

М. И. Юдин

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН И ОПТИМАЛЬНАЯ ШИРИНА ПОЛОС

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 16 II 1950)

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы уточнить понятие о метеорологической эффективности лесных полос и на основе элементарных физических представлений о механизме их действия рассмотреть вопрос об оптимальной (с метеорологической точки зрения) ширине полосы. В литературе по вопросу о влиянии лесных полос укоренилось мнение о том, что метеорологический эффект лесной полосы определяется, главным образом, уменьшением скорости ветра в ее окрестности. Это мнение, однако, справедливо лишь отчасти.

Обычно с ослаблением ветра связывают такие важные факторы, как уменьшение почвенного испарения и коэффициентов транспирации растений, а также ослабление сдувания снежного покрова зимой и верхнего слоя почвы весной. Однако прямая связь интенсивности всех указанных процессов со скоростью ветра имеет место лишь постольку, поскольку меньшей скорости ветра соответствует меньшая интенсивность турбулентного перемешивания частиц воздуха и, как следствие, ослабление вертикального турбулентного переноса различных субстанций (водяного пара, снега, пыли и др.).

Указанная закономерность отчетливо наблюдается, когда в определенном месте изучается смена воздушных потоков. Однако для выяснения механизма влияния лесной полосы на турбулентный обмен мы должны рассматривать не различные воздушные течения, сменяющие друг друга над определенной местностью, а турбулентное состояние одного определенного течения, движущегося над неоднородной подстилающей поверхностью и, в частности, пересекающего лесную полосу. Очевидно, что турбулентное состояние такой массы воздуха не может характеризоваться только значением скорости ветра и необходимо учитывать также другие существенные факторы. Действительно, уменьшение скорости движения некоторого объема воздуха связано в силу закона сохранения массы с увеличением поперечного (по отношению к направлению ветра) сечения данного объема. Из аэродинамики известно, что такой тип течения отличается значительной неустойчивостью, что приводит к усилению процесса преобразования энергии среднего движения в энергию неупорядоченных турбулентных движений (эффект диффузора). Особенно существенен указанный отрицательный эффект при прохождении воздушного потока сквозь плохо продуваемые полосы.

Таким образом, ослабление скорости ветра лесной полосой нельзя рассматривать как причину, вызывающую уменьшение интенсивности турбулентного обмена. Можно лишь утверждать, что до известных пределов ход этих двух процессов параллелен.

Какой же основной фактор определяет наблюдаемое действие лесных полос на турбулентный обмен? Исходя из современных представлений о процессе турбулентного перемешивания, можно с полной определенностью утверждать, что решающее значение здесь имеет изменение структуры воздушного потока при прохождении сквозь лесную полосу. Интенсивное образование малых вихрей и разрушение крупных вихрей при прохождении воздушного потока сквозь полосу приводит к значительному уменьшению «эффективного размера вихря» L , входящего множителем в известное выражение для коэффициента вертикального обмена

$$K = \omega L, \quad (1)$$

где ω — характерное значение вертикальной компоненты пульсационной скорости. Этот эффект можно условно назвать эффектом гидродинамической решетки.

Итак, всякая лесная полоса производит двоякое действие на набегающий воздушный поток, являясь одновременно и вихреобразователем и диффузором. Исследование метеорологических эффектов, вызываемых лесной полосой, должно опираться, прежде всего, на фактические данные о структуре воздушного потока.

Опыты в этом направлении были впервые поставлены отделом прикладной метеорологии Главной геофизической обсерватории летом 1949 г. При этом действительно подтвердилось, что значение ω за полосой изменяется сравнительно мало, в то время как значение L существенно уменьшается.

Нам представляется, что все наблюдаемые эффекты действия полезащитных полос на микроклимат могут быть объяснены с развитой выше точки зрения. При решении большинства вопросов, относящихся к указанной проблеме, потребуются постановка широких экспериментальных исследований. Однако ряд важных заключений может быть получен уже в настоящее время.

Так, представление о том, что метеорологическая эффективность лесной полосы определяется, главным образом, интенсивностью вихреобразования в протекающем сквозь полосу воздухе, позволяет установить количественный критерий, определяющий оптимальное значение ширины полосы.

Не всякая количественная характеристика процесса вихреобразования пригодна для оценки метеорологического действия полосы. Такая характеристика должна удовлетворять двум основным условиям:

а) ее значение должно быть тесно связано с турбулентным состоянием воздуха за подветренной опушкой лесной полосы;

б) приобретенное при прохождении лесной полосы количественное значение избранной характеристики должно возможно долее сохраняться при дальнейшем движении воздуха и его перемешивании.

Мы избираем в качестве искомой характеристики суммарный запас завихренности, приобретенный массой воздуха, протекающей в 1 сек. через подветренную опушку полосы. При этом в рассмотрение включаются лишь вихри тех относительно крупных масштабов, в которых содержится основная часть турбулентной энергии потока.

Тогда оба указанные выше условия оказываются выполненными.

При оценке запаса завихренности принимается, что значения приобретенного вихря при прохождении каждого ряда деревьев представляют собой случайные независимые векторы; интенсивность вихреобразования в каждом ряду деревьев считается одинаковой. При этих предположениях для среднего квадрата завихренности $\bar{\Omega}^2$, приобретенного единицей массы воздуха за полосой ширины X , получаем

$$\bar{\Omega}^2 = c^2 X. \quad (2)$$

Масса воздуха, протекающего через подветренную опушку за 1 сек., μ пропорциональна скорости ветра u , так как изменения плотности воздуха при прохождении полосы относительно очень малы. Тогда, по А. И. Кайгородову (1), будем иметь

$$\mu \sim e^{-\alpha x} \quad (3)$$

Следовательно, задача сводится к разысканию максимума произведения:

$$\sqrt{X} e^{-\alpha X} = \max. \quad (4)$$

Отсюда сразу следует

$$X_{opt} = \frac{1}{2\alpha}. \quad (5)$$

При оптимальной ширине полосы скорость ветра за полосой, по (3), должна составлять $e^{-1/2} u_0$, т. е. 0,6 скорости ветра в открытом месте.

Поскольку соотношение (5) получено в результате существенных упрощений при схематизации процесса, его необходимо подтвердить фактическими данными.

В настоящее время мы не располагаем достаточным фактическим материалом наблюдений для полной проверки соотношения (5). Тем не менее, по имеющимся косвенным данным можно заключить, что это соотношение приблизительно справедливо.

Так, по данным Ю. П. Бялловича (2), Я. Д. Панфилова (3) и др., находим для полос ажурной и продуваемой конструкции ориентировочные значения α от 0,02 до 0,06, т. е. оптимальную ширину от 8 до 25 м. Таким образом, наши теоретические соображения находятся в полном соответствии с выводами из практики лесонасаждения, обобщенными в историческом постановлении Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б). Это постановление устанавливает, как известно, ширину полезащитных полос 10–20 м.

Далее, приведенные Г. И. Матякиным (4) показатели метеорологического действия расташевских полос №№ 3 и 5, приближающихся к определенному выше оптимуму по данным об ослаблении скорости ветра, следует признать вполне благоприятными. В особенности важным показателем метеорологической эффективности этих полос является существенное снижение испарения с открытой водной поверхности, простирающееся на значительные расстояния (см. рис. 10 и 11 работы (4)). Высокую эффективность расташевской полосы № 5 отмечает также В. А. Бодров (5). При этом он указывает, что эффект от вырубki подлеска на одном из участков полосы № 5, приведшей к увеличению скорости ветра за полосой на расстоянии 10 м от 62 до 84% от скорости ветра в открытом месте, оказался скорее отрицательным.

Отметим еще, что из развитых выше общих физических соображений следует, что наибольшая метеорологическая эффективность полос должна достигаться при несколько большей продуваемости, чем это требуется для достижения максимального ослабления ветра в межполосном пространстве. По сохранившей свое значение до настоящего времени схеме Я. Д. Панфилова (6), рис. 4), максимум суммарной ветрозащиты достигается при скорости ветра за полосой, равной 0,4 u_0 . То, что это значение скорости меньше, чем 0,6 u_0 , и в то же время не очень существенно отличается от последнего значения, также служит косвенным подтверждением правильности полученных выводов.

Хотя полученные здесь выводы представляют лишь первое приближение к решению вопроса об оптимальной ширине и конструкции лесной полосы, приведенные факты позволяют утверждать, что основная закономерность процесса описана в работе правильно.

В заключение выражаю искреннюю признательность акад. В. В. Шулейкину за поддержку проводимых исследований и акад. А. Н. Колмогорову за ценные критические замечания.

Главная геофизическая обсерватория
Ленинград

Поступило
30 VIII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. И. Кайгородов, Материалы к учету влияния рельефа местности на воздушные течения у поверхности земли, Петроград, 1916. ² Ю. П. Бяллович, Метеорология и гидрология, № 4 (1939). ³ Я. Д. Панфилов, К вопросу о влиянии защитных полос на скорость и направление ветра, Полезащитные полосы, в. 6, М., 1936. ⁴ Г. И. Матякин, О влиянии лесных полезащитных полос на микроклимат, Полезащитные полосы, в. 6, М., 1936. ⁵ В. А. Бодров, Влияние лесных полос на микроклимат прилегающей территории, М.—Л., 1936. ⁶ Агролесомелиорация, М., 1948.