точности самолетного метеорографа.

2. Бортаэролог на самолете ПО-2 отмечал усиление болтанки самолета в виде отдельных толчков при полете над лесными полосами; особенно сильная болтанка в 1951 г. наблюдалась в зоне 500—1000 м.

3. Запись акселерографа указывает на усиление турбулентности при подходе к лесным полосам. С высотой турбулентность переходит в более крупную, особенно по периоду колебаний вертикальной скорости.

4. По записи аэростатного метеорографа в лесных полосах отмечены наибольшая порывистость в слое 0—180 м в дневные часы на высоте 40 м и некоторое ее уменьшение к высоте 180 м; в открытой степи днем порывистость ветра в слое 40—180 м почти постоянная. Порывистость ветра имеет суточный ход.

5. В лесных полосах создаются условия, благоприятные для развития приземной инверсии, названной нами инверсией лесных полос. Различие в сроках начала и конца инверсии в полосах и степи может достигать до 3—5 часов. Инверсия в полосах создает более благоприятные условия для растительности. Вызвана эта инверсия, очевидно, сочетанием уменьшенного турбулентного обмена, испарением с растительности, теньвым охлаждением, радиационным излучением и динамическим торможением воздушного потока над полосами.

6. Приземные инверсии температуры, даже в засушливые периоды, могут достигать 400 м с повышением температуры по высоте на 5—7°. В этих условиях, даже в открытой степи ночью растительность может несколько отдохнуть от засухи в дневные часы.

7. Суточный ход вертикального температурного градиента в слое до 100 м дает быстрый его рост примерно до 9—10 час., затем резкое уменьшение γ и далее плавное его изменение по времени. Величины γ , особенно в слое до 40 м, могут быть больше 3,43° на 100 м, т. е. плотность воздуха в этом слое с высотой будет возрастать. Несмотря на усиленный обмен, величина γ в слое до 100 м в дневные часы выше 1°. Различий в ходе γ в степи и в полосах не получено, кроме разницы в сроках начала и конца инверсии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будыко М. И. О водном и тепловом балансе поверхности суши. Метеорология и гидрология, № 5, 1947.
2. Воронцов П. А. Роль подстилающей поверхности в развитии суховеев. Ученые записки ЛГУ., № 61, 1941.
3. Дзердзеевский Б. Л. Пути преобразования климатических условий Прикаспия. Изв. АН СССР, сер. географ., № 1, 1952.
4. Кастров В. Г. О прогревании воздуха во время засухи в Заволжье. Журнал „Соц. зерн. хоз-во“, № 2, 1938.
5. Дубенцов В. Р. Летняя трансформация воздушных масс над континентом. Труды ЦИП, вып. 17 (44), 1949.
6. Заварина М. В. К вопросу о природе суховеев. Труды ГГО, вып. 30, 1951.
7. Ишерская Е. В. К вопросу о метеорологических условиях засухи и суховеев в Саратовском Поволжье. Ученые записки. Саратовск. ун-в., т. 22, вып. географ., 1949.
8. Селезнева Е. С. К вопросу аэрологического освещения засух на юго-востоке Европейской части СССР. Труды ГГО, вып. 7, 1936.
9. Мультиановский Б. П. Влияние центров действия атмосферы на погоду Европейской России в теплое время года. Геофиз. сб., т. II, вып. 3, 1915.
10. Сапожникова С. А. Микроклимат и местный климат. Гидрометеоздат, Л., 1951.
11. Воронцов П. А. Опыт исследования воздушных потоков над лесными полосами и межполосными клетками. Труды ГГО, вып. 32, 1952.
12. Дубов А. С. Определение скорости вертикальных порывов ветра при самолетном зондировании с помощью акселерографа. Труды ГГО, вып. 16, 1949.

СУХОВЕИ 1949 г.

1949 г. нельзя назвать засушливым годом, отличающимся интенсивными суховеями.

Однако как и всякий год, в летние и весенние месяцы на юго-востоке Европейской территории СССР наблюдались суховеи. Это были ветры на периферии антициклона со скоростью не менее 5 м/сек., сопровождавшиеся низкой относительной влажностью (днем ниже 25%) и высокой температурой (выше 25°).

Для зерновых культур особенно вредными оказались майские и июньские суховеи, захватившие Ростовскую, Астраханскую области и Краснодарский край.

Майские суховеи не принесли непосредственного вреда сельскохозяйственным культурам, но они значительно уменьшили запасы влаги в почве в начале месяца, а в конце мая уже местами привели к пожелтению и подсыханию листьев нижнего яруса у озимых и яровых культур, побелению соцветий у люцерны. При благоприятной последующей погоде растения, повидимому, еще могли бы оправиться, но наличие июньских суховеев для многих посевов оказалось губельным.

Интересно отметить, что в начале мая, несмотря на очень резкое понижение относительной влажности в некоторых пунктах, посевы все же развивались нормально. Так, по данным агрометстанции Выселки Краснодарского края в течение всей первой декады мая относительная влажность в дневные часы не поднималась выше 30%, 7/V в 13 час. она составляла 11% при восточном ветре со скоростью 17 м/сек, 8/V в 13 час. относительная влажность упала до 7%, а в 14 час. даже до 6%, при ветре 10 м/сек. восточно-северо-восточного направления. От сильного с порывами ветра пострадал цвет вишни, почва сильно высохла, однако посевы развивались нормально. Правда, температура воздуха в мае не могла быть высокой, но все же максимальные ее значения колебались в течение декады в пределах 17—27°.

Отсутствие вредного действия суховеев на растения следует объяснить прежде всего наличием достаточного количества влаги в почве и тем, что падение относительной влажности произошло не сразу, благодаря чему растения имели время для того, чтобы приспособиться к таким исключительным условиям. Кроме того, ночью суховеи ослабевали, относительная влажность повышалась, следовательно растения имели возможность получить передышку.

Мы не будем останавливаться на синоптико-аэрологическом анализе майских суховеев. Только отметим, что сухой 7—8/V возник в результате адвекции холодной воздушной массы. Траектория движения центра антициклона (рис. 1), построенная нами по синоптическим картам Леинградского бюро погоды, показывает, что антициклон и вместе с ним холодный воздух пришли и на юг Европейской территории СССР с северо-запада. В результате трансформации этого воздуха возникли суховеи.

В данной статье более детально будет дан аэролого-синоптический анализ суховеев, наблюдавшихся в первой декаде июня 1949 г.

Для характеристики влияния июньских суховеев на сельскохозяйственные культуры приведем несколько выдержек из записей в бланках БСХ-1 Ростовского УГМС.

На северо-западе Сталинградской области в первую декаду июня погода была мало благоприятной для развития сельскохозяйственных культур из-за отсутствия осадков. 7—8/VI выпадали кратковременные дожди и одновременно наблюдался суховей, который вызвал пожелтение всей пластинки листьев нижнего яруса до 50% яровых сельскохозяйственных культур.

Агрометстанции Ростовской области отметили, что за первую декаду июня была сухая без осадков погода с суховеями. Ветры, преимущественно юго-восточного направления, достигали скорости 17 м/сек. В районе Ремонтного суховеи ока-

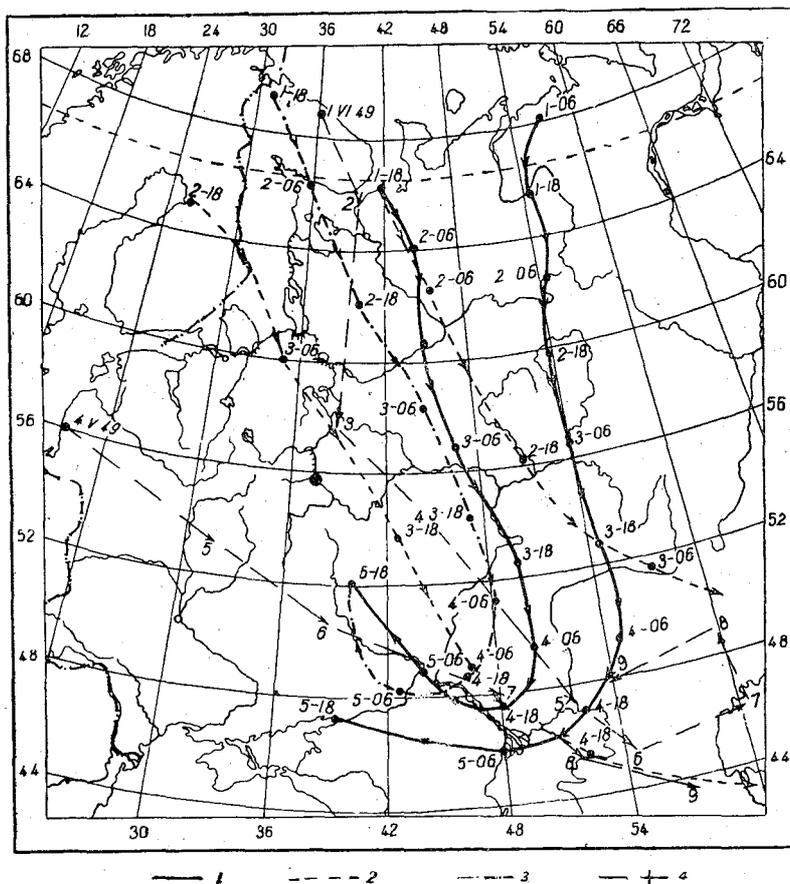


Рис. 1. Траектории движения воздушных частиц и центра антициклона. 1 — на поверхности 900 мб, 2 — на поверхности 700 мб, 3 — на поверхности 500 мб, 4 — центра антициклона по синоптическим картам.

зали влияние на состояние зерновых злаков. У озимой пшеницы замечено пожелтение и побеление цветковых и колосовых чешуек и остей, у яровой — преждевременное пожелтение листьев нижнего яруса.

На агрометстанции Зимовники Ростовской области за первую декаду июня произведена следующая запись: „Устойчивая засушливая погода с восточными суховеями и недостаток влаги в почве резко повлияли на рост и развитие зерновых культур. Яровые полностью погибли. Озимые хлеба погибли на 75%. 8/VI все растения белеют и засыхают“.

Станция Черный Яр, Астраханской области отметила, что „продолжительная засуха и суховеи привели к полному увяданию ячменя и губят пшеницу и горчицу. Во второй декаде июня засуха и суховеи привели к 100-процентной гибели яровой пшеницы. Озимая рожь, частично вступившая в фазу восковой спелости, к концу декады имеет зерно шуплым. Просо, частично имевшее всходы, лежит на земле.

Горчица, частично уцелевшая от засухи, находящаяся в фазе молочной спелости, имеет истощенный вид и близка к окончательной гибели“.

По ряду других агрометстанций также отмечается, что малооблачная сухая погода с восточными суховеями наблюдалась и во вторую декаду июня.

Следует, однако, отметить, что поля крупных совхозов и колхозов, на которых применяется более высокая агротехника, от майских и июньских суховеев не пострадали.

По записям ряда агрометстанций можно заключить, что первый июньский суховея наблюдался с 5 по 8/VI, а на некоторых станциях юго-востока Европейской территории СССР и дальше.

Рассмотрим синоптическую обстановку, обусловившую возникновение суховеев в июне 1949 г.

Суховею, наблюдавшемуся 5—8/VI, охватившему в первые два дня Прикаспий, Ростовскую и Сталинградскую области и доходившему до Москвы (где 5/VI относительная влажность упала до 15%), предшествовало вхождение холодного воздуха с севера.

30/V утром Архангельск находился в центре циклона. Затем циклон быстро начал смещаться к востоку. В тылу циклона уже 31/V началось вхождение холодного воздуха на континент. 31/V утром в Архангельске при северном направлении ветра отмечается падение температуры, по сравнению с утром 30/V на 6°. 1/VI область пониженного давления располагалась над Западно-Сибирской низменностью, центр этой области (985 мб) находился в районе среднего течения р. Оби. С севера на Европейскую территорию СССР надвигался антициклон. Максимум давления (1030 мб) захватил Кольский полуостров и Белое море.

1/VI в тылу циклона и по восточной периферии антициклона усиливается поступление холодного воздуха из Арктики на восточную часть Европейской территории СССР, при этом отрог высокого давления вытягивается к югу. На синоптической карте за утренний срок четко вырисовывается холодное вторжение на континент.

2/VI весь северо-восток и частично центральная часть Европейской территории СССР были охвачены холодным вторжением. Адвекция холодной воздушной массы с арктических морей сопровождалась ночными заморозками, которые захватили север Московской области, Куйбышевскую область и даже наблюдались вблизи Саратова и Актюбинска. При прохождении фронта в Куйбышеве температура воздуха в 21 час 2/VI понизилась до 8°, накануне в эти часы она была равна 26°; ночью на почве были заморозки. В Аральске при прохождении фронта температура в 15 час. понизилась с 28 до 18°, в Астрахани — с 30° 2/VI до 11° 3/VI. В более южных районах фронт также дает резкие понижения температуры.

3/VI днем антициклон уже занял всю Европейскую территорию СССР, он немного вытянут с северо-запада на юго-восток, а холодный фронт проходит южнее Аральского моря через северную часть Каспия и от Ростова-на-Дону имеет северо-западное направление. Однако по восточной окраине антициклона еще продолжается поступление холодного воздуха (рис. 2).

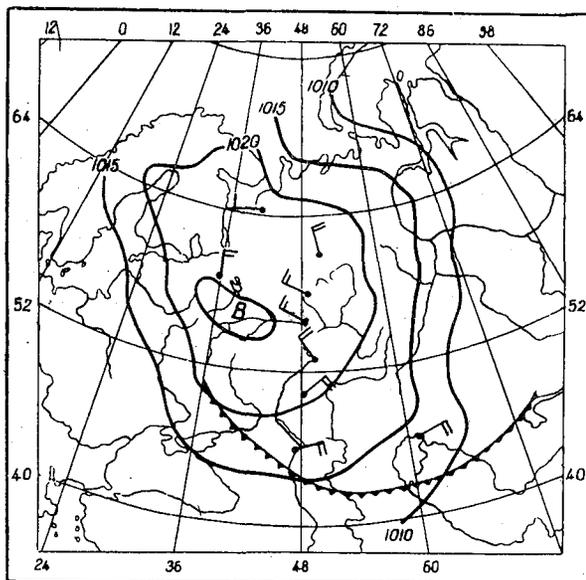


Рис. 2. Синоптическое положение за 15 час. 3/VI 1949 г.

По синоптическим картам и на высоте поверхности 900 мб хорошо прослеживается движение холодного фронта от побережья Баренцова моря до Астрахани и Аральска, средняя скорость его перемещения равна 30—35 км/час. Средняя скорость ветра на поверхностях 900 и 700 мб, по данным шаропилотных наблюдений каждого пункта, через которые проходила воздушная масса, получается равной 20—25 км/час и 45 км/час, соответственно. У поверхности земли средняя скорость воздушного потока примерно такая же, как и на высоте поверхности 900 мб. На высоте поверхности 500 мб она равна 60 км/час.

Несмотря на разные скорости ветра на высотах, прохождение холодной воздушной массы отмечается на всех высотах тем или иным падением температуры от одного утреннего (или вечернего) срока к другому (через сутки). Аэрологические станции, производившие радиозондовые подъемы, отметили падение температуры во всем слое тропосферы и понижение высоты тропопаузы в районе Чкалова и Аральска на 2,5—3,0 км. Только в начале своего вторжения на континент (31/V) холодная воздушная масса простиралась менее чем до 5 км, в этот день в Архангельске на высоте поверхности 500-мб температура воздуха оставалась такой же, как накануне. На следующий день она понизилась на 6°, ветер принял северное направление, и холодное вторжение на континент стало высоким.

По траектории движения центра антициклона (рис. 2) можно видеть, что в начале своего движения по континенту он имел направление, близкое к меридиональному. В дальнейшем движение антициклона приобретает юго-восточное направление, 7/VI центр его достигает Аральского моря.

3 и 4/VI вся Европейская территория СССР находится под воздействием антициклонической циркуляции. Соответственно этому у поверхности земли в районе Архангельска ветер принимает юго-западное направление, но выше сохраняется северо-западный поток. По восточной периферии антициклона еще продолжается движение воздуха, поступающего из северных широт. В нижнем Поволжье у поверхности земли этот поток принимает восточное направление, а потом приобретает южную составляющую.

На юго-востоке Европейской территории СССР уже 3/VI ветер (по флюгеру) имеет восточную составляющую. В высоких же слоях атмосферы продолжается поступление холодного воздуха с севера и северо-запада.

По шаропилотным данным 3/VI северо-западное направление ветра прослеживается начиная с 1 и до 8—9 км над всей областью антициклона. На карте барической топографии поверхности 500 мб над центром наземного антициклона располагается периферия высотного максимума давления, по которой мощный воздушный поток устремлен с северо-запада на юго-восток.

В последующие дни антициклоническая циркуляция захватывает более высокие слои атмосферы, особенно на юго-западной и западной периферии антициклона, где поток принимает южное и юго-восточное направление. Так, например, в Астрахани 5/VI в нижнем слое атмосферы ветер имел восточное и юго-восточное направление, а с высоты 3 км сохраняется еще северное направление потока. 6/VI вечером юго-восточный поток прослеживается уже до 5 км и на поверхности 500 мб возникла замкнутая область высокого давления, несколько сдвинутая на северо-запад по отношению к положению наземного центра антициклона.

В это время Сталинградская и Астраханская области, а также восточная часть Ростовской области оказались на западной периферии антициклона, центр которого, окруженный изобарой 1025 мб, располагался восточнее нижнего Поволжья и занял северо-восточную часть Каспийского моря. К западу от этого антициклона, над Черным морем, расположилась депрессия. Барический градиент между Каспийским и Черным морями значительно увеличился, и ветер усилился, приняв юго-восточное направление. Относительная влажность упала до 20—30%.

6/VI сухой сопровождался мглой, а на метеостанциях Астрахань, Степной и между ними были отмечены пыльные бури. К 15 час. 6/VI антициклон продвинулся на восток и его центральная изобара захватила Аральское море.

На восточном побережье Черного моря, в Краснодарском крае и на западе Ростовской области прошли дожди. Однако в более восточных районах продолжали действовать суховеи.

Наиболее глубоко к северу сухой и теплый воздух проник 5 и 6/VI. 5/VI даже в районе Москвы относительная влажность понизилась до 15%, температура повысилась до 27°. Поэтому интересно было проследить, откуда пришел этот сухой и теплый воздух и какой путь он прошел прежде чем принять свойства, характерные для суховейного потока. Для выяснения этого вопроса нами строились траектории движения воздушных частиц.

На рис. 1 представлены пять траекторий, две из них на 700 и 900 мб начаты 5/VI в 18 час. от фиксированной точки (Воронеж). Одна траектория для 900 мб начата из Ростова-на-Дону в тот день, когда температура воздуха и относительная влажность свидетельствовали о наличии здесь суховея. Во всех этих случаях движение воздушной массы прослеживалось в обратном направлении.

По поверхности 500 мб прослеживалось прямое направление движения воздушного потока, начинающееся вблизи тех пунктов, в которых оказалось начало траекторий, построенных для поверхностей 900 и 700 мб. На рис. 1 приводятся две таких траектории.

Для построения траекторий движения воздушных частиц использовались карты барической топографии Ленинградского бюро погоды за утренний и вечерний сроки (06, 18 час.). Имея наблюдения только через 12-часовые интервалы времени, мы считали скорость перемещающейся частицы воздуха постоянной и изогипсы неизменными за 6 предыдущих (до наблюдения) и 6 последующих часов. Скорость ветра, в основном, определялась по шаропилотным данным, а при отсутствии таковых — по картам абсолютной барической топографии, при этом, в основном, использовались данные о градиентном ветре, вычисленном Центральным институтом прогнозов.

Траектории показывают, что холодный воздух, начавший поступать 1/VI с Баренцова и частично с Карского морей, прошел по юго-восточной части Европейской территории СССР и 5/VI достиг центрального ее района. Что этот воздух действительно является возвращающимся воздухом, пришедшим с севера и обогнувшим антициклон, подтверждают и данные синоптических карт. Так, 3 и 4/VI в районе Аральского моря ветер имел северное направление, а южнее Аральского моря (до Ашхабада) 3/VI днем — западное. В последующие дни в этом районе дует то западный, то северный ветер, так что отсюда на юго-восток Европейской территории СССР воздух проникнуть никак не мог. Очевидно, воздух, пришедший в район Воронежа, 5/VI обогнул периферию антициклона, даже не достигнув Каспия.

Несколько северо-восточнее Каспийского моря на картах барической топографии до высоты 3 км прослеживается линия ветрораздела, часть воздуха продолжает двигаться в юго-восточном направлении, но более значительная часть захватывается антициклонической циркуляцией. На высоте 5 км продолжает дуть северо-западный ветер.

По траекториям (см. рис. 1) также можно видеть, что холодный воздух, вступивший на континент, двигаясь сначала прямолинейно, при приближении к Каспию приобретает сначала восточную, потом южную составляющую.

Изменение состояния движущейся воздушной массы определяется изменением ее температуры и влагосодержания. Эти данные представлены в виде вертикального разреза (рис. 3) по пути движения воздушной массы в течение двух суток, со 2 по 4/VI, когда воздушный поток имел прямолинейное направление движения. 5/VI этот уже возвращающийся поток в Ростовской и Курской областях превращался в суховей.

На основании данных, представленных на рис. 3, можно отметить:

- а) повышение температуры воздушной массы по мере продвижения ее к югу;
- б) наличие инверсий в движущемся холодном воздухе, причем характерно, что инверсии по мере продвижения к югу повышаются: если в Архангельске антициклоническая инверсия располагалась в слое 1100—1250 м, то в Саратове

она простиралась от 2200 до 2500 м, а в промежуточных пунктах занимала промежуточные слои;

в) удельная влажность по мере продвижения воздушной массы к югу повышается, причем это повышение наиболее резко происходит в нижнем слое атмосферы до слоя инверсии;

г) относительная влажность под слоем инверсии падает и почти не меняется выше слоя инверсии;

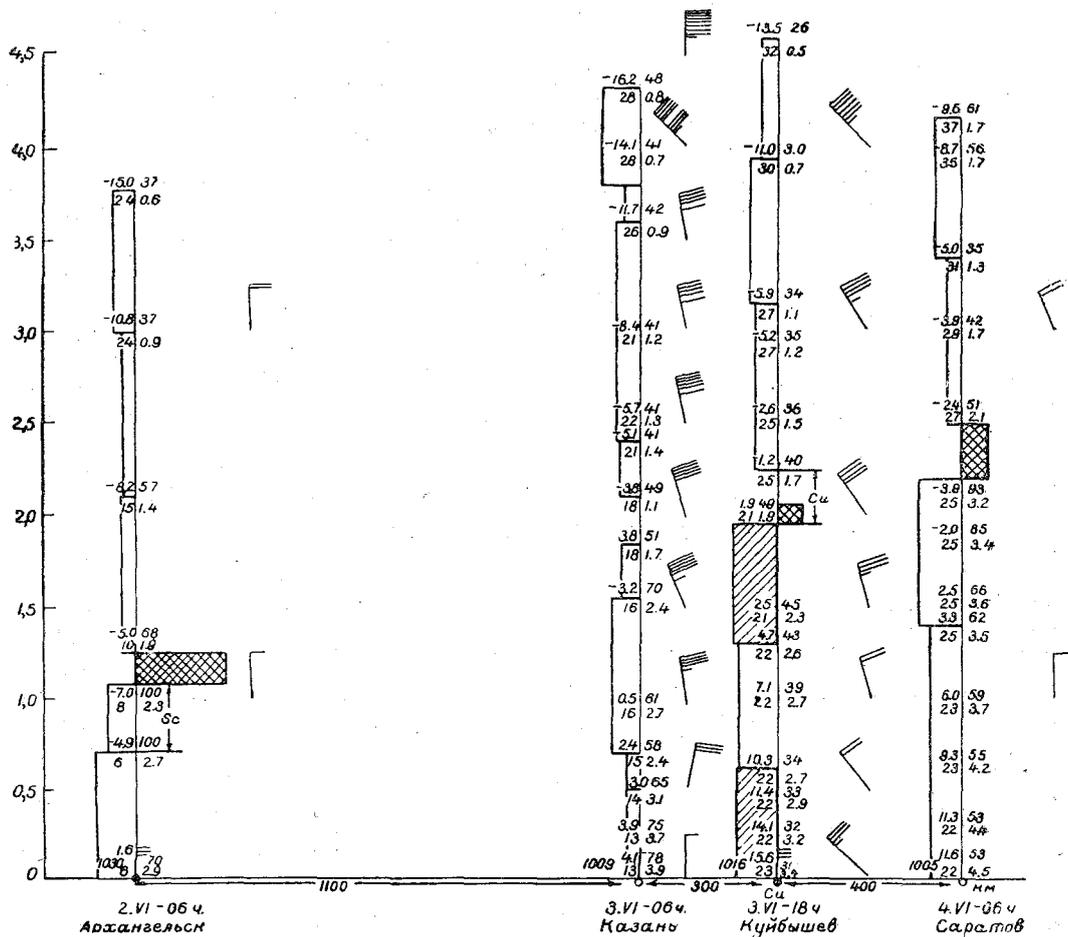


Рис. 3. Стратификация перемещающейся воздушной массы.

1 — ветер; 2 — относительная влажность в целых; 3 — удельная влажность; 4 — эквивалентно-потенциальная температура;  — инверсия.

д) эквипотенциальная температура также значительно больше возрастает до слоя инверсии и меньше на больших высотах.

е) По данным обсерватории г. Куйбышева можно видеть, что в дневное время вертикальные температурные градиенты значительно больше в нижнем слое атмосферы (до инверсии), чем над инверсией.

Очевидно, процесс трансформации холодной воздушной массы, движущейся по теплой подстилающей поверхности, происходил так, что при его изучении необходимо отдельно рассматривать два слоя тропосферы: нижний слой, — от поверхности

земли до начала антициклонической инверсии (или до нижней границы облачности, при ее наличии), и верхний слой — от инверсии до верхней границы холодного потока.

Если в нижнем слое атмосферы трансформация воздушной массы определяется действием подстилающей поверхности, то в верхнем слое тепловая трансформация воздуха происходит по другим причинам. Здесь тоже происходит значительный прогрев воздуха, но он вызван нисходящими движениями, поглощением прямой солнечной радиации и конденсацией водяного пара. Повышением температуры воздуха за счет конденсации водяного пара нельзя пренебрегать в начальное время движения холодной воздушной массы над континентом, когда происходит образование облаков большой протяженности (облачность 10/10 баллов). Повидимому, наличием облачности объясняется то, что в первые сутки движения воздушной массы по континенту прогрев на поверхности 900 мб был больше, чем у поверхности земли. По мере продвижения холодной воздушной массы к югу толщина нижнего слоя (до инверсии) увеличивается. Приток тепла от поверхности земли, вследствие увеличения притока солнечной радиации, достигает все большей высоты. При дальнейшем движении воздушной массы по периферии антициклона, когда поток становится возвращающимся, инверсия разрушается, и поток тепла от поверхности земли достигает более высоких слоев атмосферы.

Об изменении температуры всего слоя атмосферы, движущегося в определенном направлении, можно судить по изменению относительного геопотенциала этого слоя. Относительный геопотенциал 900/1000 мб до поворота траектории к северу (за 2,5 суток) возрос на 8 декаберков, а после поворота (в течение суток) оставался почти неизменным, хотя температура на высоте 1 км на этом участке траектории повысилась на 3°.

Изменение относительного геопотенциала 500/1000 мб при прямолинейном движении составило 27 декаберков. При дальнейшем продвижении воздушной массы к Воронежу он не менялся.

Однако лучшее представление о трансформации воздушной массы, возвращающейся к северу, можно получить, сравнивая ее стратификацию в различных пунктах по пути ее следования. Зондажи, проведенные в Сталинграде 4/VI и в Курске 5/VI, показывают, что от земли до поверхности 700 мб воздух прогревался в среднем на 3° и эквипотенциальная температура в этом слое возрастала. Отмечается также значительное повышение удельной влажности в нижнем километровом слое атмосферы; все это говорит за то, что в нижнем слое атмосферы еще происходит трансформация воздуха в том же направлении, что и на первом участке пути. Выше поверхности 700 мб зондажи указывают на понижение температуры воздуха над Курском по сравнению со Сталинградом, но здесь еще продолжалось поступление холодной воздушной массы с северо-запада (поток сохранял северо-западное направление); таким образом, радиозонд попадает в другую воздушную массу, разумеется, менее трансформировавшуюся над Курском, чем в более южных районах. Относительный геопотенциал 500/1000 мб сглаживает это различие между двумя слоями атмосферы.

В дальнейшем прогрев воздуха, поступившего с севера, происходит в области повышенного давления. По траектории движения центра антициклона можно видеть, что эта область располагалась в районе Аральского моря (центр несколько севернее моря) и захватывала северное побережье Каспия.

6/VI области высокого давления по синоптической карте и на высоте поверхности 500 мб почти совпадают, располагаясь между Арало-Каспием.

Максимальный относительный геопотенциал 500/1000 мб оказывается над Сталинградской, Ростовской и Ворошиловградской областями. Он обусловлен адвекцией теплых масс.

За Аральским морем относительные изогипсы наименьшие. Здесь расположена область холода, так как продолжается поступление холодных воздушных масс с севера. В антициклоне циркуляция ослабевает.

На периферии антициклона дуют суховеи. Они захватывают лишь побережье Каспия, Поволжья и восток Ростовской области. В западной части Ростовской области проходят грозы и ливни. Фронт, проходящий через центральную часть

Европейской территории СССР от Белого моря до Черного идвигающийся с запада на восток, ограничивает действие суховеев. 7 и 8/VI область действия суховеев еще больше сокращается, так как прежний морской полярный воздух, движущийся с запада, достигает верхнего Поволжья, фронт проходит восточнее Ростова-на-Дону в юго-восточном направлении к Каспию.

В нижней и Среднем Поволжье и в Восточной части Ростовской области, там, где расположена юго-западная периферия антициклона, температура воздуха оказывается выше 30° и относительная влажность местами менее 20% .

Здесь продолжали действовать суховеи и во вторую декаду июня. Они уже были обусловлены выносом из-за Каспия сухого прогретого воздуха, появившегося в результате длительной трансформации прежнего арктического воздуха в мало-подвижном высоком антициклоне.

Итак, майские и июньские суховеи 1949 г. возникли на Европейской территории СССР в результате трансформации холодного воздуха, движущегося над континентом с севера или северо-запада на юго-восток.

Рассмотренное нами вторжение холодных воздушных масс на Европейскую территорию СССР, наблюдавшееся в летний период других лет (1947—1950 гг.), всегда сопровождалось развитием суховеев на периферии антициклона.

Однако иногда, во вторую половину лета, возможно образование суховеев на Европейской территории СССР и в области антициклона, движущегося по континенту Европы с запада на восток. Именно при таком синоптическом процессе наблюдался сухой 18/VIII 1949 г.

При изучении природы суховеев весьма важно установить характер вертикальных движений в зоне действия суховеев, так как до сих пор еще иногда метеорологами высказывается убеждение, что суховеи являются нисходящим потоком воздуха в антициклоне.

Поэтому нам казалось необходимым остановиться на этом вопросе и на конкретном примере показать, какое направление вертикальных движений преобладало в антициклоне в тот период, когда в нем наблюдались ветры суховеинного характера. С этой точки зрения нами произведен анализ условий, наблюдавшихся в свободной атмосфере, при суховее 5/VI 1949 г.

Форма облачности, температурная стратификация атмосферы (наличие инверсий или повышенных вертикальных градиентов) уже позволяют качественно оценить направление вертикальных воздушных потоков в атмосфере. Кроме того, нами был произведен непосредственный подсчет величины вертикальных скоростей в антициклоне с помощью формул, полученных теоретическим путем в Центральном институте прогнозов. Все это позволяет оценить роль и значение нисходящих потоков не только в образовании суховеев, но также и в процессе трансформации воздушных масс.

В этот день во всем районе действия суховеев преимущественно была малооблачная погода (1—4 балла), но местами отмечалось 7 и даже 9 баллов, причем в основном преобладали перистые и перисто-слоистые облака. Однако, на побережье Азовского моря отмечены высококучевые, а в Курской области, в районе Воронежа и Тамбова кучевые и кучево-дождевые облака. Кучевые формы облачности на периферии антициклона говорят о наличии здесь восходящих потоков в нижнем слое атмосферы.

По данным утренних температурных зондирований атмосферы в Курске и Тамбове вертикальные температурные градиенты в слое от 1 до 2 км близки к сухоадиабатическим, т. е. говорят о влажнонеустойчивом состоянии воздушной массы. В нижнем полукилометровом слое в утренние часы наблюдается приземная инверсия, что является следствием ночного радиационного выхолаживания. Днем безусловно градиенты здесь значительно возрастают и в нижнем слое атмосферы приобретают значения большие, чем в слое 1—2 км.

Выше 2 км по самолетным подъемам снова отмечается инверсия, по радиозондовым — слой изотермий. Повидимому, инверсия радиозондом отмечается как изотермия вследствие того, что при большой скорости подъема радиозонда на его показаниях сильнее сказывается инерция термоприемника.

Высота инверсии и распределение в ней влажности свидетельствуют о том, что это инверсия антициклональная, т. е. возникла в результате нисходящих потоков в антициклоне выше 2 км и развития турбулентности под инверсией. Эта инверсия является задерживающим слоем для восходящих конвективных движений.

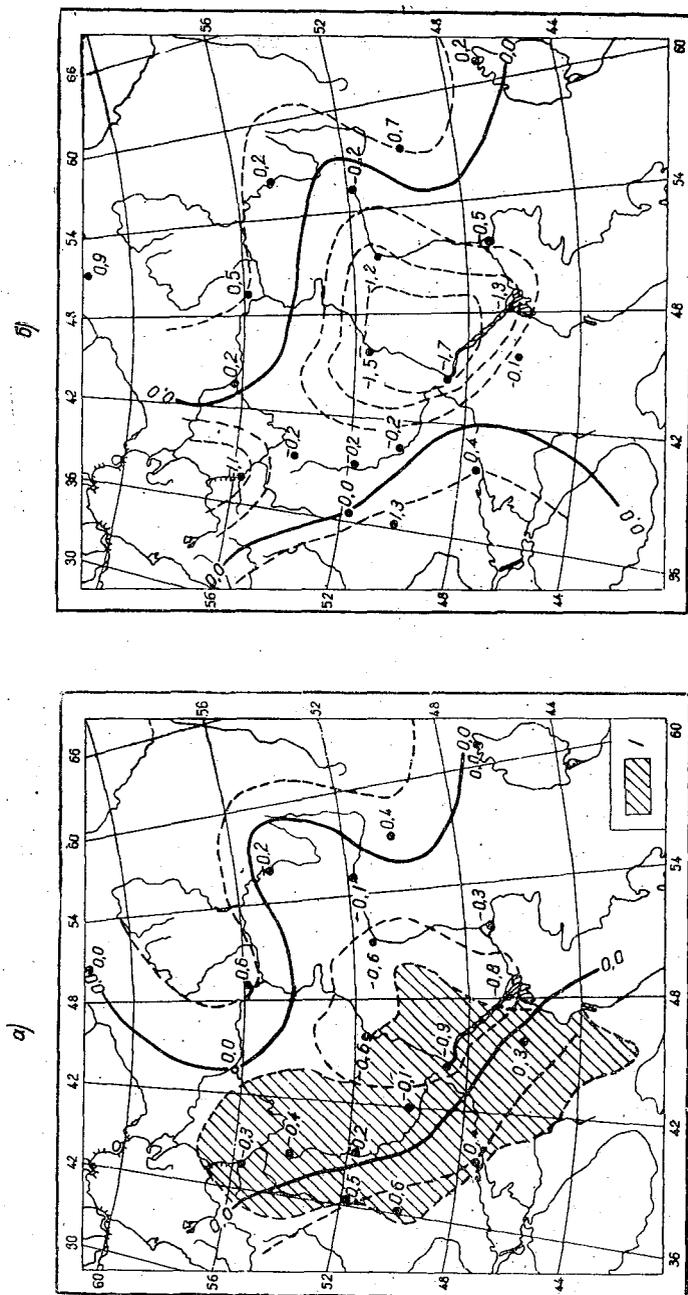


Рис. 4. Скорости вертикальных движений в атмосфере 5/VI 1949 г.
 а — на 900 мб поверхности, б — на 700 мб поверхности. 1 — зона суховея.

Подсчет вертикальных скоростей по данным карт барической топографии с учетом конвергенции трения и изаллобарической конвергенции (последнюю) нами произведен по 20 пунктам юго-востока Европейской территории СССР.

На картах рис. 4 нанесены значения вертикальных скоростей (в см/сек.) на поверхности 900 мб (а) и на поверхности 700 мб (б), вычисленные для 12-часового

интервала времени: с 06 по 18 час. 5/VI. Штриховкой дана зона действия суховея 5/VI 1949 г.

Построенные нами карты распределения вертикальных скоростей (рис. 4) и сравнение их с изобарами на поверхности земли и изогипсами поверхности 500 мб (рис. 5), позволяют заключить, что нисходящие движения воздуха ($w < 0$) наблюдались лишь вблизи центра антициклона, причем максимальные значения вертикальной скорости оказались северо-западнее наземного центра антициклона, над областью роста давления.

На периферии антициклона, в районе наиболее интенсивных суховея, вертикальные скорости уменьшаются до нуля и даже принимают противоположный знак, что свидетельствует о восходящем потоке воздуха и находит свое подтверждение в образовании кучевой облачности. Однако и вблизи центра антициклона

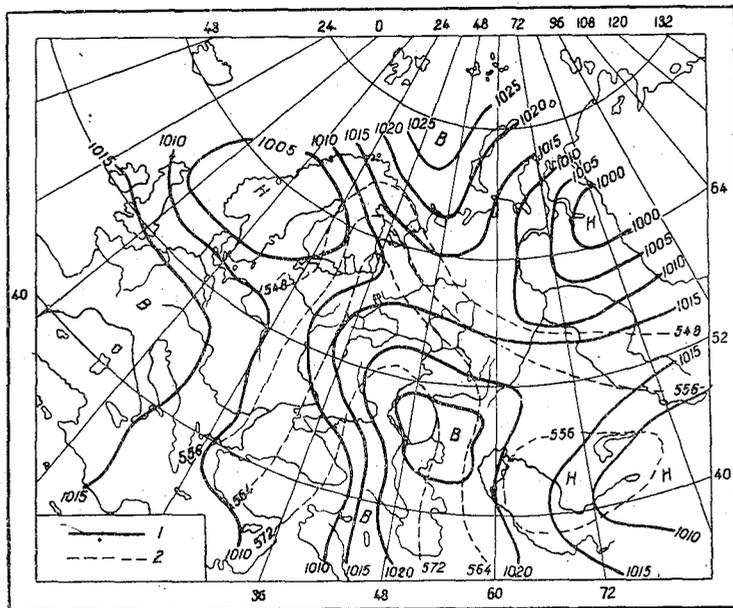


Рис. 5. Барическое поле и изогипсы 5/VI 1949 г.

1 — изобары на синоптической карте за 15 час., 2 — изогипсы поверхности 500 мб за 18 час.

нисходящие потоки невелики. Даже наибольшие значения скорости нисходящего потока на поверхности 700 мб не превышают 1,5—1,7 см/сек., а на поверхности 900 мб — менее 1 см/сек. Таким образом, требуется более суток для того, чтобы воздух с уровня 1 км опустился до поверхности земли. При приближении к поверхности земли нисходящее движение воздуха будет задерживаться восходящими потоками, безусловно имеющими место в дневное время суток, вследствие прогрева земной поверхности и нижнего слоя атмосферы. Следует иметь в виду, что термическая конвекция в применяемых нами формулах не учитывается.

Поскольку область действия суховея располагается вблизи нулевых значений вертикальной составляющей скорости ветра, то совершенно очевидно, что нисходящие воздушные потоки не могли создать „фён свободной атмосферы“.

Ночью область нисходящих потоков несколько сместилась в южной своей части на восток, но скорости вертикальных движений уменьшились. В области, где проходит нулевое значение вертикальной скорости, 6/VI продолжали действовать суховея, следовательно, они опять-таки не находились в зависимости от нисходящих потоков. Наличие кучевых облаков подтверждает, что здесь в нижнем слое атмосферы преобладали восходящие потоки над нисходящими.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОЙ ПОЛУПУСТЫНИ ЗАВОЛЖЬЯ

(По наблюдениям лесогидрометстанции Джаныбек)

Комплексная полупустыня Заволжья представляет собой равнину с множеством микропадин и микроповышений, которые по своей высоте отличаются друг от друга на 20—40 см. Большинство этих мелких западин соединены одна с другой небольшими перемычками, которые находятся выше микропадин, но ниже микроповышений. Вся эта цепь соединенных микропадин заканчивается при впадении в большие падьи, площадь которых составляет около 15—20% всей территории. Большие падьи являются основными водосборами местного стока.

По растительности элементы микрорельефа резко отличаются друг от друга. Микропадины имеют более густую и высокую травянистую растительность. Высота травостоя в них достигает 25—30 см. Микроповышения имеют травостой высотой около 2—4 см. Что касается больших пядин, то обычно они вспаханы или заняты озимыми, в естественных условиях они аналогичны микропадинам.

Отрицательной особенностью климата комплексной полупустыни Заволжья является резкий недостаток атмосферных осадков. По средним многолетним данным они составляют всего 250—300 мм, т. е. в 1,5 раза меньше, чем в центральных, уже в значительной степени засушливых черноземных районах Европейской территории СССР.

Большее количество осадков выпадает в теплое время года. Оно составляет около 200 мм. Это, как правило, кратковременные и слабые осадки, они приносят мало пользы, так как дождевая вода, едва достигнув поверхности земли, под воздействием высоких температур и зачастую сильных ветров быстро испаряется.

Зимние осадки по своему количеству составляют примерно третью часть годовых осадков; они также слабые, но продолжительнее.

Хотя высота снежного покрова, при таком небольшом количестве зимних осадков, и не превышает 20—25 см в открытой степи, однако, вместе с осенними осадками накапливается некоторое количество влаги в почве.

Характерной особенностью климата комплексной полупустыни Заволжья являются ветры. Зимой они играют решающую роль в уплотнении и перераспределении снежного покрова в зависимости от микрорельефа и растительности.

Для изучения распределения снежного покрова в открытой комплексной степи и в условиях снегозадержания и лесонасаждений в зиму 1950/51 г. лесогидрометстанцией Джаныбек были организованы следующие наблюдения.

1) В открытой степи было установлено 28 постоянных реек, которые располагались в микрозападинах, на склонах и микроповышениях. Наблюдения по этим рейкам производились ежедневно с таким расчетом, чтобы охарактеризовать высоту залегания снежного покрова и перераспределение его в течение зимы.

2) Проводились ежедекадные снегомерные съемки в открытой степи для определения средней высоты залегания снежного покрова и определения плотности снега.

3) В период максимального накопления снега были проведены снегомерные съемки для учета влияния снегозадержания на большой падине и по плантажной вспашке будущей государственной защитной лесной полосы.

4) В условиях лесонасаждений велись ежелекадные снегомерные съемки на полосах, по-разному ориентированных к странам света. Наблюдения велись в лесонасаждениях 1939 г. в сельхозартели им. Ленина („Новая жизнь“) по пяти снегомерным линиям, причем линии располагались так, как указано на схеме (рис. 1).

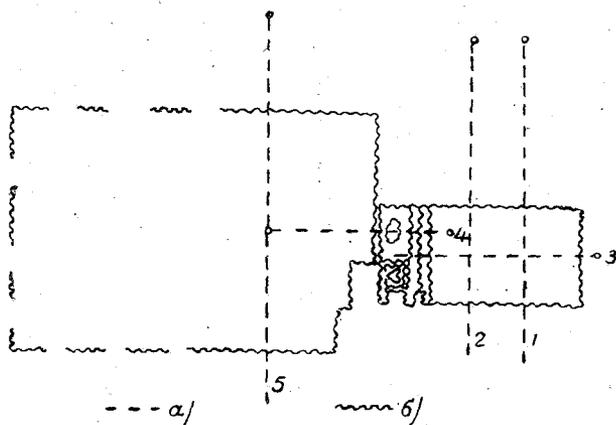


Рис. 1. Схема размещения снегомерных линий в лесонасаждениях с.-х. артели им. Ленина (Новая жизнь).
Зима 1950/51 г.

a — снегомерная линия, *b* — лесная полоса.

Зимой 1950/51 г. выпало всего 39,1 мм осадков, т. е. в два с лишним раза меньше нормы. Эти осадки образовали в открытой степи снежный покров высотой в 15 см (табл. 1).

Основные зимние осадки выпадают в декабре, когда они образовали снежный покров высотой в 10 см. Январские осадки увеличивают высоту снежного покрова до 15 см и такой она сохраняется до начала весеннего снеготаяния. В табл. 1 представлены средние величины, но они не дают действительной картины рас-

пределения снега на местности в условиях комплексной степи. Для того чтобы представить себе эту картину, рассмотрим распределение снежного покрова:

- 1) в условиях комплексной степи,
- 2) в условиях комплексной степи при наличии снегозадержания,
- 3) в условиях лесонасаждения.

Таблица 1

Характеристики накопления снега в открытой степи за зиму 1950/51 г.

Месяцы	Декады	Высота снега, см	Плотность	Запас воды в снеге, мм	Нарастающая сумма осадков по декадам, мм
XII	1	2	—	—	18,3
	2	2	—	—	18,3
	3	10	—	—	27,7
I	1	10	0,25	25,0	30,0
	2	13	0,28	36,4	32,7
	3	15	0,25	37,4	34,7
II	1	15	0,24	36,0	34,7
	2	14	0,27	37,8	35,5
	3	15	0,28	42,0	39,1

1) В условиях комплексной степи характер залегания снежного покрова находится в непосредственной зависимости от местных условий: стерни, высыхающей летом, травянистой растительности и небольших неровностей микрорельефа. Первостепенным фактором, который обуславливает эту зависимость, является ветер.

Нужно указать, что снег легко сдувается с участков, подверженных большим скоростям ветра, и, наоборот, накапливается в местах затишья, причем решающую роль оказывает скорость ветра непосредственно у самой снежной поверхности.

Дни, в которые проходило перераспределение снега, соответствуют дням с поземками и метелями. Таких дней в декабре было 4, в январе 23, в феврале 13. До 25/XII наблюдается (рис. 2) примерно равная высота во всех элементах микро-рельефа (западина, склон и повышение). В дальнейшем это распределение резко изменяется под влиянием ветра.

К 15/1 на микроповышении высота снежного покрова остается почти такой же, как и в декабре (4 см), а в микрозападине она повышается до 19 см. Однако после 15/1 различие в высоте снежного покрова начинает несколько сглаживаться. Ослабление переноса связано не только с уменьшением скорости ветра, но и с уплотнением снега и образованием наста.

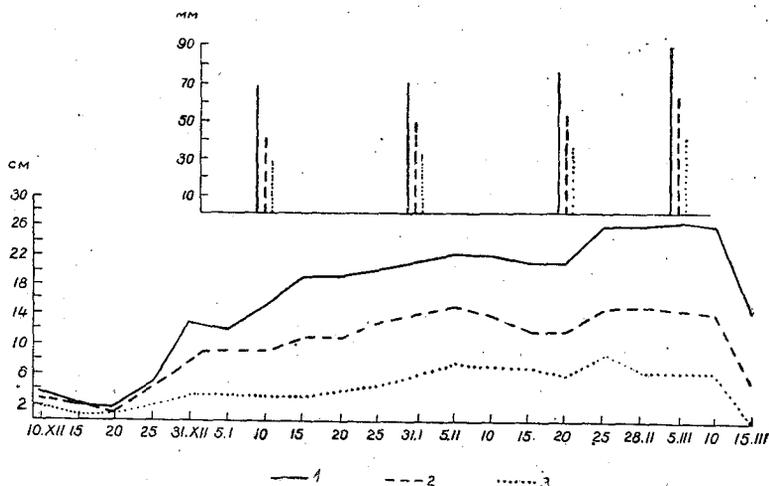


Рис. 2. Распределение снежного покрова в зависимости от микро-рельефа в открытой степи и диаграмма запасов воды в снеге в условиях микро-рельефа.

1 — высота снега и запас воды в нем для микрозападины, 2 — то же для склона, 3 — то же для микроповышения.

Сильные ветры в конце февраля вызывают новое перераспределение снега, которое местами значительно увеличивает высоту снежного покрова и еще более уплотняет наст.

График взят по осредненным величинам. В него включены микрозападины с разной конфигурацией и под разным травостоем. Поэтому для более детального рассмотрения на рис. 3 даны микрозападины с пологими склонами в поперечнике до 40—60 м и с крутыми склонами, в поперечнике достигающими 20—25 м.

В первом случае накопление находится в большей зависимости от остатков травянистой растительности. Постепенно накапливаясь среди растений, снег достигает высоты растительности. Чем она будет выше, тем будет выше снег, и, наоборот, чем будет она ниже, тем и ниже будет снег. В этом случае влияние рельефа сглаживается. Это можно наблюдать на больших палинах, совершенно освобожденных от растительности, которые ничем не отличаются по высоте снежного покрова от ровных мест. В случае, если большие палины покрыты травянистой растительностью, то в них точно так же накапливается снег.

Во втором случае накопление снега при первом перераспределении покрывает остатки растительности, а затем идет более медленно, в конечном итоге выравнивая рельеф. В этом случае, наоборот, влияние рельефа на распределение снега возрастает.

Заполнив все микрозападины, снег подвергается действию ветра, как на ровной местности. Его высота в одних и тех же местах то понижается, то повы-

шается за счет образования или разрушения волн (заструг), но в этих случаях высота его не падает ниже высоты травянистой растительности в условиях западин с пологими склонами и ниже линии, соединяющей отметки и проходящей по краю западины, при наличии крутых склонов.

Такова, в основном, картина накопления и перераспределения снега в условиях комплексной открытой степи.

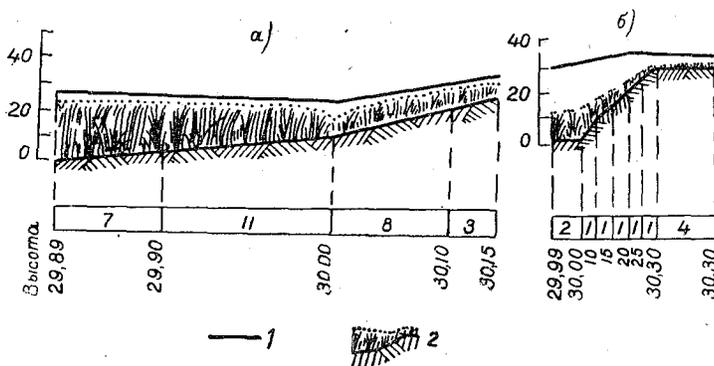


Рис. 3. Распределение снега в микрозападинах с пологими (а) и крутыми (б) склонами.

1 — высота снега перед снеготаянием, 2 — высота травостоя.

Что касается плотности снега, то во всех элементах микрорельефа она сохраняется почти одинаковой.

Запас воды в снеге увеличивается пропорционально высоте снега в западине. Это хорошо видно на диаграмме (рис. 2).

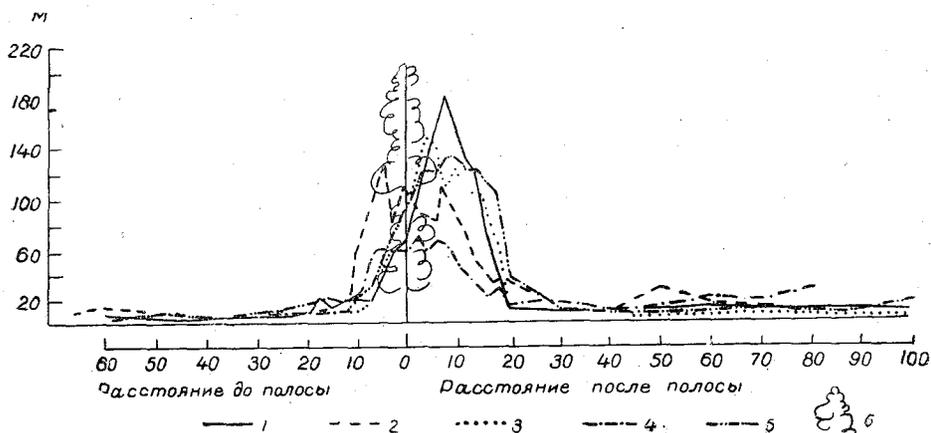


Рис. 4. Влияние лесных полос на снегонакопление по наблюдениям за зимний сезон 1950/51 г.

1 — накопление снега у лесной полосы с высотой деревьев 4—5 м, ориентированной с востока на запад, ширина полосы 5 м, 1-я с южной стороны; 2 — то же, ширина полосы 7,5 м, 2-я с южной стороны; 3 — то же, ориентированная с севера на юг, ширина полосы 7,5, 1-я с восточной стороны; 4 — то же, с высотой деревьев 3—4 м, ориентированная с востока на запад, ширина полосы 5 м, 2-я с южной стороны; 5 — то же, 1-я с южной стороны; 6 — лесная полоса.

2) В силу такого перераспределения в необходимых местах можно накопить значительное количество снега. В конце зимы 1950/51 г., т. е. почти к началу таяния снега (15—20/II 1951 г.), на участке будущей лесной полосы, вспаханном осенью, были сделаны снежные стенки высотой до 1 м. Такие стенки, представляя зигзагообразную линию, прошли вдоль полосы и в период метелей в конце февраля смогли накопить значительное количество снега.

Наблюдением, сделанным в марте 1951 г., выяснено, что это снегозадержание увеличило высоту снега на будущей лесной полосе почти в 3 раза по сравнению с открытой степью, а запас воды в снеге — с 34,3 до 100 мм, что дало дополнительной влаги на гектар на 600 м³ больше, чем в открытой степи.

3) Проведенные наблюдения зимой 1950/51 г. в лесонасаждениях сельхозартели им. Ленина („Новая жизнь“) показали, что лесные полосы в условиях комплексной полупустыни Заволжья играют исключительную роль для снегонакопления, а отсюда, безусловно, и для накопления влаги в почве (табл. 2).

Устойчивых ветров, которые бы вызывали постоянное снегонакопление со стороны какого-нибудь одного направления, в данном районе не наблюдается. Здесь ветрами любого направления может быть вызвано перераспределение снега, тем не менее восточные и юго-восточные направления по числу случаев преобладают. Несколько меньше число случаев северных и северо-восточных ветров.

Таблица 2

Накопление снега в разных лесополосах

Характеристика лесных полос	Средняя высота снегонакопления у лесных полос, см	Запас воды в снеге, мм	Увеличение запасов воды в снеге по отношению к открытой степи, мм
Четырехрядная полоса, проходящая с юга на север, высотой 4—5 м, шириной 7,5 м, 1-я с восточной стороны	54	167,4	125,4
То же, проходящая с востока на запад, 2-я с южной стороны	62	182,7	140,7
Полоса, проходящая с востока на запад, высотой 4,5 м, шириной 5,5 м, 1-я с южной стороны	76	235,1	193,1
То же, при высоте деревьев 3—4 м, 1-я с южной стороны	67	208,1	166,1
То же, 2-я с южной стороны	35	100,3	58,3
Сплошное насаждение, высотой 6—7 м, шириной 104 м	33	87,0	45,0
Межполосные клетки	10	26,4	15,6
Открытая степь	15	42,0	0

Как видно из табл. 2, приведенной выше, лесные полосы в течение зимы могут накопить значительное количество снега и тем самым снабдить почву дополнительной влагой. В зиму 1950/51 г. количество накопленной в результате перераспределения снега влаги в существующих лесных полосах было больше на 583—1931 м³ на гектар, чем в открытой степи, но это накопление, в силу непродуваемой конструкции полос, распространялось не более, чем на 20 м по обе стороны полосы, и таким образом создало сугробы снега у полос (рис. 4).

Подобное накопление снега будет вызывать задержку полевых весенних работ в межполосных клетках; кроме того, такая полоса будет питать только себя. Непродуваемость лесных полос, несмотря на их небольшую ширину, связана в значительной мере с тем, что в лесополосах преобладают кустарниковые породы деревьев.

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОЧВЫ И ПРИЗЕМНЫЙ СЛОЙ ВОЗДУХА НАД ПАРОВЫМ ПОЛЕМ¹

В работе проведен анализ результатов регулярных наблюдений над температурой почвы на глубинах 5, 10, 15 и 20 см и температурой воздуха на высотах 20 и 200 см над черным паром в открытой степи и в центре межполосной клетки (410×300 м) во время Каменностепной экспедиции Государственного гидрологического института в июне и июле 1950 г.

Сопоставляя данные по температуре почвы, автор для межполосного поля приходит к следующим выводам:

1) В дневные часы температура почвы на всех рассматриваемых уровнях, особенно верхних, выше, чем в открытой степи, даже средние декадные температуры на уровне 5 см иногда отличаются на 5°.

2) Более высокая температура сохраняется на уровнях 10, 15 и 20 см в течение ночи, на глубине же 5 см во вторую половину ночи, в среднем, немного холоднее, чем в открытой степи.

3) Амплитуда суточных колебаний температуры на уровнях 5, 10 см и на поверхности почвы (амплитуда на последней получена экстраполяцией), больше, чем в открытой степи. На 15—20 см соотношения могут меняться. Средний вертикальный температурный градиент в слое 5—15 см для межполосного поля больше, чем в открытой степи; в слое 15—20 см соотношения могут меняться.

Проводя анализ всех возможных причин наблюдающихся особенностей, автор приходит к заключению, что ослабление турбулентной теплоотдачи в межполосном пространстве не является единственной причиной повышенной температуры почвы. Привлекая данные по испарению и влажности почвы, автор показывает, что большое различие в температуре почвы наблюдается в периоды с хорошим увлажнением ее, когда испарение в степи становится значительно большим, чем среди лесополос. В засушливые периоды, когда испарение снижается, уменьшается и температурное различие. Расчет среднего дневного (7—19 час.) теплонакопления в слое 0—20 см тоже показал малое различие в сухие периоды и более высокое значение его среди лесополос в увлажненные.

Рассматривая затухание амплитуд суточных колебаний с глубиной и вертикальные температурные градиенты, автор приходит к выводу, что на повышение температуры почвы среди лесополос влияет и худшая теплопроводность верхнего слоя 15 см, на более глубоких уровнях теплопроводность среди лесополос больше вследствие большего увлажнения.

Сравнение данных по температуре воздуха на 20 и 200 см в межполосном поле показало следующее:

1) Днем, как правило, температура на обоих уровнях ниже, чем в открытой степи.

2) Ночью в преобладающем числе случаев, наоборот, температура выше, чем в открытой степи.

¹ Реферат дипломной работы студентки Ленинградского гидрометеорологического института, выполненной под руководством доцента Б. М. Гальперин. Реферат составлен Б. М. Гальперин.

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ

Ленинград, В. О., 2-я линия, д. 23

НАУЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Труды Главной геофизической обсерватории имени А. И. Воейкова

- Вып. 14 (76). Актинометрия. Под ред. Н. Н. Калитина. 7 р. 20 к.
Вып. 15 (77). Климатология. Ред. М. В. Заварина. 12 р. 80 к.
Вып. 16 (78). Вопросы атмосферной турбулентности. Под ред. Е. С. Ляпина и М. И. Юдина. 8 р. 80 к.
Вып. 19 (81). Сборник, посвященный столетнему юбилею Обсерватории. Под ред. В. П. Пастуха и др. 15 р. 20 к.
Вып. 22 (84). Физика приземного слоя воздуха. Под ред. Д. Л. Лайхтмана. 2 р. 80 к.

Труды Центрального института прогнозов

- Вып. 3 (30). Вопросы морских гидрометеорологических прогнозов. Под ред. Н. А. Беллинского. 6 р. 80 к.
Вып. 9 (36). Вопросы прогноза паводков. Под ред. Г. Р. Брегмана. 13 р. 20 к.
Вып. 10 (37). Небольсин С. И. Климатический очерк Подмосковья (Наро-Фоминский район агрометстанции Собакино). 7 р. 20 к.
Вып. 11 (38). Вопросы долгосрочных прогнозов. Под ред. С. Т. Пагава. 12 р. 40 к.
Вып. 12 (39). Вопросы прогнозов стока. Под ред. В. Д. Комарова. 5 р. 60 к.
Вып. 13 (40). Засуха 1946 года. Под ред. В. В. Синельщикова. 5 р. 60 к.
Вып. 15 (42). Вопросы динамической метеорологии. Под ред. А. Ф. Дюбюка. 5 р. 60 к.
Вып. 18 (45). Сельскохозяйственная метеорология. Под ред. А. В. Процерова. 8 р.
Вып. 19 (46). Вопросы долгосрочных прогнозов. Под ред. С. Т. Пагава. 9 р. 60 к.
Вып. 21 (48). Вопросы динамической метеорологии. Под ред. И. А. Кибеля. 4 р. 40 к.
Вып. 22 (49). Вопросы гидрологических прогнозов. Под ред. Е. Г. Попова и В. В. Пиотровича. 6 р.
Вып. 23 (50). Вопросы гидрологических прогнозов. Под ред. В. В. Пиотровича. 6 р.
Вып. 24 (51). Вопросы гидрологических прогнозов. Под ред. Е. Г. Попова. 4 р.
Вып. 25 (52). Вопросы синоптической метеорологии. Под ред. Г. Д. Зубяна. 6 р.
Вып. 27 (54). Вопросы гидрологических прогнозов. Под ред. В. Д. Комарова. 4 р. 40 к.

Труды Государственного океанографического института

- Вып. 4 (16). Сборник работ по химии моря. Под ред. С. В. Бруевича. 9 р. 60 к.
Вып. 5 (17). Работы по геологии моря. Под ред. М. В. Кленовой. 8 р. 80 к.
Вып. 6 (18). Работы по гидробиологии. Под ред. П. И. Рябчикова. 7 р. 20 к.
Вып. 8 (20). Сборник статей. Под ред. П. С. Линейкина. 7 р. 40 к.
Вып. 9 (21). Харитонов Д. Г. Гидрометеорологическая характеристика северной части Атлантического океана. 13 р. 20 к.
Вып. 10 (22). Сборник работ по химии моря. Под ред. С. В. Бруевича. 10 р. 80 к.
Вып. 11 (23). Сборник статей. Ред. И. А. Бенашвили. 4 р.
Вып. 12 (24). Сорокина А. И. Опыт климатического районирования Мирового океана по циркуляционным признакам. 11 р. 20 к.
Вып. 13 (25). Шлямин Б. А. Гидрометеорологическая характеристика Средиземного моря. 10 р.
Вып. 14 (26). Таубер Г. М. Гидрометеорологическая характеристика района китобойного промысла в атлантическом секторе Антарктики. 3 р. 20 к.

Требуйте во всех книжных магазинах!