

ВСЕСОЮЗНАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА АКАДЕМИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА

М. И. Долгилевич

**ПЫЛЬНЫЕ БУРИ  
И АГРОЛЕСО-  
МЕЛИОРАТИВНЫЕ  
МЕРОПРИЯТИЯ**

6272



МОСКВА, «КОЛОС», 1978

## В В Е Д Е Н И Е

В книге представлены теоретические исследования автора и других ученых по пыльным бурям и ветровой эрозии. Рассматриваются следующие вопросы: природа пыльных бурь, в том числе критические скорости ветра, эродируемость почв, их свойства, влияющие на развитие эрозии; влияние ветра на почву и растения; классификация ветровой эрозии; пыльные бури, их периодичность, продолжительность и распространение; потери почвы от эрозии и их допустимый предел. Представлена классификация почв, эродируемых ветром. Наглядно исследование по защите почв от эрозии, а также по эффективности лесных насаждений в борьбе с пыльными бурями в южных районах европейской части страны.

Пыльные бури как крайнее проявление ветровой эрозии почв периодически возникают в степной зоне европейской части СССР. Во время пыльных бурь повреждаются и погибают посевы сельскохозяйственных культур, с полей сносится верхний, наиболее плодородный слой почвы. Мелкоземом заносятся многолетние насаждения, жилые и хозяйствственные постройки, железные и шоссейные дороги.

Для разработки комплекса почвозащитных мероприятий, которые могут быть применены в определенных почвенно-климатических условиях, наряду с познанием общих законов развития ветровой эрозии необходимо знать региональные особенности этого процесса.

Первые сведения о пыльных бурях на юге России были получены в 1774 г. в результате путешествий П. С. Палласа (И. Е. Бучинский, 1970). Ветровая эрозия здесь начинает охватывать большие территории после сельскохозяйственного освоения черноземов, а затем и капитальных почв (значительным толчком к освоению новых земель на юге России послужили отмена крепостного права и колонизация земель). Распашка промадных земельных массивов, низкая культура земледелия в капиталистической России привели к частому возникновению пыльных бурь. В конце прошлого века засухи и пыльные бури на юге страны привлекли к себе внимание целого ряда ученых. Начался период не только описания пыльных бурь, но и изучения их природы.

В результате исследований в области динамической геологии, проведенных Н. А. Соколовым (1884) на песках России, были изучены природа и типы движения зерен песка, а также установлены начальные скорости ветра, необходимые для движения песчинок различной крупности.

В дальнейшем изучались изменения свойств почв под влиянием ветра, характер проявления ветровой эрозии на сельскохозяйственных угодьях, на различных полях, а также по сезонам года (А. А. Бычихин, 1892; Н. Сарандипаки, 1894). В этот же период были предприняты первые попытки классифицировать пыльные бури на метеорологической основе (С. Г. Попруженко, 1893; Г. Г. Шенберг, 1915).

В конце XIX в. большие исследовательские работы, посвященные изучению природы пыльных бурь, а также разработке мероприятий по борьбе с ними, были организованы В. В. Докучаевым и проводились под его руководством. Среди них наиболее значитель-

ны исследования Г. Н. Высоцкого (1894). Им сделан детальный научный анализ природы пыльных (черных) бурь в степях Украины. Он написал, что наиболее опасны пыльные бури ранней весной, когда озимые еще не окрепли, когда пашня не защищена растительным покровом. Г. Н. Высоцкий показал кинематику воздушного потока в зависимости от рельефа и характера препятствий на пути потока, описал динамику формирования золовых отложений у различных препятствий.

Эти исследования имеют важное значение и в настоящее время. Проведенные на лесных полосах различных конструкций исследования позволили впоследствии сделать ряд важных выводов о механизме влияния лесных полос на ветер и связанные с ним процессы ветровой эрозии.

Знаток земледельческих приемов на юге России П. Ф. Бараков (1913) отмечал, что прикатанные поля страдают от ветра сильнее, чем неприкатанные. В связи с этим крестьяне стремились разрыхлить почву боронами; тем самым повышалась шероховатость поверхности почвы и снижалось вредное воздействие ветра на почву. Распространение ветровой эрозии П. Ф. Бараков связывал с особенностями земледелия. По его мнению, особенно страдают от ветра поля сахарной свеклы, поэтому северные границы разверзающей деятельности ветра и посевов сахарной свеклы совпадают.

Намечая еще в 1897 г. широкую программу изучения естественных сил страны как основу оценки земель, В. В. Докучаев считал необходимым проведение исследований пыльных бурь. Широкие исследования стали возможными лишь при установлении Советской власти.

После сильных пыльных бурь на юге нашей страны весной 1928 г. были проведены исследования в основном географического характера (Д. О. Святский, 1928; А. В. Вознесенский, 1930; С. О. Воробьев, 1930, 1932). Впервые А. В. Вознесенским была составлена карта распространения пыльных бурь на территории Украины; на ней показаны районы с различной глубиной выдувания почвы и осаждением пыли. Несмотря на то что эти данные получены путем опроса местных специалистов и населения, они дают представление о масштабах пыльных бурь.

Материалы о распространении ветровой эрозии в виде пыльных бурь, ее частоте и некоторые мероприятия по борьбе с эрозией на Украине приведены в работе С. О. Воробьева (1930). Он отмечал, что наиболее разрушительные ураганы на Украине были в 1837, 1848, 1877, 1892, 1928 гг.; пыльные бури при этом охватывали большие территории и вызывали огромный вынос почвы. Например, в 1928 г. площадь территории, охваченной пыльными бурями, составила 400 тыс. км<sup>2</sup>.

Вслед за Г. Н. Высоцким С. О. Воробьев считая необходимым выдвинуть специальную проблему борьбы с пыльными бурями. Среди мероприятий, направленных на защиту почвы от выдувания,

он отмечал создание лесных полос на полях, весеннюю вспашку паров и зяби, посев многолетних трав.

После Великой Отечественной войны начались исследования эффективности агротехнических и лесомелиоративных мероприятий по борьбе с пыльными бурями.

Из ранних послевоенных исследований следует отметить работу С. С. Соболева (1945), посвященную географическим закономерностям ветровой эрозии. С. С. Соболев показал северную границу распространения пыльных бурь на Украине и выделил территории с различной интенсивностью ветровой эрозии.

Д. П. Рыжиковым (1948, 1955, 1957) изучены некоторые погодные факторы возникновения пыльных бурь в степи Украины. Анализируя данные об осадках в осенне-весенний период, он показал, что после сухой осени пыльные бури, как правило, возникают весной следующего года. Изучая лесомелиоративные приемы защиты почв и посевов от пыльных бурь, Д. П. Рыжиков отметил высокую эффективность ветроуменьшающих лесных полос, а также некоторых агротехнических приемов.

Г. А. Карасев (1956, 1957) проводил полевые опыты с обработкой почвы и бороздовым посевом зерновых культур в целях повышения их урожая и защиты почв от ветровой эрозии.

Существенный вклад в теорию полезащитного лесоразведения внесли работы Г. И. Матякина (1937, 1952), Я. Д. Панфилова (1937), Ю. П. Бялловича (1940), М. И. Юдини (1950), А. Р. Константинова (1950, 1951), Д. Л. Арманда (1961), Я. А. Смалько (1963), А. Р. Константинова и Л. Р. Струзера (1965) и др. Эти работы послужили основой создания эффективных систем полезащитных лесных полос в районах ветровой эрозии южной европейской части страны.

Более поздние работы подтвердили высокую почвозащитную эффективность лесных полос во время пыльных бурь (Ю. К. Телешек, 1960; П. М. Милюсердов, 1961, 1970, 1971; Н. С. Захаров, 1965; М. И. Долгилевич и др., 1969, 1972; М. М. Лазарев, В. Д. Савичев, 1969, и др.).

Значительно усилены исследования ветровой эрозии и разработка комплекса почвозащитных мероприятий после принятия постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 20 марта 1967 г. «О необходимых мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии».

Наряду с исследованиями по полезащитному лесоразведению на Украине, Северном Кавказе, Нижнем Поволжье были развернуты работы по изучению почвозащитной эффективности агротехнических приемов с использованием системы специальных почвообрабатывающих и посевных машин и орудий, разработанных во ВНИИЗХ, ВИМ, ВИСХОМ, КГМЭСХ и ряде заводов сельскохозяйственного машиностроения. В результате исследований выявлена эффективность почвозащитной обработки почвы под главнейшие сельскохозяйственные культуры.

Вместе с тем разработка научных основ комплекса мероприятий, направленных на защиту почвы от ветровой эрозии, требует глубокого понимания природы ветровой эрозии, механизма воздействия ветра на почву, особенно при осуществлении почвозащитных агротехнических и лесомелиоративных мероприятий. Не менее актуальны также исследования региональных особенностей ветровой эрозии на основе изучения многообразных ее факторов, разработка диагностики и классификации почв, подверженных ветровой эрозии.

Решение этих вопросов, которым посвящена книга, особенно для южных районов европейской части СССР, где интенсивное ведение сельскохозяйственного производства требует широкого внедрения комплекса мероприятий по защите почв от ветровой эрозии.

## ПРИРОДА ПОДАТЛИВОСТИ ПОЧВ ВЕТРУ

Многообразие почв, характеризующихся различными химическими и физическими свойствами, обуславливает существенно неодинаковое отношение их верхнего слоя к ветру. При изучении природы ветровой эрозии важное значение имеют критические скорости ветра, вызывающие начало движения почвенных частиц, и количество почвенного мехикозема, транспортируемого ветром определенной скорости. В целях диагностики эродируемых почв, их классификации по этому признаку не менее важно знать основные свойства почв, определяющие их эродируемость ветром.

Для разработки системы мероприятий, направленных на повышение плодородия почв, разрушенных ветром, необходимо изучить изменения химических и физических свойств почв, подверженных ветровой эрозии.

**Критические скорости ветра.** В процессе ветровой эрозии различают три главные фазы: начальное движение почвенных частиц, их передвижение и отложение. Развитие той или иной фазы вызывается возникновением динамических и статических сил при обтекании поверхности почвы воздушным потоком.

При обтекании потоком воздуха частицы, лежащей изолированно на поверхности почвы, на частицу действует целый ряд сил: сила тяжести ( $P_t$ ), лобовая сила ( $P_d$ ), атмосферного давления ( $P_a$ ) и подъемная сила ( $P_u$ ):

$$P_t = \frac{\pi d^3 (\gamma - \rho) g}{6}, \quad (1)$$

$$P_d = C_d K_1 d^2 \rho \frac{v^2}{2g}, \quad (2)$$

$$P_a = \frac{\pi d^2}{4} P_a, \quad (3)$$

$$P_u = C_u K_2 d^2 \rho \frac{v^2}{2g}. \quad (4)$$

Здесь  $d$  — диаметр частицы,  $\gamma$  — плотность частицы,  $\rho$  — плотность воздуха,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $P_a$  — атмосферное давление,  $C_d$  и  $C_u$  — коэффициенты сопротивления потоку. Если лобовая сила больше силы тяжести атмосферного давления на частицу, то она передвигается, волочась по поверхности почвы.

Градиент скоростей в пределах высоты (диаметра) частицы опускает большую скорость части потока, обтекающего частицу сверху, и незначительную — обтекающую частицу в нижней части. Возникает разность давления (внизу оно больше, чем сверху).

Вращение почвенной частицы под влиянием градиента скорости в результате эффекта Магнуса не создает дополнительной подъемной силы, ибо окружная скорость вращения частицы мало отличается от скорости потока. Кроме того, плоскость вращения перпендикулярна к плоскости полета частицы (А. Н. Иванов, 1964).

Если подъемная и лобовая силы уравновешены силами тяжести, атмосферного давления и сцепления, то, представив  $v$  как критическую скорость ( $v_{kr}$ ), последняя равна:

$$v_{kr} = \sqrt{\frac{1.05d(\gamma - \rho) + 1.57P_0 + 1.57K_0 P_{cr}}{K_p}}, \quad (5)$$

где  $K_0$  и  $K$  — коэффициенты, определяемые экспериментально.

Из уравнения (5) видно, что критическая скорость потока прямо пропорциональна корню квадратному из диаметра почвенной частицы.

Данное уравнение справедливо для изолированной частицы, находящейся на гладкой поверхности. К таким частицам относятся те частицы, которые не испытывают динамического затенения от частиц, находящихся с наветренной стороны.

Исследования обтекания куба на стенке, проведенные В. Н. Гончаровым (1938), показали, что эффект динамического затенения практически исчезает для частиц кубической формы при относительном расстоянии  $\frac{l}{d}$ , равном 10—12, где  $l$  — расстояние между центрами кубов со стороной  $d$ . Для шаров динамическое затенение исчезает при  $\frac{l}{d} = 8 - 17$ .

Когда частица испытывает динамическое затенение, то лобовая сила действует неполно. В связи с этим А. И. Лосневский (1934) вывел коэффициент действия лобовой силы, при котором последняя действует на часть мидделева сечения частицы, выступающую над другими частицами. Этот коэффициент может быть представлен в виде  $\frac{S_1}{S_2}$ , где  $S_1$  — полное мидделево сечение частицы.

$S_2$  — мидделево сечение частицы, выступающей над другими. Поэтому для передвижения эрозионной частицы, находящейся между другими частицами, слагающими поверхность почвы, требуется более высокая сила воздушного потока, чем для изолированной частицы.

А. И. Лосневский (1934) определил, что подъемная сила зависит от градиента скорости в придонном слое. При отсутствии гра-

дента скорости подъемная сила равна нулю. Так как градиент скорости уменьшается по мере удаления от дна, то и подъемная сила тоже уменьшается.

Эти же исследования, но для воздушного потока, были повторены позже Чепилом (W. S. Chepil, 1961). Им было экспериментально показано, что по мере увеличения высоты шарика над средней поверхностью подъемная сила уменьшается, а сила волочения возрастает.

В. Н. Гончаров (1938) связывал отрыв частиц от дна потока главным образом с донными вихрями, а также с другими проникающими массами, всасывающими часть воздуха из окружающего частицу пространства, которой сообщается поперечная скорость, направленная вверху.

В придонном слое потока толщиной 0,6 мм В. Б. Гуссак (1960) наблюдал вихри с осями разного наклона, обычно возникающие позади крупных агрегатов и поднимающие со дна мелкие частицы.

Согласно Л. Прандтлю (1949), при больших скоростях ветра вертикальная составляющая турбулентной пульсации превышает скорость свободного падения песчинки, поэтому песчинка поднимается вверх.

Говоря о критической скорости, отметим различные взгляды на ее сущность. Багнольд (R. A. Bagnold, 1954) под критической скоростью понимал скорость свободного падения частицы в воздухе, которая зависит от формы и диаметра частицы. Критическую скорость по Багнольду рассчитывают по формуле (6). Для пересчета на любую высоту она имеет такой вид:

$$v_c = 5.75A \sqrt{\frac{\gamma - \rho}{\rho} gd \log \frac{Z}{Z_0}}. \quad (6)$$

(В формуле Багнольда вместо  $Z_0$  стоит  $K$  — параметр шероховатости. — М. Д.)

Экспериментальными исследованиями Чепил установил, что размер изолированной почвенной частицы, передвигаемой ветром, пропорционален квадрату критической скорости ветра (W. S. Chepil, 1941, 1945). Для частиц 0,05—0,15 мм критическая скорость равна 3,5—4 м/с на высоте 15 см в аэродинамической трубе.

Чепил (W. S. Chepil, 1941) нашел, что для выдувания почвенных частиц менее 0,05 мм нужна большая скорость ветра. Помимо сил сцепления между почвенными частицами таких размеров, препятствующих выдуванию почвы, основной причиной устойчивости к выдуванию является то, что благодаря небольшим размерам они целиком находятся в вязком приповерхностном слое воздуха (ламинарном подслое), где нет турбулентности. Однако в силу того, что почва представляет собой гетерогенную систему, не все частицы менее 0,05 мм находятся в ламинарном подслое. Поэтому они могут вовлекаться в поток даже при небольших скоростях ветра. Помимо этого, вовлечению их в поток способствуют удары крупных частиц.

Изучая движение почвенных напосов, Уайт (White, 1940, цит. по Сундборг, 1956) показал, что аэродинамическое поднятие, или вертикальная сила, очень незначительно и что результатирующая сила потока может поэтому рассматриваться как действующая параллельно дну.

Упрощенная формула скорости начала массового переноса частиц на высоту 5 см, по А. К. Дюнну (1963), равна:

$$v_u = 4,72 \sqrt{d}. \quad (7)$$

В. В. Зонков (1963) для частицы определенного размера различал четыре критические скорости воздушного потока: при движении ветром первой критической скорости начинается движение частиц почвы; вторая соответствует началу отрыва почвенной частицы и ее полету в воздухе; третья определяет момент приземления частицы после ее скачка и начало движения на тормозном участке; при четвертой критической скорости ветра движение частицы почвы заканчивается.

Эти представления о скоростях ветра имеют чисто теоретическое значение. Наибольший интерес представляют первая и вторая критические скорости. Лишь последняя используется автором в расчетах противоэррозионных приемов.

Формулы В. В. Зонкова несколько сложны. Коэффициент  $K_3$ , как признал автор, не разработан. Физический смысл его, видимо, связан со структурным и механическим составом почвы. Некоторой условностью характеризуется и угол  $\alpha$ , величина его зависит от скорости ветра и диаметра частицы.

Приведенные литературные данные не погрешивают всего многообразия эмпирических и полуматемпических формул критической скорости. Однако почти всем этим формулам соответствует общность основных законов, определяющих начало движения неоднородных частиц почвы.

В литературе имеются данные наблюдений над критической скоростью ветра для различных почв. Впервые вопросы движения песчаных частиц осветил Н. А. Соколов (1884). Он показал кинетику песчаных частиц в зависимости от их формы, влияния друг на друга и скорости ветра. С точки зрения изучения процессов ветровой эрозии почв эти исследования наиболее интересны потому, что автор определил скорости ветра, соответствующие величинам передвигаемых песчаных частиц. Эти скорости, вероятно, нужно считать критическими для песчинок с данными размерами. Они составляют 4,5—13,0 м/с на высоте 10 см для частиц 0,25—1,5 мм.

Согласно этим исследованиям, почвы, содержащие большее количество частиц менее 0,25 мм, должны выделяться в большей степени и при относительно меньших скоростях ветра.

По данным Л. Н. Грибанова (1954), образование ряби на поверхности темно-каштановой супесчаной почвы наблюдалось при

скорости ветра 2,5 м/с на высоте 15 см, передвижение же песчинок с поднятием их до высоты 0,5 м начинается при скоростях ветра 3,5—3,7 м/с.

Исследования А. Г. Гаеля и Л. Ф. Смирновой (1960) показали, что тонкий песок (0,05—0,10 мм) начинает перемещаться при скорости ветра 3—3,5 м/с на высоте 15 см.

В Павлодарской области пыльные бури на каштановых песчаных почвах формируются при скорости ветра 7—10 м/с на высоте 1 м, или 15—20 м/с по флюгеру (Л. Ф. Смирнова, 1960).

Однако визуальные методы установления критических скоростей неопределили в поле малонадежны по той причине, что наблюдатель нарушает течение воздушного потока, создавая области повышенных скоростей, завихрения, отражающиеся на движении почвенных частиц. Кроме того, как показали наши исследования, трудно визуально заметить передвижение частичек почвы при скорости потока, близкой к критической.

Исследования, проведенные в аэродинамической трубе, позволили определить критические скорости воздушного потока для почвенных частиц, имеющих средний диаметр от 0,12 до 4 мм (найменшая фракция почвы получена просеиванием через сито 0,25 мм наибольшая — через сито 3—5 мм). В этом диапазоне фракции зависимость между критической скоростью потока и диаметром частиц выражается прямой линией (рис. 1).

Сравнение экспериментально полученных величин критических скоростей с данными Чеппила (W. S. Chepil, 1945) показало их хорошую сходимость, если величины скоростей относить к наименьшему размеру фракции в каждой группе.

Критические скорости начала движения частиц пахотных почв подчиняются иным законам. Обрабатываемый слой почвы состоит из механических частиц и агрегатов разных размеров. Крупные комки, не передвигаемые ветром, создают на поверхности почвы определенную шероховатость, тормозящую воздушный поток и меняющую его структуру.

Эрозионные фракции обычно находятся между <sup>3</sup> более крупными комками либо частицы выступают над ними, а иногда целиком погружаются между комками. Поэтому

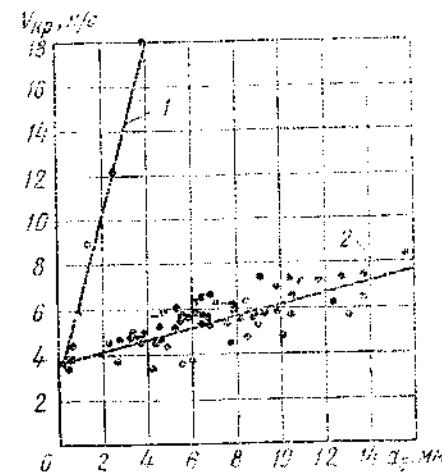


Рис. 1. Зависимость между критической скоростью воздушного потока и диаметром частиц. Гомогенные (1) и естественные (2) почвы.

принципа аэрозоля, вызывающего передвижение эрозионных частиц, отлична от той, которая объясняет движение изолированной частицы. Но эрозионными фракциями почвы ионизируют частицы и агрегаты, перемещимые ветром.

Изубниковых данных, посвященных изучению критической скорости воздушного потока для естественных пахотных почв, немного. В основном это результаты полевых наблюдений, о которых мы писали выше.

А. Н. Лосновский (1934) предполагал, что если частица наносится в углубления среди других частиц, то нужна большая скорость потока для движения этой частицы, поднимается же она благодаря вертикальной силе. Автор не привел данных, характеризующих природу этой силы.

Сундберг и Чепил (A. Sundborg, 1956; W. S. Chepil, 1958) в формулах критической скорости учитывали неоднородность смеси почвенных частиц и агрегатов, однако они также не раскрыли природу сил, действующих на частицу, находящуюся между крупными неэрозионными фракциями. Сундберг предполагал лишь наличие турбулентных вихрей, глубоко проникающих в промежутки между крупными частицами. Однако, по его мнению, на поверхности, сложенной из частиц диаметром 2–8 мм, турбулентные вихри не распространяются далеко вглубь между ними.

Представим, что на поверхности естественной пахотной почвы эрозионная частица лежит в понижении между крупными неэрозионными частицами или агрегатами. При скорости воздушного потока над поверхностью почвы, равной нулю, частица находится в состоянии покоя. На нее действует сумма сил тяжести ( $P_t$ ) и атмосферного давления ( $P_a$ ). Если скорость воздушного потока больше пуля, то на поверхности почвы возникает сила, направленная вверх и связанная с падением статического давления.

Связь между статическим давлением и скоростью потока над гладкой поверхностью, согласно нашим экспериментальным данным, выражается зависимостью:

$$P_{st} = av^2, \quad (8)$$

где  $P_{st}$  — статическое давление, кг/м<sup>2</sup>;  $a = 0,068$ .

Ю. И. Васильев (М. И. Долгилевич, Ю. И. Васильев, 1973) установил связь между падением статического давления, скорости потока и эквивалентной высотой выступов шероховатости, раскрыл сущность коэффициента  $a$  в формуле (8).

Давление воздуха на подстилающей поверхности падает, поэтому архимедова сила ничтожно мала и в расчетах ее можно пренебречь. В связи с падением статического давления над поверхностью почвы при обтекании ее воздушным потоком на частицу действует подъемная сила, которая пропорциональна величине статического давления и действует на миделево сечение частицы:

$$P_a = \frac{\pi d^2}{4} P_{st} \text{ или } \frac{\pi d^2}{4} av^2. \quad (9)$$

Когда подъемная сила уравновешена силой тяжести, то

$$\frac{\pi d^2 av^2}{4} = \gamma g \frac{\pi d^3}{6}. \quad (10)$$

В этом случае  $v$  может быть представлена как  $v_{kp}$ :

$$v_{kp} = i \sqrt{\frac{0.67 \gamma g d}{a}}. \quad (11)$$

В целях экспериментального подтверждения теории нам был поставлен следующий модельный опыт. Использовалась модель поверхности почвы, сложенной металлическими шариками диаметром 7,55 мм, для исследования функции  $P_{st} = f(v)$ . В промежутки между шариками помещали частицы почвы диаметром <0,25; 0,25–0,5 и 0,5–1 мм. В этом положении на эрозионные частицы не может действовать лобовая сила. Параметр шероховатости намного превышает диаметр частиц, поэтому они лежат в слое потока, горизонтальная скорость которого равна пулю (в нашем опыте толщина этого слоя 7,27 мм). В аэродинамической трубе определяли критические скорости потока для каждой фракции песка. Экспериментальные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Критическая скорость на высоте 12 см для свободнолежащих частиц почвы и находящихся между выступами шероховатости, м/с

Размер частиц почвы, мм	Свободнолежащие частицы почвы	Частицы почвы между шариками диаметром 7,55 мм
<0,25	4,08±0,04	7,82±0,05
0,25–0,50	4,78±0,03	9,40±0,09
0,50–1,0	5,85±0,02	11,70

Как видно из приведенных данных, для подъема эрозионных частиц, находящихся в углублениях между крупными комками, нужна гораздо большая (примерно в 1,92–2 раза) критическая скорость, чем для подъема частиц, лежащих на гладкой поверхности.

Ю. И. Васильев (М. И. Долгилевич, Ю. И. Васильев, 1973) разработал формулу критической скорости, введя в нее параметр шероховатости поверхности почвы. Критические скорости потока для частиц почвы, лежащих между выступами шероховатости, рассчитанные по этой формуле, составили 5,6–10,6 м/с; скорости, определенные экспериментально, — 5,9–10,0 м/с.

Теоретические расчеты и экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в основе механизма подъема эрозионных частиц, находящихся между крупными комками почвы, — силы, связанные с падением давления на поверхности почвы, направленные вертикально вверх и вызывающие подъем эрозионных частиц.

Возможность отрыва частицы почвы от подстилающей поверхности в результате перенада давлений показана в работах А. К. Дюнита (1963) и А. П. Иванова (1972).

Лобовая сила оказывает давление на частицу и придает ей поступательное движение в направлении потока лишь после того, как частица поднялась на высоту, превышающую параметр шероховатости. Очевидно, что с увеличением параметра шероховатости возрастает и скорость потока и соответственно давление, необходимое для подъема частицы на большую высоту.

Данная модель позволяет рассмотреть лишь основные закономерности подъема эрозионной почвенной частицы, находящейся между крупными почвенными комками. В естественных условиях этот процесс гораздо сложнее, так как диаметр эрозионных частиц неодинаков.

Экспериментальные данные показывают, что при некоторых значениях критической скорости приходят в движение частицы диаметром от 1 (реже 2 мм) до 0,25 мм и меньше (табл. 2).

Таблица 2. Структурный состав золового материала при выдувании почвы ветром со скоростью, равной критической (опыт в аэродинамической установке), %

Почва	Размер фракций, мм			
	2-1	1-0,5	0,5-0,15	<0,25
Чернозем типичный мощный среднеглинистый	0,0	10,5	21,1	68,4
Чернозем южный карбонатный легкоглинистый	2,8	8,3	27,8	61,1
Темно-карбонатная солонцеватая легкоглинистая	3,8	15,4	36,5	44,3

В составе золового материала, передвигающегося при скорости потока, достигающей критической, преобладают частицы <0,25 мм. Такой разнообразный диаметр частиц в составе золового материала можно объяснить тем, что они занимают различное положение в верхнем слое почвы: некоторые из них лежат на поверхности крупных комков, другие находятся на разной глубине между комками. В связи с этим эрозионные частицы соответственно своей крупности и положению в почве приходят в движение под действием сил, разных по природе и величине.

Частицы, которые лежат в углублениях между крупными комками, вовлекаются в двухфазный поток силой, связанной с падением давления, затем лобовой силой. Частицы же, находящиеся на поверхности крупных комков, вовлекаются в поток и лобовой, и подъемной силами. Это обстоятельство и вызывает трудности в определении диаметра эрозионной частицы в приведенных формулах. Учитывая теоретические соображения и экспериментальные дан-

ные, за диаметр эрозионных частиц, слагающих золовый материал, примем эквивалентный диаметр этих частиц  $d_{\text{ср}}$ , определяемый по формуле:

$$d_{\text{ср}} = \frac{d_1 P_1 + d_2 P_2 + \dots + d_n P_n}{\Sigma P} \text{ мм}, \quad (12)$$

где  $d_1, d_2, \dots, d_n$  — средний диаметр фракций золового материала;  $P_1, P_2, \dots, P_n$  — процентное содержание соответствующих фракций в золовом материале.

Сравнивая  $v_{\text{кр}}$  для гомогенной почвы, состоящей из частиц средним диаметром 0,30 мм ( $v_{\text{кр}} = 4,2 \text{ м/с}$ ), и для естественных почв (рис. 1) и учитывая, что при скорости потока, достигающей  $v_{\text{кр}}$ , приходят в движение частицы, имеющие эквивалентный диаметр 0,18—0,40 мм, получим значения  $v_{\text{кр}} > 4,2 \text{ м/с}$  для частиц диаметром 0,30 мм в естественных почвах (кривая 2, рис. 1). Причем с увеличением крупности комков, слагающих поверхность почвы, критическая скорость возрастает.

Таким образом, начальные стадии движения эрозионных частиц, находящихся в понижениях между крупными комками, вызываются подъемной силой, связанной с падением статического давления. При неплотной упаковке крупных комков эрозионные частицы могут вовлекаться в поток и проникающими вихрями.

Интересно отметить, что экспериментальные данные Чеппил (W. S. Chepil, 1945) свидетельствуют о более низкой критической скорости для золового материала, состоящего из эрозионных фракций, чем для почвы в целом. Так, для золового материала критическая скорость составила 6,0—6,9 м/с, а для обрабатываемых почв — 8,4—10,8 м/с. Объяснить эти данные можно на основе рассмотренных теоретических и экспериментальных исследований.

В таблице 3 представлены данные о критических скоростях ветра для почв степной зоны Украины.

Таблица 3. Критические скорости ветра для почв степной зоны Украины, м/с

Почва	В аэродинамической трубе, м/с	На высоте 10 м в свободной атмосфере
Чернозем мощный среднеглинистый	7,9±0,15	14,9
Чернозем обыкновенный карбонатный легкоглинистый	5,1±0,57	9,6
Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	5,7±0,15	10,8
Чернозем обыкновенный смытый тяжелосуглинистый	6,2±0,29	11,7
Чернозем карбонатный легкоглинистый	5,5±0,84	10,4
Перегнойно-карбонатная среднеглинистая	4,3±0,90	8,1
Чернозем карбонатный сплошносмытый тяжелосуглинистый	4,6±1,00	8,7

*Продолжение*

Почва	В аэродинамической трубе, м/с	На высоте 10 м в свободной атмосфере
Чернозем солонцеватый супесчаный	4,7±0,12	8,9
Чернозем песчанисто-среднесуглинистый	3,8±0,10	7,2
Чернозем южный тяжелосуглинистый	5,5±0,90	10,4
Чернозем южный среднесуглинистый	5,5±0,84	10,4
Чернозем южный тяжелосуглинистый и легкоглинистый	6,2±0,20	11,7
Чернозем южный смытый среднесуглинистый	6,5*	12,2
Чернозем южный карбонатный легкоглинистый	5,1±0,20	9,6
Чернозем южный карбонатный среднесуглинистый	3,4*	6,4
Чернозем южный карбонатный смытый легкоглинистый	6,2±0,34	11,7
Темно-каштановая легкоглинистая солонцеватая	7,3±0,18	13,8
Темно-каштановая песчанисто-легкосуглинистая солонцеватая	6,9±0,51	13,0
Темно-каштановая карбонатная легкоглинистая	5,4±0,15	10,2
Темно-каштановая супесчаная	4,8*	9,3
Солонец среднестолбчатый тяжелоглинистый	5,0*	9,4
Солонец корковый тяжелоглинистый	4,6*	8,7
Эоловый мелкий песок	3,5*	6,6

\* Среднее из двух определений.

Наименьшая критическая скорость (3,4—3,5 м/с) соответствует эловому мелкому песку, образцы которого взяты в районе Цюрупинска, а также некоторым карбонатным почвам.

Наиболее высокой критической скоростью (7,9 м/с) характеризуется хорошо оструктуренный среднесуглинистый мощный чернозем.

Низкая критическая скорость ветра оказалась у солонцов среднестолбчатого и коркового. Даже такого содержания фракций <1 мм, которое у коркового солонца составляет 1,4%, достаточно для начала движения микроагрегатов, хотя недостаточно для усиления эрозии.

Соответствие критической скорости тем или иным почвам юга Украины проявляется в зависимости между эквивалентным диаметром почвенных агрегатов и величиной критической скорости (рис. 1), описываемой уравнением:

$$v_{kp} = 0,249d_e + 3,79. \quad (13)$$

Высокий коэффициент корреляции ( $r=0,746\pm0,07$ ) свидетельствует о тесной связи между этими показателями. Некоторый разброс точек около экспериментальной прямой можно объяснить тем, что все исследованные почвы обладают различным удельным весом и высокой (в отношении размеров агрегатов) гетерогенностью. Различие в удельном весе отражается на лобовом сопротивлении и подъемной силе, а комковатость почвы обуславливает формирова-

ние турбулентных вихрей, вызывающих стохастическое передвижение эрозионных агрегатов.

Наличие свободного члена в эмпирических формулах критической скорости И. Ф. Бурлай (1946) объясняло влиянием сил сцепления между частицами грунта и подстилающей поверхностью, а также влиянием глубины потока (водного). Если вторую причину оставить в стороне как имеющую отношение к водному потоку, то единственной причине следует добавить еще одну — влияние шероховатости, связанное с гетерогенностью верхнего слоя почвы, а следовательно, и необходимостью дополнительной скорости на развитие подъемной силы.

Исследование профиля скоростей воздушного потока в пограничном слое показало, что шероховатость почвенной поверхности, обусловленная различным диаметром почвенных комков, оказывает значительное влияние на среднюю скорость потока и его турбулентность. В связи с этим возникает изменение касательного напряжения трения потока.

Приведем примеры некоторых динамических характеристик. Для чернозема обыкновенного, поверхность которого с большими выступами шероховатости, равными  $d_e=9,3$  мм, динамическая скорость ( $v_d$ ) составила 61 см/с, касательное напряжение трения ( $\tau$ ) — 4,56 г/см·с<sup>2</sup>, коэффициент турбулентности ( $K$ ) — 24,4 см/с. Для дерново-песчаной почвы, верхние горизонты которой имеют эквивалентный диаметр агрегатов и частиц 5,4 мм, эти показатели соответственно равны:  $v_d$  — 36 см/с,  $\tau$  — 1,59 г/см·с<sup>2</sup>,  $K$  — 14,4 см/с. Укажем, что для гладкой поверхности (стеки аэродинамической установки, сделанные из фанеры) величина  $K$  составила всего 6 см/с.

Задержание воздушного потока в пограничном слое вызывается наличием выступов шероховатости, к которым отходят и крупные почвенные комки, имеющие диаметр >1 мм. Отношение количества комков диаметром >1 мм к количеству микроагрегатов диаметром 1 мм будет характеризовать комковатость поверхности почв. Чем выше это отношение, тем выше комковатость.

При анализе большого числа образцов получены данные, показывающие тесную связь между  $d_e$  (также характеризующую комковатость почвы) и

$$\frac{B}{d_e} \quad (14)$$
 (рис. 2). Показатели корреляционных отношений (0,92—0,93) высокие.

Уравнение кривой имеет вид:

$$d_e = 5,8 \sqrt{\frac{B}{2}}, \quad (14)$$

где  $B$  — соотношение агрегатов  $\frac{>1 \text{ мм}}{<1 \text{ мм}}$ .

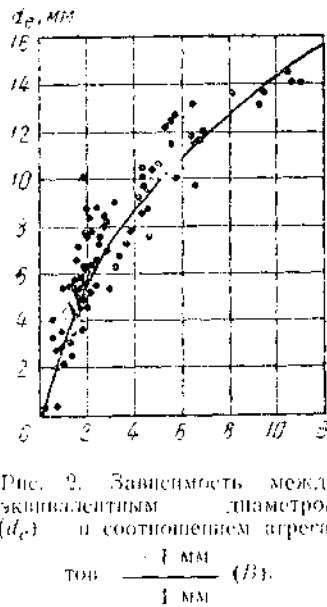


Рис. 2. Зависимость между эквивалентным диаметром ( $d_e$ ) и соотношением агрегатов

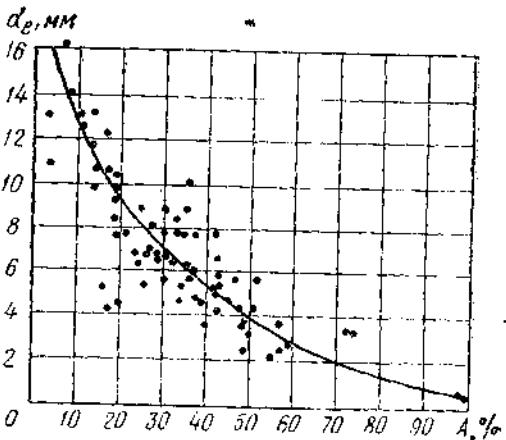


Рис. 3. Зависимость между эквивалентным диаметром ( $d_e$ ) и содержанием в почве агрегатов <1 мм (A).

Таким образом, оба показателя можно применять при оценке комковатости почвы. Для аэродинамических исследований удобен показатель  $d_e$ .

Интересно отметить то обстоятельство, что между  $d_e$  и содержанием фракции <1 мм (A) также существует определенная зависимость (рис. 3), характеризующаяся высокими корреляционными отношениями (0,75–0,92).

Эта зависимость свидетельствует о наличии закономерного соотношения структурных агрегатов в почве, которое складывается в результате обработки почвы и почвообразовательного процесса. Из рисунка 3 видно, что увеличение содержания в почве фракций <1 мм сопровождается уменьшением эквивалентного диаметра почвенных агрегатов. В связи с этим для начала ветровой эрозии требуется меньшая скорость ветра. Кроме того, с увеличением параметра A почва характеризуется более однородным структурным или гранулометрическим (песчаные почвы) составом.

Что касается структурных фракций диаметром <0,5 и <0,25 мм, то они не имеют такой тесной связи с  $d_e$ . Поэтому установить зависимость между  $v_{kp}$  и содержанием в почве эрозионных фракций диаметром <0,5 и <0,25 мм не удалось.

**Эродируемость почв ветром.** В результате давления воздуха на почвенные частицы агрегаты они начинают передвигаться, наступает вторая фаза ветровой эрозии — передвижение почвенных частиц ветром.

В зависимости от крупности частиц и скорости ветра виды передвижения почвенных частиц различны. Классификация передви-

жения частиц почвы (леска) дана еще Н. А. Соколовым (1884), он различал три вида движения песчинок под действием ветра: передвижение толчками, прыжками и перенос по воздуху.

Багнольд (R. A. Bagnold, 1936, 1937) различал три типа движения песка: перенос очень тонких частиц в суспензии; передвижение серней прыжков и скачков; перемещение частиц по поверхности почвы при помощи толчков друг о друга.

Чепил (W. Chepil, 1946) охарактеризовал пять типов передвижения частиц почвы, соответствующих определенным формам эрозии: 1) эфлакция — передвижение частиц почвы размером 0,1–0,5 мм в диаметре скачкообразно, волочением и редко по воздуху; 2) экструзия — передвижение более крупных частиц (комков) путем перекатывания и в результате бомбардировки мелкими частицами; 3) диструзия — сбрасывание, соскальзывание, сдвиг частей почвы с возвышенных частей микрорельефа (крупных глыб, гребней и валиков на свежевспаханной лашне); 4) эфляция — подъем частиц в воздух, скорость падения которых меньше, чем скорость частиц в воздухе; 5) абразия — разрушение почвенных частиц ударами крупных частиц, передвигающихся скачками.

В обобщенных данных Free (W. S. Chepil, 1945), отмечалось, что диаметр частиц, передвигаемых прыжками, превышает 0,1 мм: частицы менее 0,1 мм передвигаются в суспензии.

Изучение этого вопроса позволило установить, что частицы почвы диаметром 1–0,5 мм по поверхности почвы передвигаются волочением и скольжением; диаметром 0,5–0,1 мм — скачками, а диаметром 0,1 мм — по воздуху в суспензии. Чепил (W. S. Chepil, 1945) экспериментально показал, что из общей массы передвигаемого ветром почвенного материала 7,4–24,9% передвигаются волочением, 54,5–71,9% — прыжками и 32–38,1% — в суспензии. Соотношение передвигаемого почвенного материала зависит, естественно, от скорости ветра и комковатости почвы.

Под влиянием подъемной и лобовой сил частица почвы наиболее часто взлетает под углом 32,5°, а падает на землю под углом,

тангенс которого равен  $\frac{v_{kp}}{v_0}$ . Практический угол наклона наход-

ится в пределах 10–16° (R. A. Bagnold, 1954). Подъем частицы почвы на большую высоту вызывается, помимо лобовой силы, под действием силы удара импульса, если она больше силы тяжести (А. П. Иванов, 1963).

В. В. Звонков (1963) предлагал высоту скачка рассчитывать по формуле:

$$h_{sc, e} = \frac{(v_m - v_{kp})^2}{2g}. \quad (15)$$

Однако сравнение расчетных данных с результатами исследований в естественной обстановке свидетельствует о некоторых рас-

хождениях в высотах скачка частиц почвы. Например, при ветре 15 м/с высота скачка частицы почвы диаметром 0,5 мм по формуле составляет 2,9 м. Исследования же Л. Ф. Смирновой (1960), проведенные при скорости ветра 15 м/с на высоте флюгера, показали, что высота скачка частиц диаметром 0,5 мм не превышает 0,15 м. В работе Югли и Нозинского (H. Uggla, A. Nosynski, 1960) частицы указанного размера подскакивают до высоты 1,5—2,0 м.

При сильном ветре (18 м/с) на высоте флюгера А. В. Гвоздиков (1966) установил, что высота переноса песка не превышала 1,7 м. По данным Е. А. Чакветадзе (1967), частицы диаметром 0,25 мм подскакивают до 1 м при скорости 11,3 м/с (на высоте 2 м), что не согласуется с формулой. Видимо, высота скачка частицы зависит и от удара скачущей частицы о неподвижную частицу почвы или комок.

Согласно расчетам и опытным данным, высота скачка частиц почвы при сильных ветрах не превышает 2 м. В результате подъема частиц 0,1 мм общий слой атмосферы, насыщенной частицами почвы, шире.

Аналогичные данные получены при изучении пылевой (дефляционной) метели. Несмотря на такие критические скорости для снежинок, высота максимального переноса не превышала 1 м, а перенос на высоту свыше 2 м был незначительным (А. А. Комаров, 1959; А. К. Дюнин, 1963).

Вообще с увеличением расстояния от подстилающей поверхности концентрация твердой фазы в двухфазном потоке стремится кнулю (Л. Прандтль, 1949).

Не ограничиваясь на работах, содержащих данные о вертикальном переносе извещенных напосов в водных потоках и подтверждающих закон уменьшения концентрации твердой фазы с высотой потока, коротко рассмотрим имеющиеся данные о вертикальном переносе почвенных частиц ветром.

Согласно Чепилу и Майлину (W. S. Chepil and R. Milne, 1939), содержание песчаных ветром почвенных частиц в слое 0—5 см составляет 57%, в слое 5—10 см — 18,5%, в слое 10—15 см — 8% и в слое 15—17 см — 16%.

Исследования А. Е. Дьяченко и Н. Т. Макарычева (1959) показали, что абсолютные величины переносимого ветром золового материала в приземном слое также довольно высоки. В слоях 0—6, 22—28, 47—53 и 97—103 см перенесено соответственно 1100—2000, 36—70, 1—2,4 и 0,5 кг материала, или соответственно 96,5; 3,4; 0,1 и 0,0%.

Аналогичные результаты получены Т. Ф. Якубовым (1946), Л. Ф. Смирновой (1960), А. И. Знаменским (1950), Г. Уильямсом (1963) и другими исследователями.

Можно произвести расчеты общего переноса золового материала в приземном слое воздуха, пользуясь данными А. Е. Дьяченко и Н. Т. Макарычева (1959), Л. Ф. Смирновой (1960), А. Г. Гаеля и Л. Ф. Смирновой (1960), Е. А. Чакветадзе (1967).

Общий перенос был равен:

$$Q = \int_{Z_0}^Z q dz, \quad (16)$$

Функция  $q (Z)$  зависит от почвы и скорости ветра; например, при эрозии темно-каштановой почвы ветром со скоростью 8—10 м/с:

$$q = \frac{7500}{Z^{1.38}} \text{ кг/ч.}$$

В приземном слое воздуха (0—10 см) передвигается огромное количество золового материала. Если принять ширину поля, с которой выносится этот материал, равной 1000 м, то за час будет вынут слой почвы до 4,9 мм (табл. 4).

Таблица 4. Перенос золового материала в приземном слое воздуха, т/ч на фронте шириной 100 м

Эродируемая почва	Скорость ветра на высоте 1 м, м/с	Несущий слой воздуха, см			
		0—6	6—10	10—50	0—200
Каштановая песчаная	8—10	41,4	64,3	64,8	65,3
Каштановая опесчаненная легкосуглинистая	8,3	7,8	8,1	8,4	8,5
Темно-каштановая супесчаная	10,2	374,0	484,0	486,0	487,0

Примечание. Отметка нижней границы слоя воздуха сделана от параметра шероховатости.

Примененный нами метод расчета по данным градиентных измерений переноса золового материала открывает перспективы для определения глубины выдувания почвы, если при этом известна ширина поля или длина пылесборной площади.

Среди многочисленных почвенных факторов, которые влияют не только на величину критической скорости, но и на эродируемость почвы, важными являются степень комковатости почвы, механическая прочность комков, наличие почвенной корки, объемный вес, влажность и некоторые другие. Размер почвенных комков, способных передвигаться ветром, обусловливает интенсивность ветровой эрозии при достижении ветром определенной скорости.

Багнольд (R. A. Bagnold, 1954) на основе исследований движения песка диаметром зерен 0,1—1,0 мм предложил формулу переноса песка ветром, которая послужила основой дальнейших исследований и уточнения отдельных параметров для разных почв Северной Америки (W. S. Chepil, 1941, 1950, 1956).

Большое количество эмпирических и полуэмпирических формул было получено разными авторами при изучении расхода дополнительных напосов в реках. Объясняется существование большого количества формул транспортирующей способности водного потока,

А. Г. Хачатрян (1959) подчеркивал значительные трудности в разработке общего математического выражения для определения этого показателя; в связи с этим необходимо искать решения, охватывающие более конкретные режимы двухфазных потоков.

Не имея возможности останавливаться на разборе формул расхода донных наносов, описанных в литературе, подчеркнем, что во многих из них (В. Н. Гончаров, 1938; И. В. Егназаров, 1951; И. И. Леви, 1957, и др.) расход наносов прямо пропорционален кубу скорости потока и диаметру передвигаемых частиц наноса.

На связь величины эродируемости почв и скорости воздушного потока влияют соотношение эрозионных и неэрозионных фракций, структурный состав почв.

Наши исследования позволили обнаружить очень быстрое нарастание эродируемости с увеличением скорости потока для почв с широким соотношением эрозионных и неэрозионных фракций и почти незначительное нарастание эродируемости для почв с узким соотношением этих фракций (рис. 4). В данном опыте абразивный эффект не наблюдался.

Рассматривая вопрос об эрозионных и неэрозионных фракциях, следует подчеркнуть условность этих понятий, на что обращали внимание и другие исследователи (W. S. Chepil, 1958). Эрозионность фракций в основном зависит от скорости ветра и структурного состава почвы. Поэтому в эоловом материале, взятом из разных мест, присутствуют фракции неодинакового размера, но менее 5 мм (табл. 5).

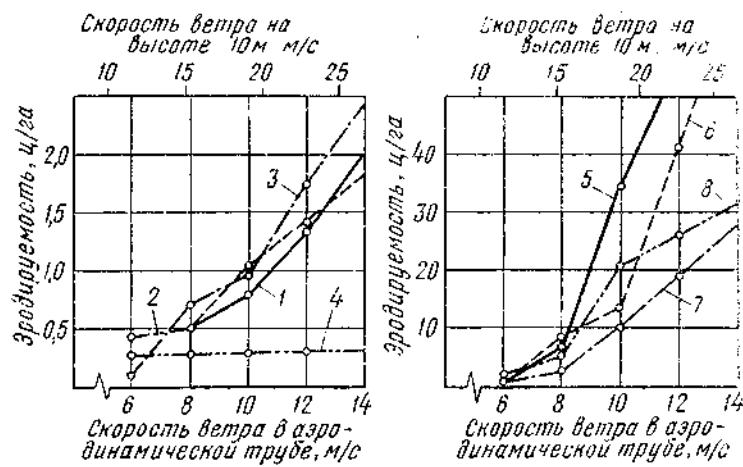


Рис. 4. Эродируемость почв при различных скоростях ветра:

1 — чернозем монолитный среднеклинистый; 2 — чернозем южный тяжелогуматистый и легкоглинистый; 3 — темно-каштановая легкоглинистая супесчаная; 4 — суглинок коричневый тяжелоглинистый; 5 — темно-каштановая супесчаная; 6 — чернозем обыкновенный карбонатный легкоглинистый; 7 — чернозем южный карбонатный легкоглинистый; 8 — перегнойно-карбонатная среднеклинистая.

Таблица 5. Структурный состав свежих эоловых отложений, сформированных во время пыльных бурь 1960 г., %

Место взятия образца и почва	Размер фракций, мм					
	5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	<0,25
Ворошиловградская область, Свердловский район, отложения в лесной полосе, чернозем обыкновенный	0,2	0,3	1,9	39,6	38,6	19,4
Запорожская область, Бердянский район, отложения в западине, чернозем южный	Нет	Нет	1,6	39,3	42,7	16,4
Херсонская область, Аскания-Нова, отложения в лесной полосе, темно-каштановая почва	Нет	Нет	0,4	23,6	48,1	27,3
Крымская область, Сакский район, отложения в лесной полосе, чернозем южный карбонатный	Нет	Нет	Нет	9,4	49,4	41,2
Крымская область, Сакский район, чернозем, уловленный выдувом на высоте 10 см, чернозем карбонатный	Нет	Нет	Нет	17,6	59,9	22,5

В таблице 6 представлены данные, свидетельствующие о структуре почв, подвергнутых продуванию в аэродинамической установке, и их эоловом материале. С увеличением содержания в верхнем горизонте почв фракций  $>1$  мм и эквивалентного диаметра агрегатов резко уменьшается эквивалентный диаметр частиц эолового материала, 81—98% состава которого представляют частицы диаметром  $<1$  мм. Характерно, что эквивалентный диаметр частиц эолового материала имеет тенденцию к уменьшению по мере увеличения комковатости продуваемой почвы.

Таблица 6. Изменение структурного состава эолового материала в зависимости от комковатости продуваемой почвы, %

Комковатость почвы до продувания	Размер агрегатов эолового материала, мм								$d_{el}$
	$d_e$ , мм 1—1 мм + 1 мм	7—5	5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	<0,25	
2,51	0,8	—	0,2	1,4	16,8	26,5	33,5	21,6	81,6
5,00	1,4	1,0	2,0	1,5	5,5	7,8	24,9	57,3	90,0
6,66	2,5	—	—	2,0	9,4	19,3	37,9	31,4	88,6
7,83	2,0	—	—	—	2,2	8,2	25,9	63,7	97,8
9,00	3,1	—	0,4	1,3	5,3	13,0	31,4	48,6	93,0
9,23	4,3	—	—	0,9	4,3	12,2	42,4	40,2	94,8
10,63	5,7	—	—	—	3,2	15,3	38,6	42,9	96,8
13,08	8,6	—	—	0,6	4,9	11,7	30,4	52,4	94,5
13,96	10,9	—	—	—	3,3	16,7	38,3	41,7	96,7
16,68	70,0	—	—	—	3,3	18,1	24,6	54,0	96,7

Примечание. Скорость ветра на высоте 5 см в рабочей части аэродинамической установки 32 м/с.

$$E = 0,2737 \left( A \sqrt{\frac{d_{e1}}{d_e}} \right)^{1,5973}, \text{ ц/га за 30 мин.} \quad (18)$$

Наибольшей эродируемостью характеризуются золовые мелкие пески в районе Нижнего Днепра. Они целиком состоят из фракции <1 мм, причем фракций <0,5 и <0,25 мм у них соответственно 99,4 и 59,8%, а эквивалентный диаметр частиц равен 0,22 мм. Величина эродируемости песков составила 1834,8 ц/га за 30 мин. (табл. 7).

Таблица 7. Структурный состав почв (%) и их эродируемость (ц/га за 30 мин. в диапазоне скоростей от критической до 22 м/с)

Почва	размер фракции агрегатов, мм			Соотношение фракций <1 мм	Эквивалентный диаметр, мм	Эродируемость почв, ц/га
	<1	0,5	0,25			
Чернозем типичный мощный среднеглинистый	25,8	11,7	5,8	2,9	6,90	1,4 ± 0,23
Чернозем обыкновенный карбонатный легкоглинистый	48,2	31,1	10,7	1,2	3,32	41,5 ± 19,8
Чернозем обыкновенный тяжело-суглинистый	37,7	25,3	11,9	1,7	5,67	10,9 ± 4,5
Чернозем обыкновенный смывной тяжело-суглинистый	26,0	17,4	8,1	2,9	7,45	3,2 ± 0,97
Чернозем карбонатный легкоглинистый	41,5	27,8	13,3	1,8	5,30	21,7*
Перигнойно-карбонатная среднесуглинистая	41,0	28,0	9,9	1,6	7,16	26,0*
Чернозем супесчаный солонцеватый	44,6	39,5	25,5	1,3	5,69	1,7 ± 0,56
Чернозем песчанисто-среднесуглинистый	34,0	30,6	22,1	2,0	9,30	11,4*
Чернозем южный тяжело-суглинистый и среднесуглинистый	36,3	23,0	8,8	1,8	5,37	14,9 ± 2,35
Чернозем южный тяжело-суглинистый и легкоглинистый	28,3	16,9	5,2	2,6	6,92	1,4 ± 0,3
Чернозем южный смывной среднесуглинистый	35,9	27,1	18,9	1,8	7,65	1,65 ± 0,15
Чернозем южный карбонатный легкоглинистый	37,7	24,9	11,1	1,6	6,07	19,4 ± 4,2
Чернозем южный карбонатный среднесуглинистый	43,2	29,1	11,5	1,3	5,76	13,7*
Темно-каштановая легкоглинистая солонцеватая	14,4	9,4	3,9	7,6	12,12	1,7 ± 0,39
Темно-каштановая песчанисто-легкоглинистая	16,5	12,1	6,2	5,0	11,25	1,6 ± 0,45
Темно-каштановая карбонатная легкоглинистая	28,4	15,1	6,4	2,9	4,6	2,9*
Темно-каштановая супесчаная	72,8	69,0	38,4	0,4	3,25	59,0*
Солонец среднестолбчатый тяжелоглинистый	50,4	30,9	14,2	1,0	4,77	1,1*
Солонец корковый тяжелоглинистый	1,4	1,0	0,77	0,0	16,68	0,2*
Золовой мелкий песок	100,0	99,4	59,8	0,0	0,22	1834,8*

\* Среднее из двух.

Темно-каштановые супесчаные почвы фракций <1 мм содержат 72,8%. Соотношение фракций >1 мм и <1 мм равно 0,4, эквивалентный диаметр агрегатов 3,25 мм. Величина эродируемости довольно высокая (59,0 ц/га).

Почвы тяжелого механического состава содержат структурных фракций <1 мм — 49,0—1,4%; >0,5 мм — 39,5—1,0%; <0,25 — 25,5—0,7%. Соотношение фракций >1 мм и <1 мм очень широкое (1,0—70,0). Эквивалентный диаметр почвенных агрегатов в исследованных почвах составляет 3,06—16,68 мм.

Разнообразный структурный состав исследованных почв определил различную эродируемость их ветром. Наибольшей эродируемостью (41,5—13,7 ц/га) характеризуются черноземы обыкновенные карбонатные, перигнойно-карбонатные почвы, черноземы карбонатные, черноземы южные карбонатные. Меньшей эродируемостью (10,9—1,4 ц/га) отличаются черноземы обыкновенные, песчанисто-среднесуглинистые, южные. Несколько меньшая эродируемость (2,9—1,7 ц/га) у темно-каштановых карбонатных почв, темно-каштановых легкосуглинистых солонцеватых, темно-каштановых песчанисто-легкосуглинистых солонцеватых.

Среди черноземов, наиболее устойчивых к ветру, чернозем мощный среднеглинистый (1,4 ц/га). Практически устойчивы к выдуванию солонцы, особенно корковые, благодаря высокой комковатости их поверхности.

При скорости ветра менее 12 м/с на высоте 5 см в аэродинамической установке эродируемость значительно меньше. Однако характер изменения величины эродируемости с изменением скорости ветра для тех или иных почв различен, что видно из рисунка 4.

Наиболее резким усилением эродируемости с возрастанием скорости ветра характеризуется золовый мелкий песок: кривая роста эродируемости имеет большой угол к оси абсцисс. По мере роста устойчивости почв к ветру уменьшается угол наклона кривой, что свидетельствует о малом приросте эродируемости на единицу увеличения скорости ветра. Например, эродируемость практически устойчивого к ветру коркового солонца мало изменяется с увеличением скорости воздушного потока.

Небольшая эродируемость почв, как правило, наблюдается при довольно широком диапазоне процентного содержания агрегатов <1 мм, что связано с весьма неоднородным структурным составом почв. Если ввести коэффициент однородности почв как отношение  $\frac{d_e}{D}$  (где  $D$  — наибольший диаметр агрегатов), то для исследованных почв оно будет в пределах 0,01—0,56, что значительно меньше 1.

Обтекание воздушным потоком поверхности почвы, сложенной весьма неоднородными по размеру почвенными агрегатами, сопровождается различной турбулентностью потока с разными диаметрами вихрей и величинами вертикально составляющих скоростей. Это приводят к стохастическому выдуванию почвы, что можно опе-

нить величиной среднеквадратического отклонения эродируемости почв (2). Эта величина резко уменьшается, если структурный состав почвы становится более однородным (табл. 8).

Таблица 8. Изменение среднеквадратического отклонения эродируемости почв, характеризующихся различной однородностью структурного состава

$\frac{d_e}{D}$		$\sigma$	$s$	Число определений
интервал	среднее		м	
0,01—0,20	0,14	21,07	1,10	33
0,21—0,30	0,25	5,93	0,88	22
0,31—0,56	0,40	1,29	0,81	17

Незерзионные крупные комки выполняют защитную роль снижая скорость ветра. Однако если почва содержит большое количество эрозионных фракций, то крупные комки не способны защитить почву от выдувания. Эти комки должны достигать значительного размера, прежде чем уменьшится передвижение почвенных частиц. В связи с этим Чепил (W. S. Chepil, 1950, 1958) ввел понятие константы критической шероховатости поверхности. Она характеризует защищенность эрозионных фракций от передвижения ветром. Когда движение частичек почвы уменьшается, расстояние между комками, обладающими защитными свойствами, деленное на их высоту, остается постоянным для любого пропорционального содержания и размера незерзионных комков в почве:

$$l_k = \frac{1}{N},$$

где  $N$  — число комков, обладающих защитными свойствами, на единице площади.

Для пашни константа равна 4—20 в зависимости от динамической скорости, распределения и среднего размера эрозионных фракций. Например, если  $l_k = 4$ , то это означает, что расстояние, на котором движение почвенных частиц прекращается, равно  $4d$  ( $d$  — диаметр комков).

Приведенные данные расходятся с разработками А. П. Бочарова (1968), согласно которым при содержании эрозионных фракций не более 26% выдувания почвы совсем нет. В теоретических разработках А. П. Бочарова исходит из произвольного допущения о положении незерзионных комков на поверхности почвы. Поэтому его выводы не подтверждаются имеющимися экспериментальными данными. Согласно работам Чепила (W. S. Chepil, 1943, 1950), Е. И. Шиятого (1965, 1968), Роговски (A. Rogowski, 1968), М. И. Долгилевича и Н. Ф. Сидорчука (1968), выдувание почвы наблюдается и при содержании в верхнем ее слое менее 26% эрозионных фракций.

**Свойства почвы, влияющие на развитие ветровой эрозии.** Как было показано, начальные стадии ветровой эрозии, развитые этого процесса связаны со структурным составом почвы. Последний — один из показателей физических свойств почвы, причем важнейший, так как определяет и критическую скорость ветра, и эродируемость почвы. Роль структурного состава и зависимость между свойствами почвы, которые определяют ее структурный состав, размер почвенного комка и его механическую прочность.

Многочисленные исследования структуры почвы, ее природы в основном отражали те свойства почвы, которые определяют изменение водонапорность структуры. Этот вопрос достаточно полно освещен в литературе. Структурный же состав, влияние на него и на размер почвенного комка тех или иных свойств почвы исследованы в меньшей степени.

Установлено, что на податливость почв ветру и их структурное состояние оказывает влияние содержание гумуса, иллистых, глинистых частиц, карбонатов, щелочных солей (W. S. Chepil, 1943, 1954; А. Е. Дьяченко и Л. Т. Земляницкий, 1946; С. С. Соболев, 1948; С. П. Матусевич, 1958; Щ. А. Гайсин и Г. И. Лысак, 1958; В. М. Боровский, 1959).

Экспериментальные исследования эродируемости почв ветром подтверждают то обстоятельство, что разные по генезису почвы Украины в разной степени подвергаются ветровой эрозии. Поскольку те или иные почвенные виды и разновидности характеризуются вполне определенными физическими, физико-химическими и химическими свойствами, эти свойства должны в той или иной степени быть связаны, преимущественно через структурный состав, с эродируемостью этих почв.

Изученные нами почвы степной зоны Украины характеризуются следующими показателями: содержание гумуса в пределах 0,88—5,92%, карбонатов кальция — 0—16,38%, поглощенных оснований — 6,8—42,4 мэкв/100 г, физической глины — 13,1—37,9%, ила — 7,0—59,9%, микроагрегатов <0,01 мм — 3,3—40,8%, структурных агрегатов <1 мм — 8,7—85,4%; степень дисперсности — 0,216—2,792%; механическая прочность агрегатов диаметром 3—5 мм — 0,22—2,76 кг/агрегат.

В таблице 9 приводятся средние показатели содержания гумуса, поглощенных оснований, карбонатов, механический состав и степень дисперсности; они свидетельствуют о генетической принадлежности почв к тому или иному ряду, а также характеризуют почвообразовательный процесс. Эти показатели будем считать независимыми переменными.

Структурный и микроагрегатный состав, механическая прочность, как известно, изменяются в различные сезоны года и зависят от обработки почв. Стараясь исключить это влияние, образцы почвы мы отбирали в один и тот же месяц. Сельскохозяйственное использование и обработка почв были также одинаковыми — куль-

Таблица 9. Химические, физико-химические и физические свойства верхнего горизонта почв степной зоны Украины (средние данные)

Почва	Содержание, %								Гумус CaCO <sub>3</sub>	Иодиновый Ca—Al <sub>2</sub> индекс 100 г поглощ.	Степень ани- онной проницаемости, %	Механи- ческая прочность, кг/атрерат	Эквивалент ной влажности агрегатов, м	
	гумус	CaCO <sub>3</sub>	обмен- ная щелоч- ность	НН	Сумма карбонатов 1-го ряда	Сумма макро- карбонатов 2-го ряда	Радикаль- ная не- щелоч- ность							
Чернозем типичный мощный среднеглинистый	5,05	0,17	80,4	56,4	25,7	22,1	Не опр.	—	Не опр.	0,33	2,76	6,89		
Чернозем обыкновенный карбонатный легкоглинистый	4,12	3,83	62,7	43,0	49,5	11,2	3,9	1,1	28,7	0,36	Не опр.	2,72		
Чернозем обыкновенный тяжело- суглинистый	4,32	0,06	53,6	31,7	50,5	12,9	15,7	—	33,9	0,38	0,95	3,71		
Чернозем обыкновенный смытый тяжелосуглинистый	4,06	2,76	59,5	41,1	42,8	11,8	5,1	1,5	27,0	0,44	1,22	2,68		
Чернозем карбонатный легкоглинистый	3,38	1,13	66,4	44,9	56,7	Не опр.	2,4	3,0	31,5	0,43	1,19	—		
Чернозем супесчаный солонцеватый	1,86	0,0	13,1	7,0	49,8	4,2	Не опр.	—	Не опр.	0,32	Не опр.	5,44		
Чернозем песчанисто-среднесу- глинистый	2,71	0,41	31,5	22,8	51,8	Не опр.	10,1	6,6	19,1	0,22	0,40	3,11		
Чернозем карбонатный сильно- смытый тяжелосуглинистый	2,22	9,1	47,3	30,3	45,7	Не опр.	Не опр.	0,3	20,0	0,51	1,05	2,08		
Перегнойно-карбонатная среднеглинистая	3,70	16,38	78,4	59,5	52,4	7,2	4,9	0,2	Не опр.	0,45	0,80	4,41		
Чернозем южный тяжелоглинистый и среднеглинистый	3,14	0,31	81,7	46,3	43,9	8,7	5,9	6,4	40,6	0,53	1,60	3,29		

Чернозем южной легкоглинистый и тяжелосуглинистый	3,38	0,07	61,5	39,7	34,7	7,4	Не опр.	Не опр.	27,7	0,40	1,12	5,96		
Чернозем южный среднесуглинистый смытый	1,66	0,21	40,2	25,4	38,5	Не опр.	15,8	7,9	17,5	0,21	0,51	1,33		
Чернозем южный слабокарбонатный тяжелосуглинистый и легкоглинистый	3,21	0,47	38,9	35,4	32,7	17,2	9,6	6,9	22,2	0,53	1,57	5,81		
Чернозем южный карбонатный легкоглинистый	3,64	3,18	68,6	47,2	46,9	8,5	6,6	1,1	26,8	0,52	1,17	2,91		
Чернозем южный карбонатный среднеглинистый	3,27	7,41	75,9	58,4	51,9	Не опр.	4,6	0,44	Не опр.	0,47	Не опр.	3,61		
Чернозем южный карбонатный легкоглинистый смытый	3,04	15,38	67,2	44,9	48,1	16,1	6,4	0,2	26,3	0,72	1,09	4,03		
Темно-каштановая легкоглинистая солонцеватая	3,46	0,07	62,2	37,9	30,9	18,0	14,1	Не опр.	23,4	0,41	0,33	7,48		
Темно-каштановая песчанисто-солонцеватая	1,78	0,15	38,2	23,2	30,2	15,7	26,3	11,8	8,8	0,38	Не опр.	8,41		
Темно-каштановая супесчаная	0,89	0,26	16,8	12,1	84,7	5,0	18,8	3,4	Не опр.	0,24	0,22	3,25		
Солонец среднестолбчатый тяжелоглинистый	1,67	3,44	83,5	39,6	46,9	22,2	Не опр.	0,5	13,9	0,76	0,61	2,17		
Солонец корковый тяжелоглинистый	1,84	0,08	69,7	42,5	5,9	Не опр.	Не опр.	—	14,4	2,79	Не опр.	10,15		

\* В % от валового гумуса

типовизированные пары, зябь или посевы кукурузы в фазе 2-4 листочков.

Таким образом, количественные различия в структурном и микроагрегатном составе почв, механической прочности агрегатов можно связать с конкретными химическими и физико-химическими свойствами этих почв.

Рассматривая данные таблицы 9, можно заметить, что значительное содержание структурных агрегатов <1 мм в диаметре присущее определенным группам почв: кроме легких, черноземам карбонатным, пергипно-карбонатным почвам, черноземам, развитым на гранитах. Высокое количество структурных агрегатов <1 мм в диаметре отмечается в супесчаных почвах.

Если все исследованные почвы струнировать по механическому составу (супеси, легкие суглиники, средние суглиники и т. д.), то после осреднения структурного состава почв в пределах каждой группы мы не получим зависимости между содержанием в почве глины и структурными агрегатами <1 мм. Вместе с тем при исключении из этих групп карбонатных почв (содержащих  $\text{CaCO}_3 > 0,3\%$ ) выявляется зависимость между содержанием глины и структурными агрегатами <1 мм (A, %) (табл. 10). Коэффициент корреляции, характеризующий эту зависимость, равен  $0,79 \pm 0,17$  (табл. 11).

Таблица 10. Содержание физической глины, структурных агрегатов <1 мм и эродируемость бескарбонатных почв (средние данные)

Физическая глина, %	Структурные агрегаты	Эродируемость почв (A, %) при 50 мин при скорости воздушного потока 1 м/с	Физическая глина, %	Структурные агрегаты	Эродируемость почв (A, %) при 50 мин при скорости воздушного потока 1 м/с
77,9	35,1	10,1	39,7	32,5	3,5
35,0	32,7	7,3	14,9	67,2	2,0
53,3	34,6	8,4			

Без объединения почв в группы корреляционное отношение меняющее, что свидетельствует о влиянии других факторов на комковатость почв, в первую очередь карбонатов кальция. Таким образом, повышение содержания в почве глины ведет к увеличению комковатости почвы, уменьшению ее распыленности.

Как мы уже отмечали, увеличение комковатости почвы ведет к усилению устойчивости почв к выдуванию ветром. Корреляционное отношение между  $E$  и содержанием в бескарбонатных почвах глины достаточно высокое —  $0,90 \pm 0,80$  (табл. 11). Однако при содержании глины свыше 75% эродируемость несколько возрастает.

Влияние валового гумуса на содержание агрегатов <1 мм, видимо, незначительно; мы не обнаружили какой-либо существенной связи между этими показателями. Небольшое количество гу-

Таблица 11. Математическая оценка зависимостей между структурой, эродируемостью и физико-химическими свойствами почв

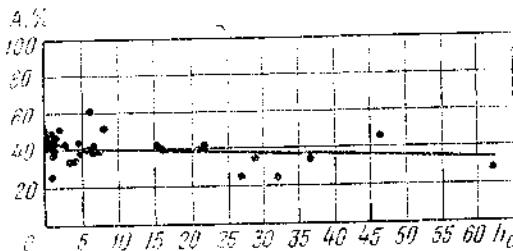
Коррелирующие показатели	Коэффициенты корреляции	Корреляционные отношения
Эродируемость и содержание физической глины	—	$0,90 \pm 0,08$
Содержание эрозионных агрегатов и физической глины	—	$0,79 \pm 0,17$
Содержание эрозионных агрегатов и отношение гумуса к карбонатам кальция	—	$0,54 \pm 0,15$
Содержание эрозионных агрегатов и отношение микроагрегатов >0,05 мм к <0,05 мм	$+0,66 \pm 0,10$	—
Содержание эрозионных агрегатов и отношение микроагрегатов <0,05 мм к механическим частицам <0,05 мм	$0,44 \pm 0,14$	—
Содержание эрозионных агрегатов и микроагрегатов >0,01 мм	—	$0,80 \pm 0,07$
Содержание подвижных гуминовых кислот и отношение гумуса к карбонатам кальция	—	$0,86 \pm 0,06$
Содержание гуминовых кислот и сумма поглощенных двухвалентных оснований	—	$0,74 \pm 0,14$
Механическая прочность и степень дисперсности (по А. Н. Соколовскому)		$0,68 \pm 0,10$
Механическая прочность и содержание яла		$0,65 \pm 0,12$
Механическая прочность и содержание физической глины		$0,61 \pm 0,13$
Механическая прочность и отношение гумуса к карбонатам кальция		$0,78 \pm 0,08$

муса не может обеспечить склеивание механических элементов в крупные комки. Приведенные данные подтверждают роль глинистых частиц для комковатости почвы.

Как и глинистые частицы, образовывать структурные агрегаты >1 мм в диаметре могут и микроагрегаты <0,01 мм. Чем больше их переходит в суспензию при взвешивании почвы с водой, тем выше комковатость такой почвы. Связь между содержанием микроагрегатов <0,01 мм и структурных агрегатов <1 мм характеризуется удовлетворительным корреляционным отношением  $0,80 \pm 0,07$  (найдено оно независимо от степени карбонатности почв).

Исследованиями установлено, что карбонаты кальция играют существенную роль в структурообразовании. Нужно подчеркнуть, что в прежних исследованиях о влиянии механического состава почвы на ее структуру содержание карбонатов кальция не учитывали. Вместе с тем содержание карбонатов кальция не вызывает закономерных изменений структуры почв. Имеет значение не валовое содержание карбонатов, а их соотношение с гумусом ( $\frac{\text{гумус}}{\text{CaCO}_3}$ ); между последним и содержанием в тяжелых по механическому составу почвах структурных агрегатов <1 мм существует криволинейная связь, характеризуемая удовлетворительным корреляцион-

Рис. 7. Влияние соотношения гумуса к  $\text{CaCO}_3$  (h<sub>C</sub>) на содержание агрегатов  $<1 \text{ мкм}$  (A) в почве.



ным отношением  $0,51 \pm 0,15$  (табл. 11). Найденная зависимость достаточно ясна, ибо  $\frac{3_{\text{hC}}}{m_{\text{Gv}}^2} = 3,6 > 3$ .

Уменьшение соотношения гумуса и карбонатов в почве вызывает уменьшение эквивалентного диаметра почвенных агрегатов, иначе говоря, уменьшается глыбистость почвы (рис. 7).

Заметим, что указанные изменения в почвах, характеризующихся различным соотношением гумуса и карбонатов, происходят не зависимо от механического состава (глинистых и суглинистых почв). По-видимому, повышенное содержание в почве карбонатов кальция, раствор которого является сильным электролитом, вызывает необратимую коагуляцию почвенных коллоидов. Кроме того, карбонаты кальция образуют пленки вокруг микроагрегатов. В связи с этим если структура почвы разрушена во время обработки сельскохозяйственными орудиями или в процессе замерзания и оттаивания почвы зимой, то восстановление структуры идет очень медленно: почва долгое время остается распыленной и легко подвергается выдуванию ветром.

На необратимую коагуляцию органических коллоидов указывает тот факт, что при обработке почвы, содержащей повышенное количество карбонатов кальция, 0,1 н. NaOH гумусовых веществ выделяется немного. Чем меньше отношение гумуса к карбонатам

кальция, тем меньше выделяются гумусовых веществ из почвы. Наблюдаемая криволинейная зависимость характеризуется довольно высоким корреляционным отношением —  $0,86 \pm 0,06$  (табл. 11, рис. 8).

Проведенные исследования дают основание полагать, что для почв тяжелого механического состава юга Украины одним из критериев

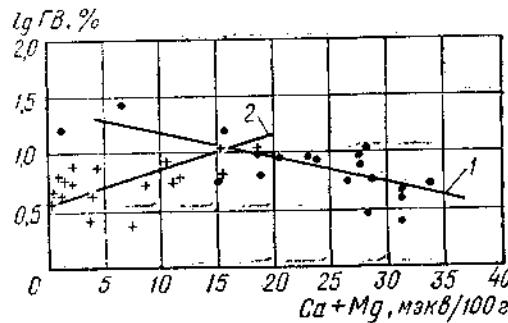


Рис. 8. Влияние поглощенных Ca+Mg (1) и отношения гумуса к  $\text{CaCO}_3$  (2) на содержание подвижных гумусовых веществ (ГВ, %).

подвижности, выдуванию ветром, является соотношение гумуса и карбонатов в верхних горизонтах.

Гумусовые вещества в черноземах и отчасти в каштановых почвах связаны с ионообменными катионами кальцием и магнием, которые вызывают гидрофобность органических коллоидов и незначительную подвижность гумусовых веществ. С увеличением содержания в почве обменных оснований (кальция и магния) количество гумусовых веществ, извлекаемых из почвы 0,1 н. NaOH, уменьшается (рис. 8). Найденная зависимость близка к прямой и характеризуется высокими корреляционными отношениями (табл. 11).

Изучая роль органического вещества в подвижности почв выдуванию, необходимо отметить, что имеющиеся по этому вопросу данные в литературе не рассматриваются в связи с другими свойствами почв, определяющими природу органического вещества и структуры почв. Лишь сопряженные исследования о содержании органического вещества и других свойств почв объясняют причины различной комковатости почв. Например, А. М. Гречченко и К. Г. Зуева (1959), исследуя влияние гумуса на структурообразование, написали, что комковатость лесса, насыщенного Na-ионом, значительно повышается (на 15—17%) при обработке его свежим «аэробным» и «анаэробным» гумусом. Обработка же лесса, не насыщенного Na-ионом, снижала содержание фракций  $>1 \text{ мкм}$  на 28%.

Исследованиями в Канаде (W. S. Chepil, 1955) установлено, что чистые типы почв, содержащие большое количество органического вещества, легко выдуваются ветром.

Опыты Чепила (W. S. Chepil, 1955) показали, что внесение в почву от 1 до 60% люцерны или соломы ишеницы заметно способствовало повышению количества органического вещества, уменьшающегося по мере разложения его. Так, первый период разложения растительных остатков сопровождался увеличением в почве структурных агрегатов размером  $>0,84 \text{ мм}$ ; вместе с тем уменьшилось количество водоустойчивых агрегатов  $<0,02 \text{ мм}$  и возросло содержание водоустойчивых агрегатов  $>0,84 \text{ мм}$ , что в конечном счете уменьшило выдувание почвы.

Однако те же опыты показали, что через два-три года, когда все растительные остатки разложились, увеличилось содержание промежуточных агрегатов ( $0,42 \text{ мм}$ ), частиц  $<0,02 \text{ мм}$ , уменьшившее содержание комков ( $>0,84 \text{ мм}$ ), возросла эродируемость почв ветром. В связи с этим Чепил считал целесообразным не запахивать солому (стерню), а оставлять ее на поверхности почвы.

Изучение зависимости между дисперсностью и суммой поглощенных кальция и магния выявило резкое уменьшение первого показателя с увеличением второго. Причем примерно с величиной 15 мэкв/100 г почвы фактор дисперсности почвы не изменялся. Это указывает на то, что данное количество поглощенных катионов в черноземах и темно-каштановых почвах обеспечивает устойчивость коагуляции микроагрегатов  $<0,001 \text{ мм}$ , образовавшихся путем конкуренции органо-минеральных коллоидов и прочных химических

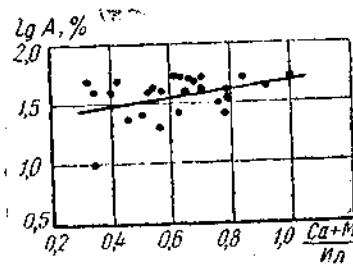


Рис. 9. Зависимость между соотношением  $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{ил}}$  и содержанием агрегатов  $>1$  мм ( $A$ ) в почве.

лондов и их склеивающая способность уменьшаются (рис. 8).

Мы определяли влияние пылеватых и иловатых частиц (в сумме) на формирование комковатости почв. Пылеватые частицы обладают некоторой энергией поверхности и принимают участие в процессах слипания микроагрегатов. В этом отношении песчаная фракция представляет собой инертный материал. Соотношение между инертной (песок) и активной (пыль+ил) частями почвы дает нам представление о способности такой почвы к образованию крупных агрегатов. Мы взяли данные о содержании микроагрегатов  $>0,05$  мм и  $<0,05$  мм, полученные в результате микроагрегатного анализа почвы. Установлено, что с увеличением содержания микроагрегатов  $<0,05$  мм и уменьшением соотношения микроагрегатов  $>0,05$  мм и  $<0,05$  мм возрастает комковатость почвы, уменьшается содержание в почве эрозионных фракций. Коэффициент корреляции, отражающий эту зависимость, равен  $0,66 \pm 0,10$ .

При диспергации почв в воде в суспензии переходит то или иное количество микроагрегатов  $<0,05$  мм, которые, как выяснилось, обеспечивают слипание микроагрегатов в крупные ( $>1$  мм) комки. Характерным показателем способности микроагрегатов  $<0,05$  мм подвергаться диспергации в воде может служить отношение суммы этих микроагрегатов к сумме того же размера, входящих в состав почвенных агрегатов и определяемых механическим анализом почвы. При сравнении полученного соотношения с количеством структурных агрегатов  $<1$  мм обнаружено, что увеличение этого соотношения, которое свидетельствовало об увеличении диспергируемости частиц  $<0,05$  мм, ведет к способности их образовывать структурные агрегаты  $>1$  мм. Однако связь между отношением микроагрегатов  $<0,05$  мм к механическим частицам того же размера и содержанием агрегатов  $<1$  мм характеризуется невысоким отрицательным коэффициентом корреляции ( $-0,44 \pm 0,14$ ).

В процессе ветровой эрозии происходит разрушение крупных почвенных комков под воздействием ударов передвигающихся эро-

связей между органической и минеральной частями почвы.

Нами отмечен также коагулирующий эффект карбонатов кальция, заметно снижающий дисперсность почвы. Следует отметить, что сумма поглощенных катионов практически не влияет на выход пылевых частиц, определяемых по методу А. Н. Соколовского. Вместе с тем увеличение соотношения суммы поглощенных катионов к илу ведет к повышению распыленности почв (рис. 9). Вероятно, при повышении насыщенности коллоидной части двухвалентными основаниями подвижность органических коллоидов и их склеивающая способность уменьшаются (рис. 8).

Мы определяли влияние пылеватых и иловатых частиц (в сумме) на формирование комковатости почв. Пылеватые частицы обладают некоторой энергией поверхности и принимают участие в процессах слипания микроагрегатов. В этом отношении песчаная фракция представляет собой инертный материал. Соотношение между инертной (песок) и активной (пыль+ил) частями почвы дает нам представление о способности такой почвы к образованию крупных агрегатов. Мы взяли данные о содержании микроагрегатов  $>0,05$  мм и  $<0,05$  мм, полученные в результате микроагрегатного анализа почвы. Установлено, что с увеличением содержания микроагрегатов  $<0,05$  мм и уменьшением соотношения микроагрегатов  $>0,05$  мм и  $<0,05$  мм возрастает комковатость почвы, уменьшается содержание в почве эрозионных фракций. Коэффициент корреляции, отражающий эту зависимость, равен  $0,66 \pm 0,10$ .

При диспергации почв в воде в суспензии переходит то или иное количество микроагрегатов  $<0,05$  мм, которые, как выяснилось, обеспечивают слипание микроагрегатов в крупные ( $>1$  мм) комки. Характерным показателем способности микроагрегатов  $<0,05$  мм подвергаться диспергации в воде может служить отношение суммы этих микроагрегатов к сумме того же размера, входящих в состав почвенных агрегатов и определяемых механическим анализом почвы. При сравнении полученного соотношения с количеством структурных агрегатов  $<1$  мм обнаружено, что увеличение этого соотношения, которое свидетельствовало об увеличении диспергируемости частиц  $<0,05$  мм, ведет к способности их образовывать структурные агрегаты  $>1$  мм. Однако связь между отношением микроагрегатов  $<0,05$  мм к механическим частицам того же размера и содержанием агрегатов  $<1$  мм характеризуется невысоким отрицательным коэффициентом корреляции ( $-0,44 \pm 0,14$ ).

В процессе ветровой эрозии происходит разрушение крупных почвенных комков под воздействием ударов передвигающихся эро-

зионных агрегатов и частиц. Это явление известно под названием абразии. Силу, с которой эрозионные агрегаты воздействуют на неподвижные почвенные комки, можно рассчитывать по формуле:

$$F = \frac{P_s (v_1 + v_2)}{t} H, \quad (19)$$

где  $P_s$  — вес эрозионного агрегата, кг;  $v_1$  — скорость, с которой эрозионный агрегат падает на почву или движется по ее поверхности:  $v_1 = \sqrt{v^2 + v_{kp}^2}$  (здесь  $v$  — скорость ветра);  $v_2$  — скорость агрегата в момент удара, равная 0;  $t$  — время.

Как видно из данных таблицы 9, статическая нагрузка, которую выдерживают почвенные агрегаты размером 4 мм, составляет 0,22—2,76 кг, или 2,2—27,0 Н.

Используя данные таблиц 4 и 9, мы сделали расчеты, показывающие, что во время пыльных бурь крупные комки постоянно разрушаются от ударов передвигающихся по поверхности и скакующих частиц почвы и увеличивается количество эрозионных частиц на поверхности почвы. Поэтому общий вынос золового материала с единицы поверхности почвы при сильных ветрах является функцией времени.

Те почвы, которые слабо выдуваются ветром, обладают высокой механической прочностью и, следовательно, высокой противоабразионной устойчивостью. Небольшое количество золового материала, которое передвигается во время эрозии по поверхности такой почвы, не в состоянии быстро разрушить почвенные комки. Примером почв с высокой противоабразионной устойчивостью могут служить черноземы мощные среднеглинистые, черноземы южные тяжелосуглинистые и особенно корковые солонцы.

Рассмотрим влияние свойств почв на механическую прочность агрегатов. Целый ряд исследований показывает, что сопротивление почвенных блоков разрыву существенно зависит от состава поглощенных катионов (П. В. Вершинин, 1958). Насыщенность почв натрием обеспечивает максимальную механическую прочность почв. Органическое вещество, вносимое в почву в количестве до 3—5%, значительно повышает ее механическую прочность.

С увеличением в почве коллоидных или илистых частиц механическая прочность агрегатов возрастает. Это обнаружили Бэйл (R. Boekel, 1963) и Роговски (A. S. Rogowski, 1968). Кузнецова (1967) нашла прямую зависимость между содержанием ила в агрегатах размером 3—5 мм и их механической прочностью. Коэффициент корреляции высокий ( $0,86 \pm 0,03$ ), он близок к полученному Роговским ( $0,87$ ). Для безгумусных искусственных агрегатов коэффициент корреляции более высокий ( $0,92 \pm 0,04$ ).

Изучение зависимости механической прочности агрегатов от химических и физико-химических свойств почв показало следующее. При увеличении соотношения гумуса и карбонатов кальция механическая прочность агрегатов размером 3—5 мм возрастает.

Корреляционное отношение, подтверждающее эту криволинейную зависимость, высокое ( $0,78 \pm 0,08$ ). Характер кривой указывает на коллипациональный эффект карбоната кальция. Д. Г. Вильенский (1945) экспериментально показал, что удаление  $\text{CaCO}_3$  из почвы путем промывки 0,2 н.  $\text{HCl}$  вызывало значительное повышение механической прочности агрегатов. Укрупнение коллониальных частиц под влиянием электродита ( $\text{CaCO}_3$ ) ослабляет электростатические силы и силы Ван-дер-Ваальса, связывающие микроагрегаты и частицы почвы в агрегаты. Следовательно, механическая прочность должна возрастать с увеличением количества глины и вообще дисперсного материала, обуславливающего высокую энергию поверхности почвенных частиц. Исходя из этого, мы исследовали влияние степени дисперсности почвы (диспергность определена по методу А. Н. Соколовского) на механическую прочность. Результаты показали, что с увеличением степени дисперсности почвы возросла механическая прочность агрегатов диаметром 3–5 мм. Корреляционное отношение высокое ( $0,68 \pm 0,10$ ), указывающее на достоверную связь между этими свойствами почв.

Примерно такая же зависимость получется для оценки связи между содержанием глины и механической прочностью агрегатов и между содержанием глины и механической прочностью агрегатов (рис. 10): корреляционные отношения соответственно равны  $0,65 \pm 0,12$  и  $0,61 \pm 0,13$ .

Таким образом, исследования зависимостей между химическими, физико-химическими свойствами почв, с одной стороны, и их физическими свойствами и податливостью к ветру, с другой, показали, что распыленность почв, их структурный состав не являются только следствием той или иной обработки почвы, а зависят от генетических особенностей почвы. Среди этих свойств важное значение имеют соотношение гумуса и карбонатов кальция, содержание глины, пла, микроагрегатов <0,05 мм, содержание поглощенных оснований, степень дисперсности почвы. Полученные данные могут лежать в основу разработки диагностических признаков почв, позволяющих распознавать почвы по различной степени эродируемости.

Рассматривая влияние тех или иных свойств почвы на ее податливость ветру, остановимся на роли влажности почвы в процессах ветровой эрозии. Н. А. Соколов (1884) отмечал,

что связность песка и устойчивость к разеванию зависят от его влажности. Влажный песок хорошо противостоит выдуванию даже сильным ветром. Однако при длительном воздействии ветра на почву, даже сильно влажную, последняя теряет воду и становится сухой, податливой ветру особенно сухом.

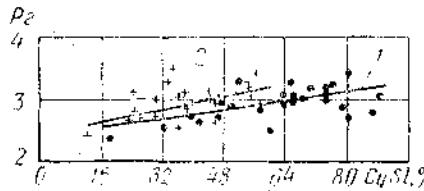


Рис. 10. Влияние содержания глины (1) и пла (2) на механическую прочность агрегатов почвы ( $P_t$ ).

Потери почвой влаги под действием ветра подробно рассмотрены в работе М. Белецкого (1895). Согласно его исследованиям, скорость отдачи воды больше всего с водной поверхности, затем с суглинка и мелкого песка; меньше всего воды отдает перегной. Причем испарение происходит быстрее при большой температуре и меньшей относительной влажности воздуха.

Противоэрзационная устойчивость влажной почвы объясняется тем, что почвенная влага, находящаяся между частицами почвы, благодаря поверхностному напряжению увеличивает силу сцепления почвенных частиц. Это экспериментально показано Чепилом (W. S. Chepil, 1956). Он отмечал, что в условиях гумидного или субгумидного климата почвы, за исключением песчаных, у которых быстро пересыхает верхний слой, вообще не подвергаются ветровой эрозии и только в условиях засушливого климата они подвержены выдуванию.

По данным Ш. А. Гайсина и Г. И. Лысака (1958), выдувание карбонатных черноземов Башкирии начинается при влажности, близкой к величине влаги, недоступной для растений.

При достаточной скорости ветра сносится не только сухая почва, но и относительно влажная. Однако этот переход не так значителен, как перенос сухой почвы. В смытах А. Н. Киселева (1958) выдувание карбонатного чернозема при влажности 4,2–3,6% составило 45,4% исходного образца, при влажности 27,2–24,2% — только 15,6%.

Пазак (V. Pasak, 1962) опытами в аэродинамической трубе установил, что при одинаковой скорости ветра степень выдувания засыпанных почв возрастает со снижением влажности почв.

Бизаль и Хзих (F. Bisal, J. Hsieh, 1966) изучали влияние влажности супесчаной, суглинистой и глинистой почв на скорость ветра, необходимую для начала движения частиц. Они нашли, что все почвы, кроме супесчаной, не подвергались ветровой эрозии даже при сильном ветре, если их влажность соответствовала величине давлению меньше 15 атм.

Анализ опубликованных материалов показывает, что при влажности почвы, равной гигроскопической или двойной максимальной гигроскопической, процесс ветровой эрозии идет наиболее интенсивно. Представляют интерес данные об абсолютных величинах скоростей ветра, необходимых для начала эрозии, особенно легких почв, при различной их влажности. Для исследований взяты светло-каштановая почва Волгоградской области, почвообразующая порода этой почвы, представляющая собой крупнопылеватый песок, и среднезернистый песок. Все образцы почв просеяны через сито 1 мм.

Светло-каштановая почва содержит 1,1% гумуса, объемный вес 1,35 г/см<sup>3</sup>, удельный вес 2,59 г/см<sup>3</sup>, пористость 48%, наименьшая влагоемкость 27,5%, максимальная гигроскопичность 2,7%; содержание песка 76,7%, пыли 21,2%, пла 2,1%; по механическому составу почва представляет высыпавшую субесь.

Почвообразующая порода содержит 0,1% гумуса, объемный вес 1,18 г/см<sup>3</sup>, удельный вес 2,59 г/см<sup>3</sup>, порозность 43%, наименьшая влагоемкость 25,8%, максимальная гигроскопичность 1,4%; содержание песка 93,3%, пыли 6,7%.

Среднезернистый песок содержит 0,05% гумуса, объемный вес 1,15 г/см<sup>3</sup>, удельный вес 2,54 г/см<sup>3</sup>, порозность 31%, наименьшая влагоемкость 19,3%, максимальная гигроскопичность 0,2%; содержание песка 98,9%, пыли 1,1%.

Результаты исследованной, проведенные на аэродинамической установке, представлены в таблице 12.

Таблица 12. Скорость потока ( $v_w$ ), необходимая для начала переноса почвенных частиц при различной влажности почвы или породы

Показатель	Светло-каштановая почва			Почвообразующая порода			Среднезернистый песок		
$v_w$ , м/с	4,5	6,2	6,6	7,9	4,8	6,5	7,5	7,7	6,1
Влажность, %	1,0	0,9	1,3	1,8	0,5	0,7	0,8	0,9	0,2

Наименьшая скорость начала переноса почвенных частиц (4,5—6,1 м/с) у воздушно-сухой почвы, имеющей влажность 1—0,2%, что составляет 36—105% максимальной гигроскопичности. При незначительном увеличении влажности почвы сопротивляемость почвы переносу воздушным потоком резко возрастает. При влажности, достигающей 69—183% максимальной гигроскопичности, скорость начала переноса достигает 7,9—7,7 м/с. Для светло-каштановой супесчаной почвы с увеличением влажности почвы скорость возрастает быстрее, чем для песчаной породы и среднезернистого песка. При продувании почвы на аэродинамической установке происходит быстрое подсыхание верхнего (1—2 мм) слоя почвы, тогда как на глубине 5 мм и более влажность может быть гораздо выше, о чем свидетельствуют данные, полученные с помощью прибора АМ-11.

Интерполяция данных о влажности почвенного материала, соответствующей  $v=12$  м/с в аэродинамической трубе или 20—22 м/с на высоте флюгера, показывает, что перенос частиц наступает при влажности светло-каштановой супесчаной почвы, равной 4%, почвообразующей породы — 1,5%, среднезернистого песка — 0,7% или соответственно при 14,5; 6 и 4% от наименьшей влагоемкости.

В основе механизма влияния влажности на величину скорости воздушного потока, необходимой для начала переноса почвенных частиц, лежат две причины: связующая сила водных пленок, находящихся вокруг почвенных частиц, и повышение комковатости почвы после увлажнения и последующего подсыхания. Вторую причину легко установить, если просеять верхний слой почвы после продувания через сито с отверстиями 1 мм. На сите остаются комки крупнее 1 мм, которых не было перед опытом. Процесс агрегирования при увлажнении и подсыхании более выражен в почвах, тяжелых по механическому составу.

На основании проведенных исследований можно считать, что на орошаемых массивах поливы, увлажняющие верхний слой почвы, а также агромелиоративные приемы обработки почв, направленные на сохранение запасов влаги, будут способствовать существенному повышению устойчивости почв к ветру.

## ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА ПОЧВУ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ

Влияние ветра на почву оказывается прежде всего на структурном составе. В результате выдувания из почвы удаляются мелкие эрозионные фракции, а крупные остаются на поверхности почвы. Мелкие комки и фракции удаляются на большое расстояние и в местах понижений рельефа, у различного рода препятствий образуют скопления мелкозема — золовые наносы. Сортирующую роль ветра подчеркивал Г. Н. Высоцкий (1884).

Впервые вопросы такой деятельности ветра обстоятельно осветил А. А. Бычихин (1892). В частности, он указывал, что в почве, не подверженной выдуванию, содержится 5,2% гумуса, в подверженной выдуванию — 4,29%, в ветровом налете — 6,19%.

Н. М. Сибирцев (1951) также считал, что выдувание почвы приводит к ее обеднению тонкими частицами, сдувание — к уменьшению мощности почвенного покрова, а наветвление — к заносу почвы мелкоземом.

Постоянное воздействие ветра на почву приводит к постепенному разрушению всего почвоточного слоя почвы, выдуванию тонких, наиболее плодородных почвенных частиц, изменению водно-физических свойств почвы, образованию на поверхности ряда почв ветрового элювия, состоящего из крупного песка, щебня, гальки.

Флай (Г. Ф. Якубов, 1960) приводит данные, характеризующие изменения, которые произошли в механическом составе почв Оклендом под действием ветра. Эродированная ветром почва относительно обогатилась песчаными и глинистыми частицами в результате выдувания пылеватых частиц, из которых преимущественно состоит ветровой нанос. Так, в неэродированной почве содержание песка составило 36,4%, пыли — 42,0, глины — 21,6%, в эродированной — соответственно 58,2; 15,0 и 26,8%, в золовом налете — 14,3; 62,5 и 23,2%.

Однако такой характер выдувания свойственен не всем почвам, как уже отмечалось выше. Наибольшие изменения в механическом составе происходят в эродированных ветром легких почвах (Г. Ф. Якубов, 1957, 1960).

В результате селективного выдувания происходит значительная сортировка механических элементов почв. Данные Г. Ф. Якубова (1957) и Е. А. Чакветадзе (1967) свидетельствуют о том, что в результате воздействия ветра на чернозем южный малогумусный супесчаный и темно-каштановую супесчаную почву в этих почвах по сравнению с неэродированными возросло содержание песка, умень-

ности, потеряние пыли и пыли. В песчаной почве существенных изменений не произошло; об этом свидетельствует соотношение пыли, пыли и пыли. Следовательно, выдувание песчаных почв имеет селективный характер.

После длительного воздействия ветра на песчаные и супесчаные почвы Нижнего Дона произошла потеря глинистых частиц с 8,1—8,1% до 3,4—6,5% (Н. Т. Химина, 1973). Существенное уменьшение глинистых частиц в темно-каштановой супесчаной почве Волгоградской области, подверженной выдуванию, отметил А. Ф. Гусиков (1973).

Ветровые иносы в районах эрозии легких по механическому составу почв ухудшают свойства верхнего горизонта погребенных почв. По существу такие почвы становятся малопригодными для целого ряда сельскохозяйственных культур. Огрубение верхнего (3-сантиметрового) слоя почвы под влиянием ветровой эрозии было отмечено в Польше Юлем и Позинским (1960).

Сортирующая роль ветра проявляется и в различном химическом составе золовых отложений. А. В. Вознесенский (1930) привел данные о химическом составе пыли в различных пунктах ее заедания: пыль, взятая далеко от места ее образования, характеризовалась большим содержанием органического вещества и солей щелочных металлов, чем пыль, которая осела ближе к району ее возникновения. Пыль, осевшая во Львове после пыльной бури 1928 г., характеризовалась меньшим размером зыпчинок.

Мартин (J. P. Martin, 1941) обнаружил, что в золовых иносях гумуса и азота содержится в 3—8 раз больше, чем в почве, из которой образовался инос. В связи с этим несомненный интерес представляет вопрос о влиянии ветра, ветровой эрозии на подородные почвы.

Изменения химического состава эродируемых ветром почв зависят от вида выдувания. При селективном выдувании потеря почвенных веществ происходит в результате выдувания главным образом тонких, богатых пылом частиц. Так, для грубо-зернистых почв Оклахомы потеря органического вещества и азота в результате выдувания тонких частиц составили 40,1—45,2%, для мелкозернистых почв — только 14,5—18,3% (Т. Ф. Якубов, 1960).

Обеднение тяжелых по механическому составу почв питательными элементами происходит в результате удаления почвенного мелкозема при выдувании, сопровождающемся уменьшением мощности почвы. Вместе с почвенным мелкоземом, вынутым ветром, почва теряет важнейшие элементы питания растений.

По данным Т. Ф. Якубова (1957), в неэродированных супесчаных и песчаных почвах Казахстана содержание гумуса составляло 3,02—0,49%, азота — 0,091—0,048, фосфора — 0,10—0,09, калия — 0,89—1,41%; в эродированных ветром почвах — соответственно 1,41—0,41; 0,075—0,039; 0,08—0,07 и 1,18—0,58%; в ветровом иносе — 0,91—0,28; 0,068—0,042; 0,08—0,07 и 1,41—1,18%.

С. Н. Тайчинов (1957) и Е. А. Чакветадзе (1967) в почвах, эро-

дированных ветром, также обнаружили меньшее содержание гумуса, азота, фосфора и калия.

Потеря почвой пылеватой и пыльной фракций и органического вещества приводит к уменьшению емкости поглощения. В неэродированных темно-каштановых супесчаных почвах Казахстана емкость поглощения составила 9,80—11,67 мэкв/100 г почвы, в эродированных — 5,35—8,04. Некоторые изменения отмечены также в минералогическом составе неэродированных и эродированных почв (Е. А. Чакветадзе, 1967).

Исследованиями А. М. Былого и В. Д. Савичева (1973) в Северном Кавказе установлено значительное изменение объемного веса. Так, объемный вес золового материала составил 1,01—1,04 г/см<sup>3</sup>, а верхнего слоя черноземов малогумусных карбонатных выщелоченных почв — 1,16—1,17.

Сравнение структурного состава неэродированных и эродированных ветром почв разного механического состава показано в таблице 13. Приведенные данные характеризуют изменения в структурном составе эродированных почв в условиях отсутствия обработки.

Таблица 13. Структурный состав неэродированных и эродированных ветром почв (исследования проведены в аэродинамической трубе).

Почва	Размер агрегатов, мм								
	<10	10—17	17—35	35—70	70—140	140—210	210—350	350—630	>630
Темно-каштановая супесчаная	10,8	5,5	3,7	3,6	1,2	2,4	3,8	30,6	38,4
	17,3	8,8	5,8	5,7	1,9	3,7	4,6	23,4	28,8
Чернозем обыкновенный карбонатный легкоглинистый	9,3	3,6	3,0	6,2	7,1	22,6	16,8	20,7	10,7
	20,3	7,9	5,8	9,5	8,2	20,0	9,9	11,1	7,3
Перегнойно-карбонатная среднеглинистая	29,0	6,0	4,0	4,4	3,6	11,9	13,1	18,1	9,9
	36,9	7,7	5,2	5,8	4,4	13,1	10,5	16,4	6,0
Чернозем карбонатный сильносмытый легкоглинистый	7,6	3,8	3,4	7,3	9,3	19,7	14,8	17,7	16,6
	9,4	4,9	4,2	9,4	11,7	22,6	13,1	12,8	12,0
Чернозем карбонатный легкоглинистый	23,0	10,8	8,8	10,6	7,0	13,4	10,1	10,4	5,9
	25,2	11,9	9,8	11,6	7,6	13,4	8,7	7,6	4,2
Чернозем южный карбонатный легко- и среднеглинистый	31,8	8,0	5,5	6,6	4,8	11,4	10,0	13,2	8,7
	36,4	9,3	6,5	7,9	5,7	11,7	8,8	8,5	5,2
Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	17,3	9,2	7,6	8,8	5,6	12,8	11,1	14,0	13,6
	20,0	10,2	8,7	10,0	6,2	12,8	9,9	11,2	11,0
Чернозем песчанисто-среднесуглинистый	38,6	9,5	5,8	5,5	2,3	4,3	3,5	8,5	22,0
	41,0	10,6	6,3	6,0	2,5	4,5	3,4	7,5	18,2
Чернозем супесчаный солонцеватый	18,9	9,6	7,2	7,9	4,4	7,4	5,1	13,7	25,8
	23,5	11,4	8,8	9,2	4,4	6,7	3,9	10,1	22,0
Чернозем южный карбонатный смытый легкоглинистый	22,8	6,2	4,7	8,0	7,4	17,7	11,2	12,0	10,0
	28,8	7,8	5,7	9,2	7,6	15,7	9,2	8,7	7,3

Таблица 14. Степень дисперсности, содержание гумуса,  $\text{CaCO}_3$  и агрегатов  $<0.25$  мм в верхних слоях золовых отложений в лесных полосах

Почва	Продолжение								
	Размер агрегата, мм								
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25
Чернозем южный легкоглинистый	22,9	9,8	7,4	9,2	7,1	15,4	10,1	10,8	7,3
	27,0	11,6	8,7	10,7	7,8	14,2	8,3	6,9	4,8
Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый смытый	20,3	9,4	7,7	11,4	7,9	14,2	10,1	10,1	8,9
	22,1	10,1	8,3	12,4	8,3	14,2	9,4	8,2	7,1
Темно-каштановая карбонатная легкоглинистая	9,8	4,4	6,8	18,6	16,4	24,5	10,7	5,9	2,9
	10,5	4,6	7,3	19,9	17,3	25,1	9,4	3,9	2,0
Темно-каштановая легкотяжелосуглинистая солонцеватая	50,8	11,1	6,2	6,2	4,3	7,1	5,0	5,5	3,8
	55,2	11,9	6,7	6,6	4,3	5,8	3,3	3,5	2,7
Темно-каштановая песчанисто-легкосуглинистая	43,7	11,1	7,1	7,8	4,8	8,7	3,9	5,9	6,9
	46,7	11,5	7,5	8,0	4,8	8,3	3,1	4,5	5,6
Солонец корковый тяжелоглинистый	75,6	13,1	4,3	3,4	1,2	1,0	0,4	0,3	0,7
	76,0	13,1	4,3	3,4	1,2	1,0	0,3	0,2	0,5

Приложение. Соответственно к каждой почвенной разновидности верхний показатель — для незеродированной почвы, нижний — для эродированной.

Общей для всех почв закономерностью явилось то, что в эродированных почвах снизилось содержание агрегатов  $<1$  мм, особенно  $<0,5$  мм, и повысилось содержание комков  $>10$  мм. Наибольшие изменения произошли в темно-каштановой супесчаной почве (содержание агрегатов 0,5—0,25 мм уменьшилось на 7,2%, а  $<0,25$  мм — на 9,6%); в остальных фракциях, кроме крупных комков, изменения были незначительными. В черноземе песчанисто-среднесуглинистом, супесчаном солонцеватом, темно-каштановой песчанисто-легкосуглинистой почве содержание фракции  $<0,25$  мм вследствие эрозии уменьшилось на 3,8—1,3%, в карбонатных глинистых почвах — на 1,7—4,6%, а в глинистых бескарбонатных — лишь на 0,2—2,6%. Наименьшие изменения в структурном составе произошли в почвах, устойчивых к выдуванию (в корковом солонце).

Во время сильных пыльных бурь наблюдается значительное перемещение продуктов эрозии и их сортировка, особенно это заметно на различных элементах рельефа и у лесных полос. Структурный и химический анализ золовых отложений у лесных полос и в самих полосах показал, что золовые отложения на восточных наветренных опушках характеризуются более грубым структурным составом, чем в середине полос, особенно на западных опушках (табл. 14). Причем наибольшие изменения (как и в лабораторном опыте) обнаружены в карбонатных почвах: содержание агрегатов  $<0,25$  мм на западной опушке в 2 раза больше, чем на восточной.

Сортирующая роль ветра проявилась на других свойствах почвы: на западных опушках степень дисперсности золовых отложений была ниже, чем на восточных, что связано с изменением

Область, район, хозяйство, почва	Расположение образца золового отложения по отношению к лесной полосе	Степень дисперсности, %	Содержание, %		
			гумуса	$\text{CaCO}_3$	агрегатов $<0,25$ мм
Запорожская область, Приморский район, колхоз «Коминтерн», чернозем южный карбонатный легкоглинистый	Западная опушка	0,46	3,24	1,8	48,0
	Середина лесополосы	0,56	3,13	2,0	17,0
	Восточная опушка	0,59	3,11	2,3	22,6
Запорожская область, Бердянский район, колхоз «Дружба», чернозем южный легкоглинистый	Западная опушка	0,46	3,96	0,1	18,9
	Середина лесополосы	0,53	3,80	0,0	18,6
	Восточная опушка	0,64	3,70	0,2	10,5
Херсонская область, Новотроицкий район, «Аскания-Нова», темно-каштановая солонцеватая легкоглинистая	Середина лесополосы	0,38	3,27	0,0	36,2
	Восточная опушка	0,50	3,32	0,0	27,9

структурного состава, содержание гумуса несколько выше. Это указывает на то, что в процессе разрушения почвы ветром вместе с глинистыми и пылеватыми частицами удаляется органическое вещество почвы. Этот вопрос изучен путем исследования золового материала, удаленного с поверхности почв (табл. 15).

Таблица 15. Содержание гумуса в незеродированной почве и золовом материале (средние данные), %

Почва	Незеродированная почва	Золовой материал
Чернозем обыкновенный карбонатный легкоглинистый	4,12	3,97
Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	4,32	3,95
Чернозем южный карбонатный легкоглинистый	3,64	3,26
Чернозем южный тяжелосуглинистый и легкоглинистый	3,30	2,80
Темно-каштановая легкоглинистая солонцеватая	3,46	3,28
Темно-каштановая песчанисто-легкосуглинистая солонцеватая	1,78	2,31

Сортировка, отразившаяся на химизме почв, выражена лишь в почвах легкого механического состава, в золовом материале которых гумуса оказалось больше, чем в верхнем слое незеродирован-

погребен золовый материал, удаленный с поверхности легких почв, содержит больше глинистых частиц, чем исходная почва, а глинистые частицы обогащены гумусом больше, чем крупнопылеватые.

Так почвы тяжелого механического состава обеднения гумусом и результатом удаления золового материала не происходит, так как золовый материал содержит меньше гумуса, чем почва, не тронутая ветром. Причина этого явления заключается в том, что ветер выносит мелкие агрегаты, которые содержат меньше глины, или, как свидетельствуют исследования П. Н. Беседина (1966), В. Н. Сосновской (1966), Д. В. Хана (1969), гумуса, чем крупные агрегаты, не перевозимые ветром. Заметим, что, по данным В. Н. Сосновской, в агрегатах <0,25 мм содержание гумуса было меньше, чем в почве в целом.

В результате длительной сортировки ветром почвенного мелкозема в пахотном слое происходит относительное накопление скелетной части.

Содержание механических элементов крупнее 2 мм в пахотном слое золового карбонатного глинистого слабозеродированного ветром чернозема было на 0,27—0,51% больше, чем в пахотном слое неэродированной почвы (табл. 16).

Таблица 16. Содержание механических элементов крупнее 2 мм в черноземе южном карбонатном глинистом (Сакский район Крымской области). %

Глубина, см	Степень эродированности почвы		Глубина, см	Степень эродированности почвы	
	неродированная	слабозеродированная		неродированная	слабозеродированная
0—5	0,03	0,54	20—30	0,25	0,57
5—10	0,33	0,60	30—40	0,57	0,68
10—20	0,23	0,60	40—50	0,62	0,65

Длительное воздействие ветра на почвы, развитые на плотных породах (щебнистых суглинках и глинах), приводит к значительному обогащению пахотного слоя крупными механическими элементами, появлению золового плаща на поверхности почв. Снижение же содержания мелкозема в почвенной толще приводит к падению плодородия.

Колосальные потери почвы от выдувания происходят во время сильных пыльных бурь. С. О. Воробьев (1930) во время пыльных бурь 1928 г. отмечал выдувание почвы на глубину 12 см, иногда до 20—25 см.

А. Г. Доскач и А. А. Трушковский (1963) приводят данные о том, что в 1960 г. сильным ветром в Донбассе был снесен гумусовый слой почвы на глубину до 30—50 см, на Северном Кавказе местами образовались язвы выдувания глубиной до 1—1,5 м и длиной до 10 м. На основной же территории Ставрополья, Краснодар-

ского края и Ростовской области, подверженных пыльной бурей, был выдун слой почвы 4,5—6 см, реже 10 см, на юге Украины 1—3 см. Примерно такие величины выдувания почвы на юге Украины отмечены и нами.

В 1969 г. сильными пыльными бурями на Северном Кавказе был разрушен слой почвы на глубину до 6 см (М. И. Долгилевич, 1969). В результате выдувания почвы образуются эродированные почвы.

Изменение ветровых процессов как проявление климатического фактора почвообразования приводит к формированию почв, характеризующихся не только укороченным профилем в очагах выдувания и более мощным профилем в местах аккумуляции продуктов эрозии, но и весьма разнообразными физическими и химическими свойствами. Такие почвы было предложено называть золотенными (Н. Е. Орловский, 1967).

**Влияние ветра на сельскохозяйственные растения.** В этом вопросе существуют две стороны. Первая заключается в косвенном воздействии ветровой эрозии на рост и развитие растений.

Во время разрушения почвы ветром и удаления им продуктов эрозии за границы очага эрозии мощность почвенной толщи уменьшается. Если культурный почвообразовательный процесс не приводит к восстановлению потерь почвы, то ее плодородие существенно падает. Как было показано, плодородие почв тяжелого механического состава снижается непропорционально в результате уменьшения мощности почв. Плодородие почв легкого механического состава падает более резко, так как наряду с уменьшением мощности почвы из нее удаляются пыльные и глинистые частицы, включающие органическое вещество и основные элементы минерального питания растений.

Таким образом, первая сторона данного вопроса связана с формированием эродированных ветром почв, обладающих более низким плодородием по сравнению с неразрушенными почвами.

В литературе немного данных о реакции сельскохозяйственных растений на плодородие почв, эродированных ветром, и много данных, характеризующих урожайность сельскохозяйственных растений на смытых почвах.

В степных районах юга европейской части СССР формирование эродированных почв происходит в результате совместного воздействия воды и ветра, особенно на почвы ветроударных склонов. Влияние рельефа на скорость ветра и связанные с ним процессы эрозии были впервые освещены Г. Н. Высоцким.

Н. Н. Клепинин (1937), исследуя формирование эродированных почв на Тарханкутской возвышенности (Крым), придавал большое значение деятельности ветра, который выдувал посевы и переносил мелкозем с гребней широких антиклиналей. Он впервые привел данные о влиянии эрозии на урожайность зерновых в степном Крыму.

Однако в 30-е годы классификация и систематика эродированных почв еще не была разработана, поэтому урожайность Н. Н. Клещинин связывал с почвами, расположенным на различных элементах рельефа. Согласно его данным, на южном черноземе в условиях ровного рельефа урожайность озимой пшеницы составила 11,2—14,2 ц/га, на карбонатном и щебенчатом черноземе склонов — 4,1—9,9 ц/га; урожайность ярового ячменя составила соответственно 6,9—8,5 и 2,8—5,9 ц/га, овса — 7,3—8,5 и 2,6—8,5 ц/га. Урожайность озимой пшеницы на карбонатном черноземе на ровном месте была 11,7 ц/га, на рядом расположенному склону — 2,9 ц/га; ярового ячменя — соответственно 5,4 и 1,4 ц/га, овса — 4,7 и 1,2 ц/га. На темно-каштановой почве с увеличением крутизны склона урожайность озимой пшеницы уменьшилась с 6,5 до 3,3 ц/га, а ячменя — с 4,6 до 2,9.

Обобщенные данные М. А. Кочкина (1958) показывают, что в степи Украины урожайность сельскохозяйственных культур на слабоэродированных мощных и обыкновенных черноземах составляет 80—90% по сравнению с неэродированными названными подтипами почв, около 50% среднеэродированных и 20—30% сильноэродированных. На слабо-, сильно- и среднеэродированных южных черноземах и каштановых почвах урожайность составляет соответственно 70, 50 и 25—30%.

М. А. Кочкин указывал, что эродированные почвы, для которых приводятся данные об урожайности сельскохозяйственных культур, сформировались под воздействием воды и ветра. Вероятно, на морфологии, химизме и уровне плодородия эродированных почв специфично не отражаются те природные агенты, под воздействием которых сформировались эти почвы, иначе говоря, уровень плодородия почвы одной и той же степени эродированности будет одинаков независимо от того, разрушены эти почвы водой или ветром.

По исследованиям Н. К. Шикула (1962), проведенным в Донбассе, урожайность озимой пшеницы на черноземе обыкновенном неэродированном составила 42,2—29,2 ц/га, на слабоэродированном — 40,2—27,1, среднеэродированном — 36,3—21,2, сильноэродированном — 34,2—15,3 ц/га; озимой ржи — соответственно 39,8; 38,8; 35,3 и 21,7 ц/га, яровой пшеницы — 24,0; 22,3; 18,2 и 15,1 ц/га, ярового ячменя — 37,0—27,0; 31,7—24,1; 31,0—19,4 и 18,2—11,3 ц/га, овса — 30,5—28,4; 29,4—19,4; 28,9—16,4 и 28,0—12,6 ц/га. На эродированных почвах не только уменьшается урожайность культур, но и существенно изменяется качество урожая. Так, содержание белка в зерне озимой пшеницы, выращенной на неэродированном обыкновенном черноземе, составило 14,7—14,8%, на слабоэродированном — 14,8—15,5%, на среднеэродированном — 14,6—16,5, сильноэродированном — 14,5—18,1%; содержание крахмала в зерне при этом равнялось соответственно 63,1—64,3; 62,9—63,9; 59,9—63,7 и 57,4—64,2%. В зерне пшеницы на эродированной почве возросло содержание золы, а в золе —  $P_2O_5$  и  $CaO$ .

Результаты анализа данных о содержании питательных ве-

ществ в тех же почвах (Н. К. Шикула, 1963) свидетельствуют о том, что обычные черноземы Донбасса, несмотря на их значительную эродированность, характеризуются довольно высокой обеспеченностью азотом, фосфором и калием. Поэтому увеличение белка в зерне пшеницы на эродированных почвах можно объяснить низкой влажностью эродированных почв. Варьирование процента белка озимой пшеницы в зависимости от погодных условий отмечали М. И. Киягиничев (1939) и П. С. Федоров (1956). Д. Н. Прянишников (1956) показал, что при хорошем водоснабжении пшеницы уменьшение белковости происходит в результате увеличения массы зерна при одном и том же запасе азота в почве. Что же касается увеличения содержания  $CaO$  в золе зерна пшеницы на эродированной почве, то оно вызвано большей насыщенностью кальцием эродированных почв, развитых на лессе.

Данные, характеризующие снижение урожайности сельскохозяйственных культур на эродированных почвах степи Украины, приводятся в работах Л. Н. Акентьевой (1961), Н. К. Крулского (1963), К. Л. Холупяка и Н. К. Шикула (1964), А. С. Скородумова (1970) и др.

В результате вегетационных опытов о влиянии эродированности почв ветром на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных растений Е. А. Чеквадзе (1967) не установила замедленного роста яровой пшеницы на эродированной темно-каштановой почве: высота стебля на неэродированной и эродированной почвах оказалась равной 37 см, а на золовом наносе — 40 см. Однако длина колоса оказалась на 0,5 см меньше, масса зерна — на 0,3, корней — на 0,2, абсолютная масса на 8 г меньше на эродированной почве по сравнению с неэродированной.

Таким образом, на разрушенных эрозией почвах вследствие этого плодородия ухудшается рост сельскохозяйственных растений и уменьшается урожайность.

**Воздействие сезонной ветровой эрозии на сельскохозяйственные растения.** В процессе сезонной ветровой эрозии почв повреждаются и нередко гибнут сельскохозяйственные культуры; обусловлено это механическим воздействием на растения воздушного потока. В этом заключается вторая сторона рассматриваемого вопроса о влиянии ветровой эрозии на сельскохозяйственные растения.

Наиболее разрушительна ветровая эрозия почв ранней весной. В другие времена года интенсивность ее менее значительна. Растущие сельскохозяйственные культуры в определенный период года находятся в разных стадиях развития в соответствии с биологическими особенностями культуры и погодными условиями предшествующего периода. В связи с этим сельскохозяйственные растения по-разному реагируют на ветровую эрозию почв.

С. О. Воробьев (1930) связывает различную реакцию растений на ветровую эрозию с их морфологическим строением. Так, относительную по сравнению с ячменем и овсом устойчивость озимой

шагающая выдувание он объясняет тем, что у озимой пшеницы узел кущения находится гораздо глубже, чем у ячменя и овса.

Несколько влаги в почве, вызывающий слабое развитие растений, вымывание озимых в зимний период значительно снижают устойчивость растений к ветровой эрозии почв.

Различают три вида повреждения растений во время ветровой эрозии: выдувание, засекание и засыпание (Д. П. Рыжиков, 1948). Наиболее сильное повреждение и нередко гибель растений происходит во время выдувания почв. Выдувание вызывает обнажение корней растений, узла кущения (у злаковых) и сопровождается транспортом почвенных частиц, бомбардирующими почву и засекающими стебли и листья растений. Все три вида повреждения приводят к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Так, урожайность пшеницы после пыльной бури 1946 г. составила: урожайность пшеницы — посевы выдути, 6,3 ц/га — посевы засыпаны, 14,2 ц/га — посевы не выдуты (Д. П. Рыжиков, 1948).

Наблюдения за посевами после ветровой эрозии показывают, что если засыпание невелико, то оно не приводит к снижению урожайности растений. Интерес представляет связь между глубиной выдувания почвы и урожайностью сельскохозяйственных культур (М. Н. Долгилевич, 1959) (табл. 17).

Таблица 17. Зависимость урожайности пшеницы и овса от интенсивности ветровой эрозии почв

Культура	Интенсивность	Почва	Глубина выдувания, см	Урожайность зерна, ц/га
Озимая пшеница	Кукуруза	Чернозем южный карбонатный	0,4 0,7 0,5	9,5 8,5 7,6
	То же	То же	0,8	5,1
	Овес	Чернозем карбонатный	0,7 1,7	7,4 4,3
>	Бахчевые	То же	0,6 1,5	10,0 7,0
	Кукуруза	Чернозем южный	0,0 0,8	13,5 10,0

На южном карбонатном черноземе после выдувания слоя почвы 0,4 см урожайность озимой пшеницы составила 9,5 ц/га, а после выдувания слоя почвы 1,1 см — 7,9 ц/га. На той же почве без выдувания почвы урожайность овса составила 13,5 ц/га, после выдувания почвы 0,8 см — 10 ц/га. Эти исследования свидетельствуют о том, что с усилением интенсивности ветровой эрозии урожайность падает.

Вудрафф (N. P. Woodruff, 1956) экспериментально показал, что во время весеннеей пыльной бури повреждение озимой пшеницы

более опасное и приводит к большей потере урожая, чем во время осенней. При интенсивной пыльной буре со скоростью ветра 11 м/с на высоте 15 см и общим переносом почвы 1580 т на фронте 100 м в день урожайность после осеннего повреждения составила 6,8 ц/га, после весеннего — 1,7 ц/га; урожайность неповрежденной пшеницы — 8,5 ц/га.

Закономерное уменьшение урожайности озимой ржи в зависимости от глубины выдувания черноземов карбонатных и выщелоченных в Башкирии показано С. С. Соболевым (1960). Эти данные интересны и в том отношении, что они указывают на существенное снижение урожайности даже при глубине выдувания 0,6 мм (табл. 18).

Таблица 18. Влияние зимней и ранневесеннеей ветровой эрозии и связанного с ней выпирания посевов на урожайность озимой ржи (по С. С. Соболеву, 1960)

Количество саждой почвы	Степень повреждения посевов ржи		Урожайность зерна, ц/га
	мм слоя	тт	
6,6	66	Рожь погибла, вынуты даже корни входов	0
6,5	65	Рожь погибла; местаами на гребнях остались обнаженные узлы кущения погибших входов; в более глубоких бороздах отдельные экземпляры полегли растений	0,2
4,5	45	Погибло более 50% растений; посев не имеет хозяйственного значения; оставшиеся растения полегли вследствие обнажения корневых систем ниже узла кущения	2,0
2,8	28	Погибло 25—50% ржи; полегло до 50% растений вследствие обнажения корневых систем ниже узла кущения	5,2
0,6	6	Погибло не более 25% ржи; полегло не более 25%. Часть узлов кущения обнажена	9,9
0,0	0	Нормальное состояние посевов; рожь не пострадала или мало пострадала от ветровой эрозии	11,7

Большое снижение урожайности и ухудшение роста озимой пшеницы на участках выдувания почвы подтверждены Н. М. Милосердовым (1961). Им также было показано, что увеличение мощности золового отложения с 4 до 20 см приводит к гибели от 30 до 100% растений пшеницы, если во время пыльной бури они были в фазе кущения. Небольшая мощность золового отложения способствует появлению у озимой пшеницы мощного узла вторичных корней, повышению числа стеблей и листьев и в ряде случаев лучшему росту пшеницы.

По данным Н. М. Милосердова (1961), на участке отложения мелкозема слоем 2 см высота озимой пшеницы ко времени созревания была 102 см, масса колоса 1,46 г, количество зерен в коло-

се РГБ, масса 1000 зерен 37,7 г, урожайность 28,7 ц/га; на участке, где не было отложения мелкозема, эти показатели были соответственно меньше на 7, 26, 22, 5 и 22%.

Заметим, что на этих показателях отразилось не только налипание мелкозема в виде мелкозема, но и положение этих двух участков по отношению к полосе: первый был в зоне аккумуляции продуктов эрозии в 40 м от лесной полосы высотой 4—5 м, второй — в 110 м от нее.

Все приведенные данные свидетельствуют о том, что наибольшие повреждения получают растения в зоне эрозии почв, где проходит также вынос растений и их частей вместе с почвой.

В зоне транспорта эродированного материала повреждения (засечение) также значительны, но они гораздо меньше, чем в зоне эрозии. Наконец, меньшие повреждения получают растения в зоне аккумуляции (занесенные мелкоземом растения) продуктов эрозии. Нужно подчеркнуть, что в зоне эрозии имеет место и транспорт мелкозема.

Изучение влияния ветровой эрозии на сельскохозяйственные растения позволило установить (М. И. Долгилевич, 1959), что с увеличением интенсивности выдувания почвы, помимо снижения урожайности зерна, снижается масса 1000 зерен и содержание белка в зерне поврежденных растений (табл. 19). При увеличении глубины выдувания с 0,4 до 1,1 см масса 1000 зерен пшеницы уменьшилась с 32,4 до 26,7 г, а с 0,0 до 0,8 см — снизилась с 27,1 до 25,3 г.

Таблица 19. Зависимость качества урожая от сезонной ветровой эрозии почв (сорт озимой пшеницы Ворошиловская, овса Советский; 1957 г.)

Культура, почва	Глубина выдувания, см	Урожайность, ц/га	Масса 1000 зерен, г	Содержание веществ в абсолютном сухом зерне, %			Уменьшение белка в зерне
				Крахмал	Белок	Зола	
Озимая пшеница, чернозем	0,4	9,5	32,4	71,57	12,96	1,71	5,5
	0,7	8,5	30,4	65,05	11,85	1,76	5,3
	1,1	7,9	26,7	73,28	10,63	1,48	3,9
Овес, южный чернозем	0,0	13,5	27,1	43,44	13,54	4,58	3,2
	0,8	10,0	25,3	50,15	12,21	4,17	4,1
Овес, чернозем карбонатный	0,7	7,4	21,8	45,12	11,10	5,04	4,1
	1,7	4,3	22,0	52,22	10,48	3,64	5,0
То же	0,6	10,0	25,1	47,65	11,49	3,80	4,1
	1,5	7,0	22,6	60,08	10,04	4,06	5,0

С увеличением интенсивности ветровой эрозии содержание белка в зерне пшеницы снизилось с 12,96 до 10,63%, а в зерне овса — с 11,49 до 10,04%, при этом абсолютное количество крахмала в зерне пшеницы возросло с 71,57 до 73,28%, а в зерне овса — с 47,65 до 60,08%.

Изменение биохимического состава зерна под влиянием ветровой эрозии привело к изменению соотношения между углеводами и белком. Так, с увеличением глубины выдувания в зерне пшеницы оно увеличилось с 5,5 до 6,9, в зерне овса — с 4,1 до 6. Увеличение соотношения крахмала и белка происходит в результате и увеличения содержания крахмала, и уменьшения содержания белка. При этом ухудшаются питательные, мукомольные и хлебопекарные качества пшеницы и значительно снижается кормовая ценность овса.

Следует отметить очень низкое содержание белка в зерне озимой пшеницы в год, когда она была подвержена ветровой эрозии.

В чем же причина нарушения углеводно-белкового соотношения и снижения содержания белка в зерне?

Наши исследования показали, что сезонная ветровая эрозия заметно не снижает плодородия почв: глубина выдувания не превышала 1,7 см (170 м<sup>3</sup> почвы с гектара). Причина снижения содержания белка и нарушения углеводно-белкового соотношения в зерне заключается в ослаблении жизненных функций растительного организма в результате механического воздействия на растение несомого ветром почвенного мелкозема и в результате обнажения корневых систем.

С усиленiem выдувания возрастает поступление в ветровой поток мелкозема, поднятого в воздух. Несомый ветром почвенный мелкозем беспрерывно засекает стебли, листья, обнаженные в результате выдувания корни растений. Засекание вызывает повреждение сосудисто-проводящей системы растений, ослабление жизненных функций растительного организма, нарушение обмена веществ. Нарушение жизненных функций растительного организма приводит, по всей вероятности, к понижению обмена веществ и слабому поглощению почвенного азота вместе с другими элементами питания. Это подтверждается данными таблицы 19, свидетельствующими об уменьшении общей зольности зерна пшеницы и овса, поврежденных ветровой эрозией.

Данные Н. М. Милюсердова (1965) в известной степени подтверждают наши представления о нарушении жизненных функций растительного организма при механическом повреждении растений пылевоздушным потоком (табл. 20). На участке выдувания почв потребление азота ячменем было в 3,2 раза, калия — в 1,6, магния — в 2,2 раза меньше, чем на участке поля, где ветровой эрозии не было. Лишь усвоение фосфора на участке выдувания было в 1,3 раза больше.

Борьба с ветровой эрозией почв связана с проблемой увеличения не только валового сбора зерна сельскохозяйственных культур, но и белковости продовольственного и кормового зерна.

Отметим еще одну особенность, связанную с воздействием ветровой эрозии на урожайность озимых культур. Сильная ветровая эрозия в зимний период (что, правда, бывает очень редко), вызывая выдувание верхнего слоя почвы, уменьшает глубину залегания

Таблица 20. Содержание элементов питания растений в клеточном соке листьев ярового ячменя 9 мая 1961 г., мг на 1 кг сока  
(по Н. М. Милосердову, 1965)

Место определения	Азот	Фосфор	Калий	Магний
Межковое поле	320	72	20 180	88
Открытое поле:				
на участке заноса мелкоземом	1400	144	19 200	180
на участке выдувания	109	96	12 000	40

узла кущения озимых (лишници и ячменя). Если температура воздуха в последующий период сильно понижается, то и температура почвы на глубине узла кущения с большой вероятностью может быть ниже критической для данного сорта лишници или ячменя. В связи с этим происходит массовое вымерзание озимых, особенно ячменя.

Исследования, проведенные на Северном Кавказе в 1969 г. (М. И. Долгилевич и др., 1969), позволили установить, что в условиях относительно хорошей защиты почвы от ветровой эрозии в системе лесных полос глу比亚 залегания узла кущения озимой лишници была в пределах 1,9—4,4 см (в среднем 2,4 см), а на плохо защищенных участках — 1,7—2,4 см (в среднем 2,0 см), в связи с этим на таких участках озимая лишница под влиянием морозов до  $-20,4^{\circ}\text{C}$  вымерзла.

## ВЕТРОВАЯ ЭРОЗИЯ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Многообразие почв, различные климатические условия, структура посевых площадей и способы возделывания сельскохозяйственных культур обуславливают неоднаковое развитие ветровой эрозии на территории Украины.

Специфика циркуляционных процессов в атмосфере в те или иные годы вызывает усиление ветровой эрозии, которая охватывает большую часть территории республики. Обычно же ветровая эрозия проявляется локально на участках сельскохозяйственных угодий, преимущественно на пашнях.

**Классификация ветровой эрозии.** С. С. Соболев различает два основных вида ветровой эрозии почв: 1) пыльные, или черные, бури; 2) повседневная ветровая эрозия.

Пыльные бури отличаются наиболее разрушительным действием, за короткое время они губят посевы на сотнях тысяч гектаров.

Повседневная ветровая эрозия отмечается обычно на песках, на карбонатных почвах и протекает без заметного формирования пыльных бурь. В теплый период года обычно на чистых пашнях даже при слабых ветрах, характеризующихся конвективным перемешиванием слоев воздуха, возникают вихри, быстро перемещаю-

щиеся по полю. На повышенных элементах рельефа наблюдается легкое «дымление». Почвенные частицы при этом далеко не переносятся и откладываются в очагах эрозии.

Повседневная ветровая эрозия разделяется на верховую ветровую эрозию, при которой на пашне при сильных ветрах образуются отдельные смерчи, ветроударные склоны как бы «дымят» и ветер поднимает частицы почвы на большую высоту, и поземку, при которой ветер поднимает почвенные частицы не выше роста человека.

Повседневная ветровая эрозия довольно часто имеет место на Украине; она охватывает также большие площади, занятые парами, зябью, слаборазвитыми всходами сельскохозяйственных культур. Основной вид повреждения всходами сельскохозяйственных культур — это засекание листьев и стеблей без значительного выдувания почвы.

М. М. Жуков (1964) предлагает следующую классификацию пыльных бурь: а) черные бури, свойственные югу европейской территории страны, во время которых поднимается в воздух и вскоре падает мелкозем, выдущий с черноземных почв. Они обычно бывают весной (март, апрель); б) белые бури, или снежные, менее широко распространены в СССР; они возникают в Северном Прикаспии и Нижнем Поволжье; во время этих бурь с поверхности почвника поднимается белая пыль, представляющая собой кристаллы гипса, новаренной соли, соды, глауберовой соли, и мелкозем; в) бурые бури, или желтые, возникают в области злаково-бурых суглинков и супесчаных пород; они характерны для степных и полупустынных районов СССР. Иногда осаждение бурой пыли, представляющей собой глинистые частицы, окрашенные оксидами железа, происходит и во время черных бурь; г) красные бури — это пыль, приносимая в Европу из Африки; они известны в Северной Америке; д) перенос и подъем в воздух песчаного материала во время самумов в пустынях Каракум, Кызылкум и др.

Приведенная классификация пыльных бурь основана на землистых, цветовых признаках переносимой почвой пыли, которая генетически связана с эродируемой почвой или породой.

Г. Г. Шенберг предложил классифицировать переносимую пыль по месту ее образования. Пыль, образованную на месте, он называет эндогенной, а принесенную ветром пыль — экзогенной. Оба вида различаются главным образом гранулометрическим составом.

Классификацию Г. Г. Шенберга несколько развил Н. М. Островский (1963); он подразделил ее на 3, а называемые бури на три типа — местные, транзитные и смешанные. Местными Н. М. Островским называет те бури, которые характеризуются выпадением пылеватых частиц местного субстрата, поднятых в атмосферу за пределами района метеостанции, отметившей пыльную бурю, относятся к транзитным. Смешанные пыльные бури образуются в результате объединения транзитного потока пылеватых частиц с местными.

Классификация Н. А. Островского имеет большое значение, так как позволяет выделять пыльные бури различного происхождения, что важно не только для метеорологии, но и для сельскохозяйственной практики.

Н. С. Захаров (1965) под пыльной бурей предлагает понимать явление, наблюдающееся большей частью в засушливых областях, при котором сильным ветром разрушается и выдувается верхний сухой слой почвы. Вместе с почвой могут выдуваться сельскохозяйственные посевы; из-за поднятой в воздух массы пыли значительно снижается видимость.

В агрометеорологии пыльные бури классифицируются по степени интенсивности, в основу оценки которой положена преимущественно видимость: для слабых пыльных бурь характерна видимость до 10 км, средних — от 1 до 2 км, сильных — менее 1 км.

**Пыльные бури, их периодичность, продолжительность и распространение.** Как мы отмечали, ветровая эрозия в виде пыльных бурь значительно распространена на Украине. Данные 178 метеостанций Украины с 1943 по 1962 г. позволяют судить о времени и повторяемости пыльных бурь на территории природных зон республики. На рисунке 11 видно, что в течение года наблюдается один или два максимума числа дней с пыльными бурями. Так, в Полесье и лесостепи максимальное число дней с пыльными бурями наблюдается в мае и июне (20—25%), в степи один максимум приходится на апрель (19—20,5%), второй — на август (15—17,4%).

Характерно, что почти во всех природных зонах Украины пыльные бури возникают в теплое время года, лишь в южной степи около 10% пыльных бурь возникает в марте.

Годовой ход пыльных бурь следующий: в южной степи 39,0% пыльных бурь возникает весной, 39,7% — летом, 19,3% — осенью и 2% — зимой; в северной и центральной степи — соответственно 38,8; 42,9; 14,8 и 3,5%; в лесостепи — 30,7; 56,9; 11,5 и 0,9%; в Полесье 38,1; 46,5; 12,7 и 2,5%.

Некоторое различие во времени возникновения пыльных бурь в тех или иных зонах можно объяснить неодинаковыми календарными сроками наступления теплого периода. Если в начале апреля в южной степи почва уже

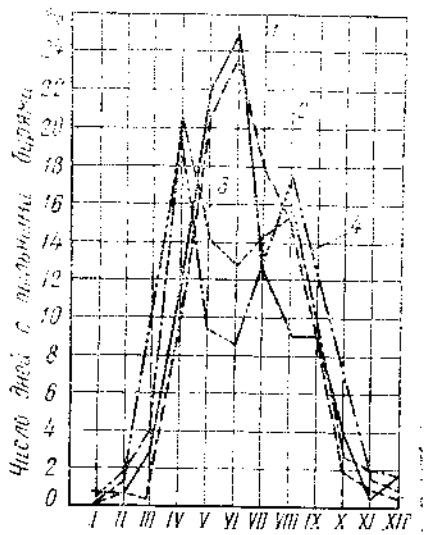


Рис. 11. Распределение числа дней с пыльными бурями в течение года: 1—Полесье; 2—лесостепь; 3—северная и центральная степь; 4—южная степь.

подсыхает и наблюдается ее выдувание, то в Полесье местами еще лежит снег. Запасы влаги в метровой толще почвы весной под озимыми культурами достигает в Полесье 200 мм, а в южной степи лишь 75—100 мм.

Однако в 1969 г. на Украине, как и на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье, возникли редкие по интенсивности зимние пыльные бури (3—8 января, 22—25 января и 11—19 февраля). Характерными особенностями погодных условий формирования их были почти полное отсутствие снега на полях и низкая температура воздуха. Сильные восточные и юго-восточные ветры во время этих бурь возникли под влиянием малоподвижного Сибирского антициклона с центром над Южным Уралом, а также области повышенного давления, расположавшейся над Малой Азией и Черным морем.

Пыльные бури имеют суточный ход, они повторяют суточный ход скорости ветра. В степной зоне республики в ночные часы бывает 0—3%, в утренние — 4—35%, в дневные — 60—64%, в вечерние — 11—21% пыльных бурь (В. Н. Бабиченко, 1965). Такой суточный ход пыльных бурь отмечен и в других районах страны.

В среднем число дней с пыльными бурями на Украине составляет от 0 до 17,5.

Общее представление о распределении числа дней с пыльными бурями на территории Украины дает приводимая картосхема (рис. 12). Она показывает, что пыльные бури формируются не только в степной части Украины, но и в Полесье. Пыльные бури в Украинском Полесье довольно часто вызывают гибель сельскохозяйственных культур, размещенных на дерново-песчаных почвах. Нам неоднократно приходилось наблюдать гибель всходов люпина, ржи и других культур на дерново-песчаных почвах Полесья. В этой же зоне выдуванию подвергаются осущенные торфяники, особенно во время продолжительных засух.

По числу дней с пыльными бурями в степной зоне выделяются юго-западный район (2—6) и центральный сухостепной (свыше 12 дней). На станциях Херсон, Берислав, Нижние Серогозы и Ботево их число составляет соответственно 10, 12, 17 и 11 в год. В центральной степи бывает 4—6 пыльных бурь в году, в степном Крыму — 2—7. Граница числа дней с пыльными бурями больше двух проходит по линии Затишье — Вознесенск — Верхнеднепровск — Харьков.

В Полесье выделяется западная часть, где число дней с пыльными бурями за год достигает 3.

На большей же части Украины, особенно в Полесье и лесостепи, число дней с пыльными бурями невелико. В соответствии с природными зонами Украины число дней с пыльными бурями закономерно увеличивается в направлении с севера на юг (рис. 13). Это в первую очередь связано с увлажнением территории. Так, в пределах Украины количество атмосферных осадков в том же направлении уменьшается от 550 до 350 мм, а коэффициент увлажнения

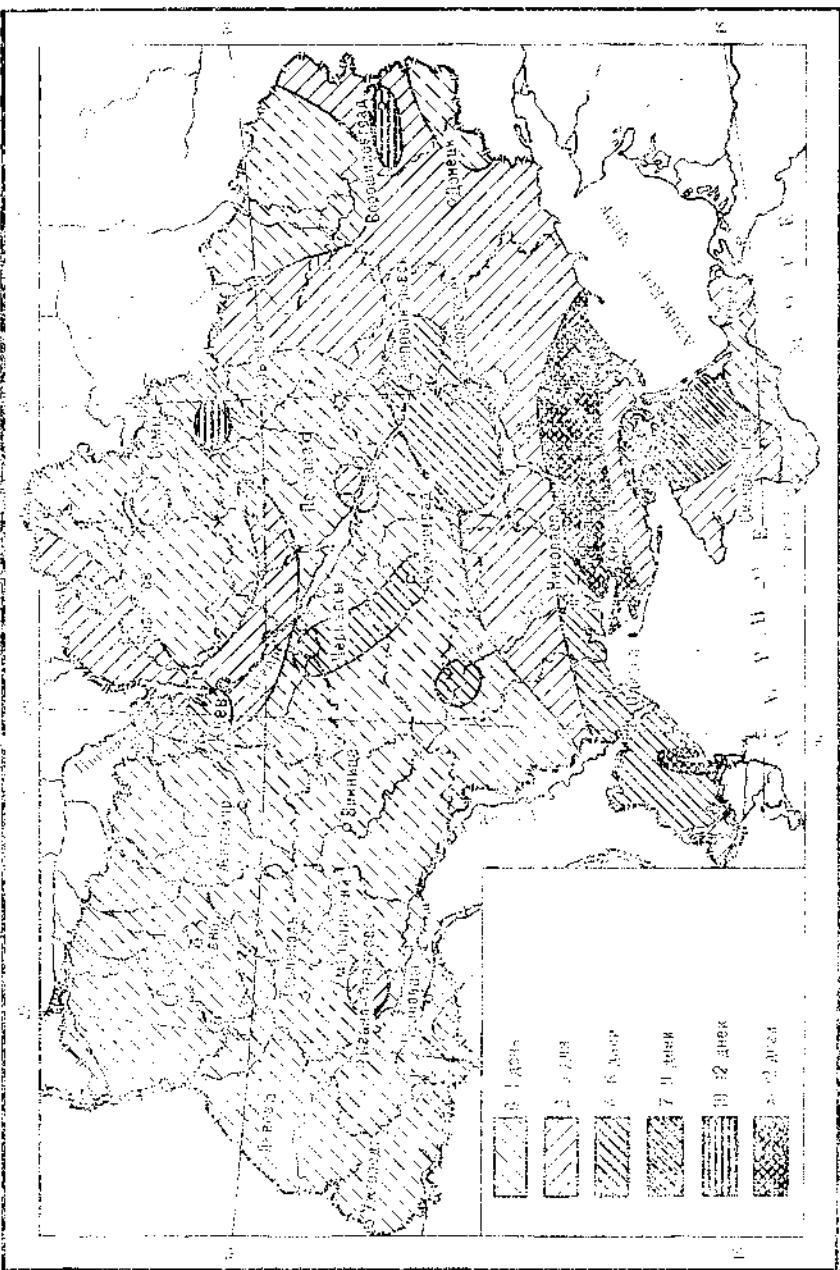


Рис. 12. Число дней с пыльными бурами (в среднем за год).

яния — от 1 до 0,5 (И. Е. Бучинский, 1963). Для преобладающей части засушливой степи, особенно крайней южной, характерно наибольшее число дней с суховеями.

Для понимания генезиса пыльных бурь существенное значение имеют запасы влаги в верхнем слое почвы в период сильных ветров, способных сформировать пыльные бури. В разделе о податливости почвы ветру показано влияние влажности почвы на скорость ветра, необходимую для начала переноса почвенных частиц.

В. Н. Заломаев (1928) отмечал, что пыльные бури на территории европейской части СССР зарождаются в южных степях, где особенно сильные пыльные бури бывают после продолжительного засушливого периода.

А. Е. Дьяченко и Л. Т. Земляницкий (1946) считают, что в условиях Башкирии возникновению пыльных бурь предшествуют сухая осень, малоснежная зима и энергично протекающая весна с небольшим количеством осадков.

Л. А. Голубева (1950), изучая природу пыльных бурь на Кубани, нашла определенную зависимость между длительностью периода без осадков и возникновением пыльных бурь. Она заметила, что на ст. Хуторок пыльные бури были 4 раза на второй—пятый день после последнего дождя и 10 раз на шестой—двадцатый день после дождя. Она подчеркивает также, что в районе ветровой эрозии обычно выпадает мало осадков.

В условиях засушливого климата появляется реальная опасность формирования пыльной бури. Этому также способствует то обстоятельство, что северо-восточные и восточные ветры, как правило, несут сухой воздух и не вызывают осадки над южной частью Украины. Для ряда районов юга Украины установлено, что высокие скорости ветра бывают в районах с небольшими осадками.

Засушливость климата на юге Украины выражается также в недостатке усвояемой для растений влаги. Слабое же развитие растений, особенно озимых, способствует развитию ветровой эрозии. Территория с запасами продуктивной влаги в слое 0—100 см менее 150 мм под озимой пшеницей ранней весной лежит к югу от линии Кишинев — Запорожье — Ворошиловград, а территория крайнего юга степи УССР, включая юг Херсонской, Запорожской областей и степной Крым, характеризуется в этот период запасом продуктивной влаги менее 125 мм (Н. Г. Иовенко, 1960).

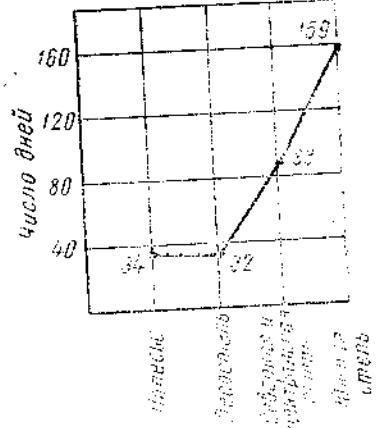


Рис. 13. Число дней с пыльными бурами в природных зонах Украины (в расчете на 30 метеостанций).

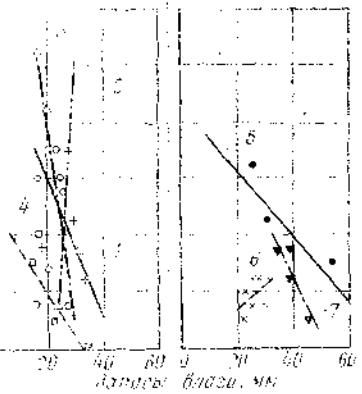


Рис. 14. Зависимость между запасами влаги в пахотном слое и числом дней с пыльными бурями:

1 - Крымская обл.; 2 - Херсонская обл.; 3 - Запорожская обл.; 4 - Бахмачлаградская обл.;  
5 - Лопатинская обл.; 6 - Одесская обл.; 7 - Николаевская обл.

В период пыльных бурь на Украине хорошо увлажненные участки пашни меньше подвергаются выдуванию, а при достаточно высоких запасах влаги в пахотном слое пыльные бури возникают еще реже.

Исследование зависимости между запасами продуктивной влаги и числом дней с пыльными бурями в 1960 г. позволило установить тесную зависимость между ними (рис. 14). Как видно из графиков, в пяти областях из семи наблюдается обратная зависимость между этими показателями. Коэффициенты корреляции, характеризующие эту связь, равны 0,48 и 0,86. Для Херсонской и Одесской областей коэффициенты корреляции были низкими (0,12 и 0,36).

На указанную зависимость могли повлиять и другие факторы: транзитные пыльные бури, состояние поверхности почвы, облесенность территории и др. Тем не менее приведенные данные свидетельствуют о большом значении запасов влаги в верхнем слое почвы в формировании пыльных бурь.

Наиболее опасны весенние пыльные бури, когда зябь на больших площадях еще не защищена сельскохозяйственными культурами и служит основным очагом формирования пыли, перенос которой на соседние поля вызывает развитие эрозии даже на тех почвах, которые покрыты хорошо раскрутившимися озимыми. Очагами ветровой эрозии являются и засеянные поля, если всходы растений очень слабые, а почва находится в распыленном состоянии. Число дней с весенними пыльными бурями на территории республики составляет от 0 до 5.6 (рис. 15).

Северная граница весенних пыльных бурь более двух в год параллельна северной границе степи и проходит по линии Раздельная — Кривой Рог — Синельниково — Ворошиловград. Таким образом, ветровой эрозии весной подвергается вся зона каштановых почв, южных и частично обычновенных черноземов.

По числу дней с пыльными бурями степь разделяется на ряд вытянутых в широтном направлении подзон. Рассматривая их чередование с севера на юг, можно заметить, что в северной подзоне с обычновенными и южными черноземами число дней с пыльными бурями 2—3, в следующей подзоне их количество возрастает до 4—6, а в подзоне темно-каштановых и каштановых солонцеватых

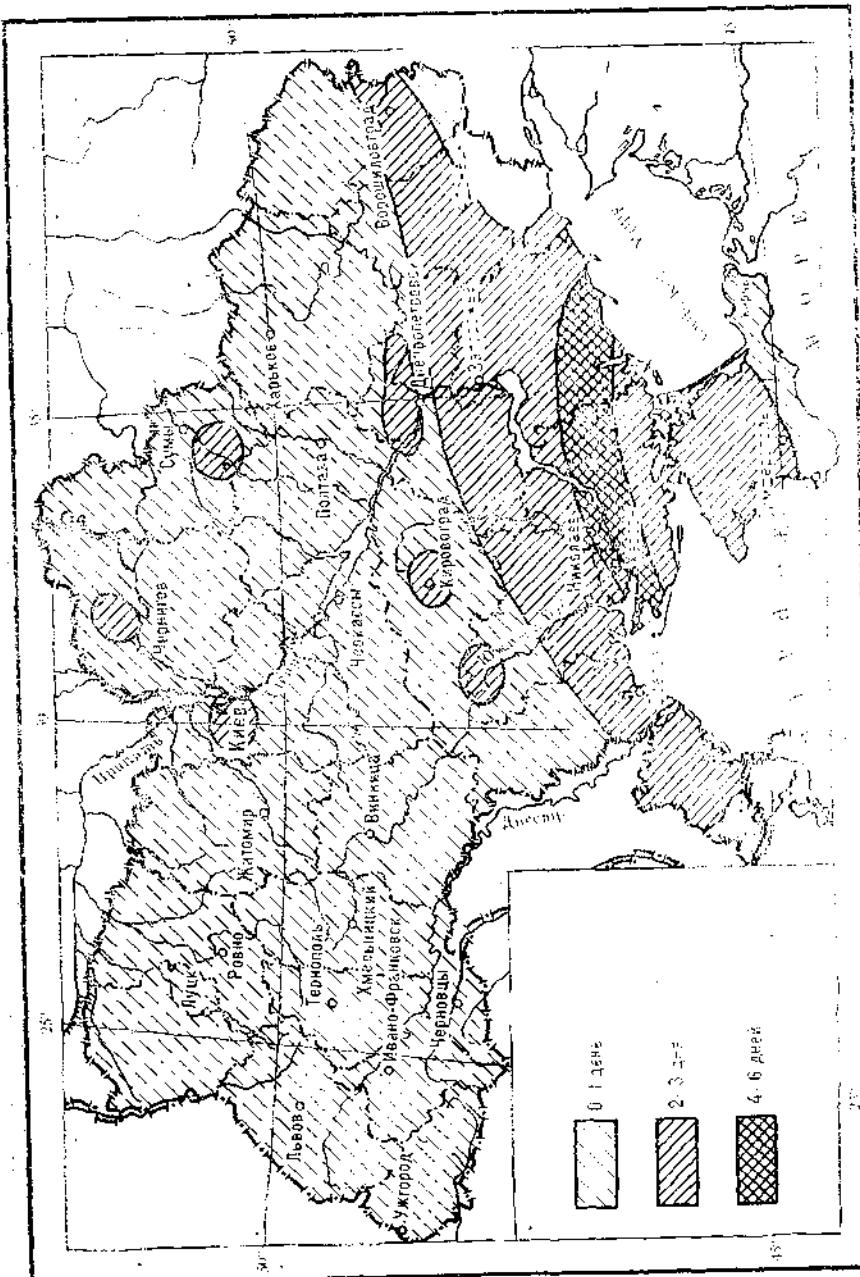


Рис. 15. Чертежи для схематического изображения нефтегазовых месторождений в Краснодарском крае.

ноги — 2—3. В степном Крыму число дней с пыльными бурями значительно возрастает, а затем уменьшается в направлении к горам. На части Приазовской низменности, примыкающей к Донецкому кряжу, пыльные бури весной бывают реже (до одного дня в год).

Характерный показатель интенсивности пыльных бурь — их продолжительность. Очевидно, что длительное воздействие ветра на почву вызывает большее разрушение почвы, чем кратковременное.

Прежде чем перейти к этому вопросу, вернемся к классификации пыльных бурь по месту формирования. Дело в том, что на метеостанции пыльная буря фиксируется по ухудшению видимости из-за появления в атмосфере пыли. Согласно наставлениям гидрометеорологическим станциям и постам, при видимости менее 10 км уже фиксируется пыльная буря. При этом может наблюдаться и слабый ветер. Вполне возможно, что наблюдатель имеет дело с транзитной пыльной бурей, которая ухудшила видимость до предела, предусмотренного наставлениями. Это обстоятельство мы и будем учитывать при изложении данных о продолжительности пыльных бурь.

На картосхеме (рис. 16) показана годовая продолжительность средних и сильных пыльных бурь на территории Украины при ветрах выше 10 м/с.

Скорость ветра выше 10 м/с является критической для большинства почв степной зоны, поэтому картосхема характеризует продолжительность пыльных бурь, сформировавшихся на местной территории. Продолжительность пыльных бурь разной интенсивности составляет от 0 до 87,3 ч, а средней и сильной — от 0 до 39,9 ч.

Северная граница средних и сильных пыльных бурь продолжительностью выше 3 ч лежит на линии Деркул — Артемовск — Чаплино — Павлоград — Верхнеднепровск — Вознесенск — Раздельная. На песчаных почвах Полесья, в долинах Днепра и его левых притоков в лесостепи встречаются районы со средними и сильными пыльными бурями продолжительностью 3—7,6 ч. В центральной степи в подзоне обыкновенных малогумусных черноземов продолжительность таких бурь составляет 6—9 ч.

Мы показали, что эродируемость обыкновенных черноземов выше, чем южных. Вероятно, этот фактор является причиной некоторого уменьшения продолжительности пыльных бурь в северной части подзоны южных черноземов. В центральной части южной степи, включая пески и песчаные почвы Нижнеднепровья, а также супесчаные почвы, продолжительность пыльных бурь наибольшая. В Гопри она достигает 40 ч.

Высока продолжительность пыльных бурь на карбонатных черноземах в районе Ворошиловграда; на территории Донбасса, Приазовской возвышенности она составляет 3—5 ч. В засушливой степи продолжительность пыльных бурь возрастает до 9 ч, а в се-

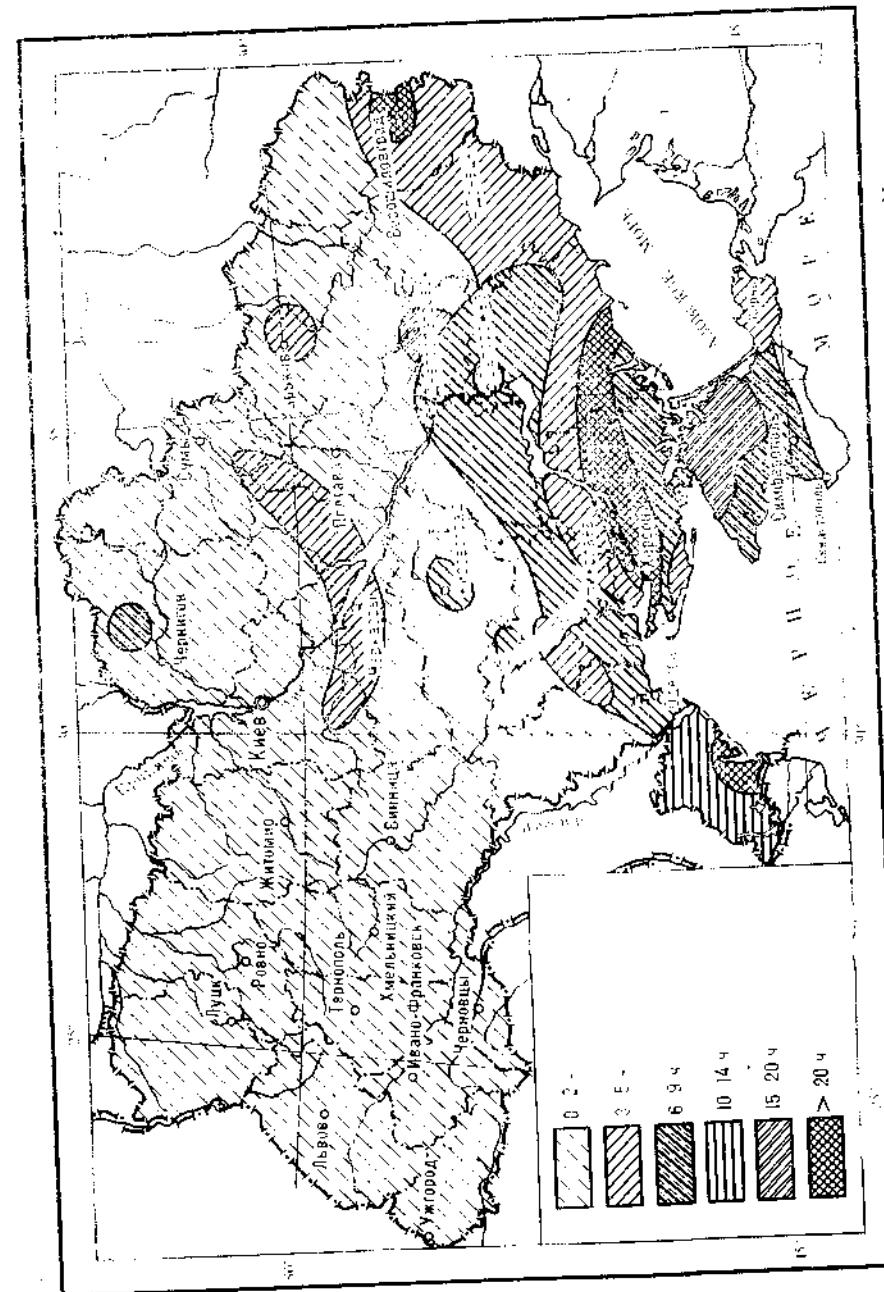


Рис. 16. Продолжительность средних и сильных пыльных бурь (в среднем за год) на Украине

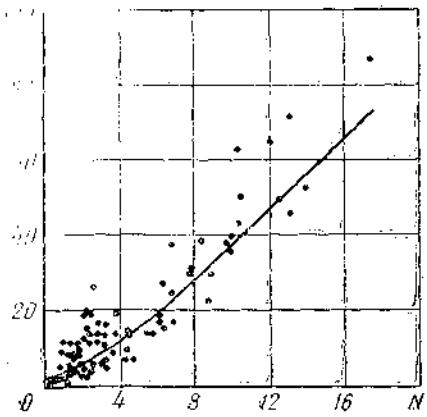


Рис. 17. Зависимость между числом дней с пыльными бурями ( $N$ ) и их продолжительностью в часах ( $t_n$ ).

ляционные отношения между ними ( $0.78-1.00$ ).

Графически эта связь показана на рисунке 17, а уравнение имеет следующий вид:

$$t_n = 2,4 \sqrt{N}, \quad (20)$$

где  $t_n$  — продолжительность, ч;  $N$  — число дней с пыльной бурей.

Уравнение можно использовать для расчета продолжительности пыльной бури в районе по числу дней с пыльной бурей.

Пыльные бури на Украине вызываются и сопровождаются ветрами различных скоростей. Но максимальные скорости ветра во время пыльных бурь меньше, чем вообще максимальная скорость ветра, отмечаемая метеостанциями на территории республики (табл. 21).

Таблица 21. Повторяемость максимальных скоростей ветра во время пыльных бурь, %

Зона	При скорости ветра, м/с								
	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28
Полесье	13,0	24,0	25,0	14,0	11,0	8,0	5,0	—	—
Лесостепь	15,3	26,2	21,7	14,8	8,8	9,5	3,5	0,2	—
Северная и центральная степь	8,4	14,6	21,0	12,3	16,8	13,9	10,2	2,4	0,4
Южная степь	6,0	14,5	20,0	14,0	17,0	17,0	9,0	2,0	0,5

Анализируя данные таблицы 21 и учитывая критические скорости ветра для начала эрозии, можно заключить, что 40-60% ветров характеризуются небольшой скоростью (менее 10 м/с) и вызы-

верной части степного Крыма — до 20 ч. В подзоне южных черноземов Крымского полуострова продолжительность пыльных бурь достигает 9 ч, а в юго-западной части Одесской области на черноземах обыкновенных продолжительность средних и сильных пыльных бурь 10-14 ч.

Как видно из картосхем (см. рис. 12 и 15), районам с большим числом дней с пыльными бурями соответствует и большая продолжительность бурь. Изучение связи между числом дней с пыльными бурями и их продолжительностью в часах выявило высокие коррек-

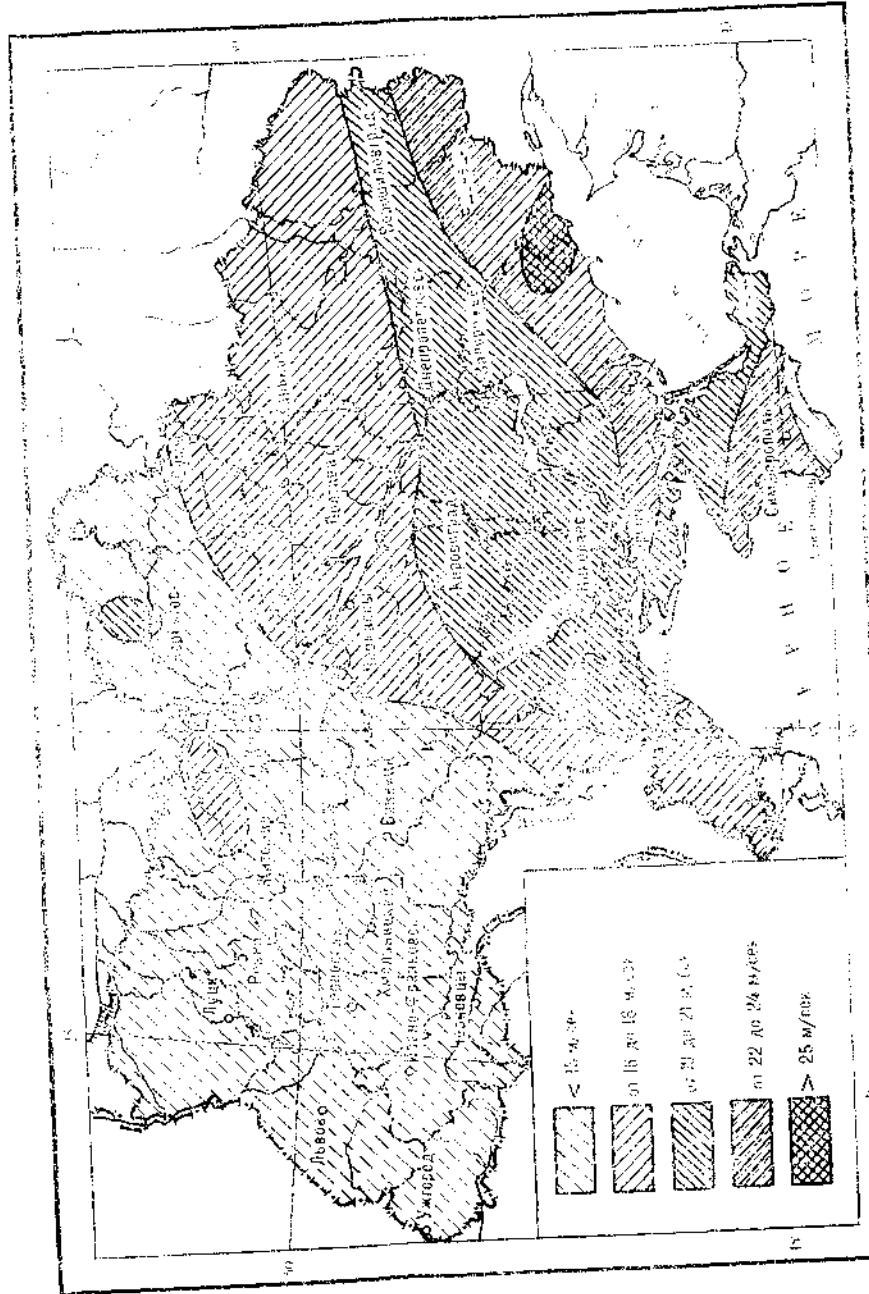


Рис. 18. Максимальные скорости ветра во время пыльных бурь обсчетных юго-западных районов в пять лет.

и полупустынной перенос пыли в воздухе. Чаще же пыльные бури вызываются ветрами скоростью 11—16 м/с. В степи повторяемость таких ветров во время пыльных бурь по сравнению с Полесьем и лесостепью возрастает. Скорости ветра порядка 23—28 м/с бывают очень редко во время пыльных бурь, но они вызывают очень интенсивные пыльные бури, охватывающие большую территорию и приносящие громадный ущерб народному хозяйству.

Интенсивные пыльные бури на больших площадях возникают на Украине один раз в 4—5 лет. Поэтому эффективность почвозащитных агромелиоративных и особенно лесомелиоративных мероприятий необходимо рассчитывать на эту повторяемость. Мероприятия, рассчитанные на меньшую повторяемость, будут дорогостоящими, на большую — малоэффективными при интенсивных пыльных бурях. Поскольку интенсивность пыльных бурь тесно связана со скоростью ветра, рассмотрим распределение максимальных скоростей ветра во время пыльных бурь с повторяемостью один раз в 5 лет (рис. 18).

С севера на юг максимальные скорости ветра указанной повторяемости возрастают. В Полесье и части лесостепи скорость ветра во время пыльных бурь не превышает 15 м/с. Почти на всей территории лесостепи скорость ветра составляет 16—18 м/с, в центральной и северной степи — 19—21 м/с. В южной степи, южнее линии Деркул — Артемовск — Красноармейск — Пришиб — Нижние Серогозы — Херсон, скорость ветра наибольшая (22—24 м/с), местами она достигает 27 м/с (район Жданов — Кривой Рог). Скорость ветра 22—24 м/с бывает один раз в 5 лет на юго-западе Одесской области и в центральной части степного Крыма; в Присивашье скорость ветра составляет 19—21 м/с.

Говоря о максимальных скоростях ветра во время пыльных бурь, следует подчеркнуть, что ветер носит порывистый характер, поэтому в тот или иной момент времени мгновенная скорость ветра может быть выше или ниже, чем она регистрируется на метеостанции; абсолютная величина порывов связана со средней скоростью ветра.

Коэффициент порывистости с увеличением скорости ветра с 5 до 50 м/с уменьшается с 1,43 до 1,18 (И. Д. Андреев, 1963).

По данным Дэвиса и Ньюштейна (F. K. Devis, H. Newstein, 1968), отклонение максимальной скорости от средней за 10 мин, при 10 м/с возросло в 1,71—1,08 раза, а при 50 м/с — в 1,67—0,82 раза; по Станеву (1968), превышения 1,15—1,20.

М. П. Долгушин (1968) выражает связь между абсолютной величиной порыва ветра и его средней скоростью в виде линейного уравнения, причем превышение величины порыва над средней скоростью с увеличением ветра уменьшается.

Лоренц (H. Lorenz, 1968) указывает, что превышение порывов над средней скоростью составляет 5—10 м/с.

Важно подчеркнуть и то, что с увеличением скорости ветра возрастает число порывов в единицу времени. При скорости ветра

12 м/с на метеостанции Одессы число порывов достигало 70 в минуту (В. С. Большаков, 1955).

Исследования порывистости ветра проведены нами на Алтайской агромелиоративной опытной станции в мае 1968 г. в ранние утренние и вечерние часы при скоростях ветра на высоте флюгера 7,4—15,8 м/с, который вызвал пыльную бурю. Отчеты скоростей ветра проводились прибором М-49 через каждые 10 с. Средние скорости находились за 12—15 мин при условии близких скоростей ветра в пределах данного интервала времени. Всего сделано выше 1000 измерений. Найденная зависимость между средней скоростью ветра ( $v$ ) и максимальными положительными пульсациями скоростей ( $v'_{\max}$ ), характеризуемая уравнением:

$$v'_{\max} = 10,6 - 6,16 \log v, \quad (21)$$

графически представлена на рисунке 19.

С увеличением средней скорости ветра максимальные плюсовые пульсации скоростей ветра несколько снижаются; в указанном пределе они не выходят за величины 2,5—6 м/с. Несмотря на большой разброс точек, корреляционные отношения, характеризующие эту связь, достаточно высокие ( $r_{xy} = 0,662$ ,  $r_{yx} = 0,495$ ) и достоверные.

ибо  $\frac{n}{m_{xy}} = 3$ .

Важно то, что при высоких средних скоростях ветра наблюдаются порывы, превышающие среднюю скорость на 3—6 м/с. В связи с этим средние скорости ветра ниже критических могут вызывать кратковременный перенос почвы; при сильных ветрах отдельные порывы еще больше усиливают ветровую эрозию.

Таким образом, в пределах Украины своеобразие климатических условий существенно определяет и развитие процессов ветровой эрозии в том или ином районе. На территории со сходными режимами ветра и увлажнения разная интенсивность ветровой эрозии определяется характером почвенного покрова и степенью его защищенности от ветра (наличие лесных полос, сельскохозяйственных растений и состояния, распаханности территории и т. д.).

В комплексе факторов, вызывающих сильную ветровую эрозию, важно выделить ведущие, которые должны определять основные почвозащитные мероприятия.

С помощью метода множественных регрессий мы попытались найти ведущие факторы ветровой эрозии на примере сильных пыльных бурь в 1960 г. С этой целью был соб-

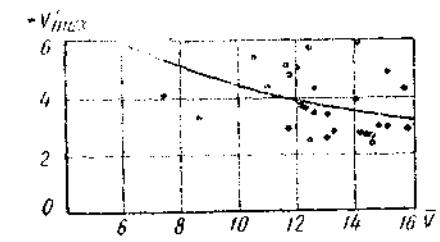


Рис. 19. Влияние средней скорости ветра ( $v$ ) на максимальные плюсовые пульсации скорости ( $v'_{\max}$ , м/с).

рии материала, характеризующий запасы влаги в пахотном слое почвы, среднюю скорость ветра во время пыльных бурь, число дней с сильным ветром и процент посевов, погибших от пыльных бурь. По этим данным построены картосхемы и выделены районы с различными сочетаниями факторов ветровой эрозии.

В условиях одинакового почвенного покрова наибольшее влияние на эрозионные процессы оказали скорость ветра и продолжительность его воздействия на почву. Об этом свидетельствуют уравнения множественных регрессий, составленные нами на основании собранных статистических данных.

Для всех почв уравнение имеет вид:

$$Y = 3,0 - 0,463X_1 + 1,507X_2 + 1,586X_3, \quad (22)$$

для черноземов южных:

$$Y = 32,6 - 1,951X_1 + 0,73X_2 + 4,421X_3, \quad (23)$$

где  $Y$  — площадь погибших озимых культур во время пыльных бурь 1960 г., %;  $X_1$  — запасы влаги в слое почвы 0—20 см к 8 апреля 1960 г., мм;  $X_2$  — средняя скорость ветра за первую декаду апреля 1960 г., м/с;  $X_3$  — число дней с сильным ветром за март—апрель 1960 г.

Сравнение стандартных коэффициентов частной регрессии в (22) показало, что:

$$B_Y^1 1,23 = -0,14; B_Y^1 2,13 = 0,19; B_Y^1 3,12 = 0,29, \text{ а } b \quad (23):$$

$$B_Y^1 1,23 = -0,48; B_Y^1 2,13 = 0,09; B_Y^1 3,12 = 0,57.$$

Характерно также, что наибольшая повторяемость сильных ветров наблюдалась там, где была наиболее высокая средняя их скорость.

**Районирование ветровой эрозии** на территории Украины практически не проводилось. В последние годы была сделана попытка выделить районы с различной степенью подверженности ветровой эрозии. И. Е. Бучинский выделяет шесть районов по степени подверженности территории пыльным бурям или по числу дней с пыльными бурями, сходных с суховейными районами. Однако один показатель — число дней с пыльными бурями — недостаточен, ибо он не отражает подверженность территории ветровой эрозии. Это признает и автор и называет такое районирование предварительным.

Как было показано выше, в общее число дней с пыльными бурями включается и число дней с транзитными бурями, не имеющими отношения к эрозии на данной территории. Кроме того, в районировании И. Е. Бучинского нет показателей интенсивности пыльных бурь, скорости ветра и некоторых других.

Н. К. Шикула (1968) на территории Донбасса предложил выделить шесть дефляционных районов.

Районирование ветровой эрозии должно быть выполнено на основе детального анализа факторов ветровой эрозии, характерных показателей ее проявления, современного состояния почвенного покрова и показателей податливости почв ветру. Из этого анализа следует, что ведущими факторами ветровой эрозии являются скорость ветра и его продолжительность, запасы влаги в пахотном слое почвы в весенний период, эродируемость почв и критические скорости ветра. Характерными показателями интенсивности ветровой эрозии являются число дней с пыльными бурями и их продолжительность при скорости выше критической. Тот или иной район ветровой эрозии должен быть характеризован количественным показателем ежегодных потерь почвы вследствие эрозии, необходимым для решения вопросов, связанных с видами мероприятий.

На этой основе нами выполнено районирование ветровой эрозии на территории Украины в масштабе 1 : 1 500 000 (рис. 29). Этим районированием по существу охвачена территория степной зоны, ибо к северу от нее ветровая эрозия незначительна, за исключением районов отложений флювиогляциальных и речных песков, а также легких почв, развитых на них. Такие районы встречаются повсеместно в лесостепи и Полесье.

Нами выделено восемь районов и три подрайона ветровой эрозии (рис. 20). Их характеристика приводится в таблице 22.

**Фриморско-Приениважекий** район представлен почвами, очень устойчивыми к ветру. Для начала ветровой эрозии нужна довольно высокая скорость ветра (до 13,8 м/с). Эродируемость этих почв практически незначительна (ниже 0,3 т/га в час). Несмотря на частые и продолжительные пыльные бури, которые возникают при ветрах относительно невысокой (по сравнению с другими районами) скорости, общие ежегодные потери почвы не превышают допустимый предел. Во время пыльных бурь в этом районе опасность представляет засекание сельскохозяйственных растений золовым материалом. Агротехнические мероприятия здесь должны носить профилактический характер.

Основное назначение лесных полос — улучшить микроклимат полей.

**Южный** район ветровой эрозии представлен также устойчивыми к ветровой эрозии почвами, но частота пыльных бурь выше и они более длительные, а эрозионные ветры сильнее. В связи с этим ежегодные потери почвы от ветровой эрозии здесь составляют 2—6 т/га, что свидетельствует о необходимости проведения комплекса агротехнических и лесомелиоративных мероприятий.

В этом же районе в пределах нижнеднепровских песков нами выделен Нижнеднепровский подрайон. Для него характерны очень продолжительные и частые пыльные бури, легкая податливость почв ветру, значительные потери почвы от ветровой эрозии; здесь необходимы не только мероприятия по защите почв от эрозии, но и комплексное освоение песков.

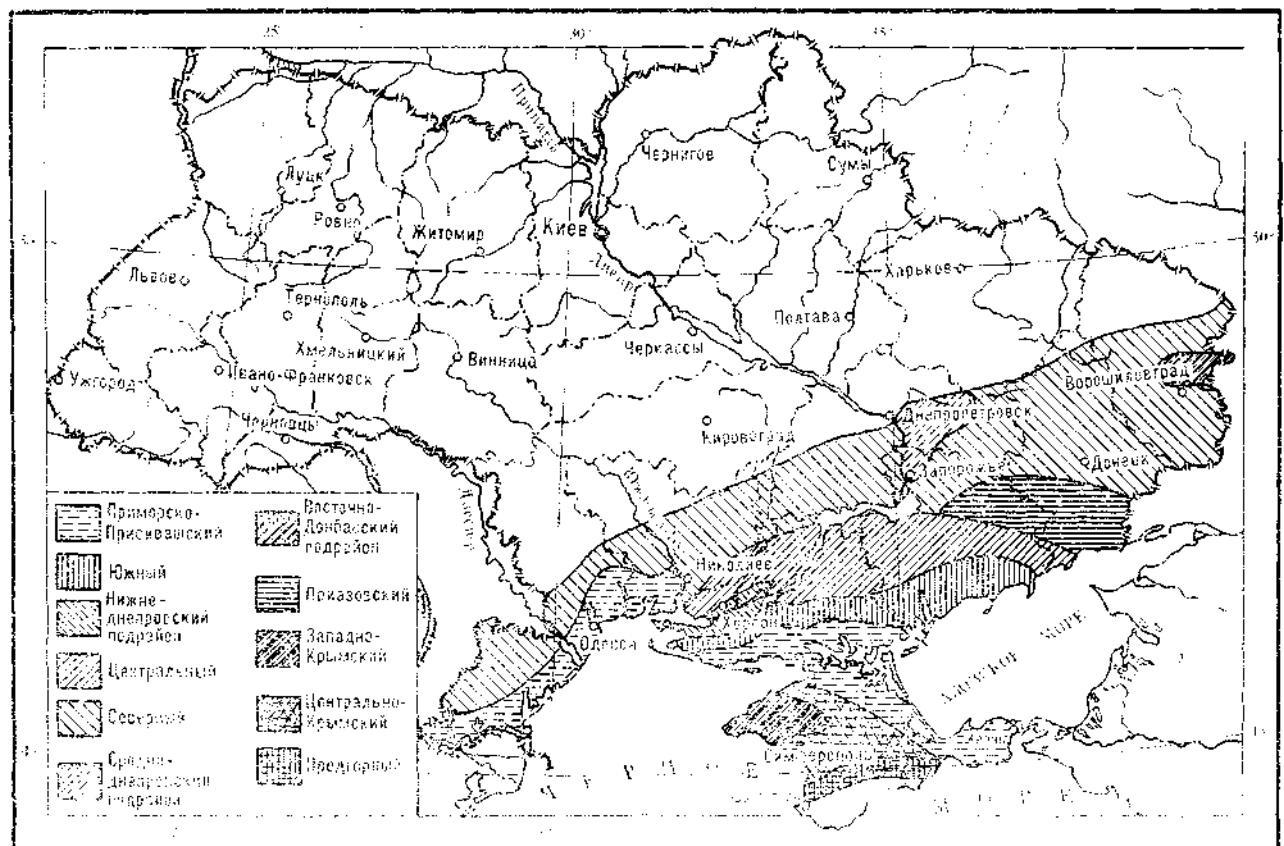


Рис. 20. Районы ветровой эрозии почв.

Таблица 22. Характеристика районов ветровой эрозии

Район (или подрайон)	Почвы	Климатический режим ветра, м/с	Фактическое значение в час	Общее количество сильных за год ветров	Эродированность, %	Максимальная скорость ветра во время пыльных бурь один раз в пять лет, м/с	Число дней с пыльными бурами в среднем за год	Годовая продолжительность средних и сильных бурь, ч
Приморско-Приисивашчик	Черноземы южные солонцеватые; темно-каштановые и каштановые солонцеватые; аугово-каштановые солонцеватые и солоняковые в комплексе с солонцами	8,7—13,8	Менее 0,3	Менее 2	Менее 30	16—24	Менее 6	3—20
Южный	Темно-каштановые солонцеватые	13,8	То же	2—6	Менее 10, местами 10—30	22—24	Свыше 12, на юге 3—5	6—9
Нижнеднепровской подрайон	Черново-песчаные и глинисто-песчаные в комплексе со слабоустойчивыми песчаными и черноземными песчаными, глинистыми супесчаными	8,6—9,1	11,8—367	Свыше 140	...	22—24	Свыше 13	Свыше 20
Центральный	Черноземы южные	10,4—11,7	0,3—3,0	6—10	10—30	16—24	Свыше 12, местами 2—3	3—5, местами свыше 20

ки сантиметров на гектар в год. Вопросы защиты почв от эрозии должны решаться в комплексе мероприятий, направленных прежде всего на превращение смыыва почв.

## ПОТЕРИ ПОЧВЫ ОТ ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИИ И ИХ ДОПУСТИМЫЙ ПРЕДЕЛ

Научное обоснование почвозащитных мероприятий должно базироваться не только на характеристике почвенных режимов, уровне плодородия почвы, которые обусловливают эти мероприятия, но и прежде всего на направленности почвообразовательного процесса.

Основной критерий почвозащитного эффекта — интенсивность эрозионного процесса (величина смыва или выдувания почвы за определенный период).

Прежде чем ставить практическую задачу о масштабах уменьшения эрозии, необходимо иметь представление о темпах эрозионного процесса. Материалы, которые собраны нами совместно с М. Е. Бельгибаевым (1970), свидетельствуют о весьма большой вариации данных о смыве и выдувании почвы. Это обстоятельство вызвано различными методическими подходами к определению потерь почвы от эрозии, однако основная причина заключается в сочетании факторов эрозии.

Об интенсивности эрозионных процессов можно судить по следующим данным. Величина годового смыва почвы в том или ином районе страны колеблется от 0,06 до 11,6 т/га (Д. Л. Соколовский, 1959). В США, по данным Столлингса (J. H. Stallings, 1957), потери почвы от смыва ежегодно составляли 4 млрд. т с площади пашни 450 млн. акров, или 22,2 т/га. Ежегодно в США в разряда брововых земель переводилось 500 тыс. акров.

В Центральной Европе за 30 тыс. лет эрозией разрушен верхний метровый слой почвы (потери почвы в год 0,4 т/га). В Южной Европе метровый слой почвы разрушен за 15 тыс. лет, в Азии — за 5 тыс. лет. В районе Аппалачей ежегодно смыывается 1 см почвы, в бассейне Миссисипи — 4,2 см (R. A. Smith, 1965). Средние величины смыва почвы в субтропических районах СССР достигают 2 мм за год (А. М. Бурыкин, 1966).

На прогрессирующий процесс формирования эродированных почв указывают данные А. Mori (1961). Согласно его расчетам, ежегодно на земном шаре сносится эрозией 0,4 мм слоя почвы.

Как мы показали, особенно большие потери почвы проходят во время пыльных бурь, охватывающих значительные территории.

Во время пыльных бурь зимой 1969 г. на Украине выбыло почв на многих полях достигал 5—7 см, реже до 10—12 см (М. М. Михайленко и А. М. Левченко, 1970). Пыль, поднятая ветром, в основном отложилась на территории Украины по 5—6200 г/м<sup>2</sup>. Максимальное количество пыли выпало в зоне интенсивной ветровой эрозии, минимальное — за пределами ее, на крайнем западе республики.

Публики. По этим данным можно подсчитать, какой слой почвы выдуло ветром на пашне, подверженной ветровой эрозии. На территории республики среднее количество выпавшей пыли составляет 660 г/м<sup>2</sup>. С каждого гектара выдуть слой почвы 1 см. Такие потери являются весьма большими.

Экспериментальное изучение эродируемости почв ветром в аэродинамической трубе показало, что при скоростях ветра до 22 м/с эродируемость темно-каштановой солонцеватой глинистой почвы из Аскании-Нова составляет 0,3 т/га в час, чернозема южного карбонатного легкоглинистого из Сакского района Крымской области — 2,5 т/га в час. При средней ежегодной продолжительности пыльных бурь в этих районах — соответственно 17,1 и 15,2 ч, ежегодные потери почв составляют 6 и 37 т/га.

В 1969 г. пыльные бури при скорости ветра свыше 10 м/с в Херсонской и Крымской областях продолжались 90 и 51 ч, потери темно-каштановой легкоглинистой почвы и чернозема южного карбонатного легкоглинистого за это время составили 0,3 и 1,27 см. По расчетам, сделанным на основе данных М. М. Михайленко и А. М. Левченко (1970), потери этих почв соответственно равнялись 0,4 и 1,1 см.

Расчеты А. Г. Доскач и А. А. Труниковского (1963) показали, что со всей территории юга европейской части страны, подверженной пыльным бурям, в 1960 г. был выдуть слой почвы 3—4 см.

За сравнительно небольшой период (10 лет) в Северном Казахстане потери черноземов южных и темно-каштановых супесчаных почв в отдельных районах составили 700 т/га (Р. Джантенсов, М. Е. Бельгибаев и др., 1967).

Приведенные данные свидетельствуют о большой скорости разрушения почвенного покрова в результате эрозионных процессов, которая в ряде районов значительно превышает скорость почвообразовательного процесса, что подтверждается наличием почв, типичных части гумусового горизонта. Потери почв от эрозии не прекращаются и после осуществления противоэрзионных мероприятий, хотя величина этих потерь намного меньше. В связи с этим целесообразен вопрос о допустимом пределе эрозии — величине потерь, которые бы не привели к уменьшению мощности почвы и снижению ее плодородия.

Практическое значение этого вопроса заключается в том, что при оценке эффективности противоэрзионных приемов нет обоснованного критерия допустимых потерь почвы. Часто на той или иной территории осуществляется целый ряд дорогостоящих противоэрзионных мероприятий, с помощью которых предпринимаются попытки совершенно ликвидировать смыв или выдувание почвы. Но, сравнивая несколько противоэрзионных приемов, делают заключение об эффективности некоторых из них лишь на том основании, что они снизили эрозию в несколько раз. Такая относительная оценка не дает ответа на вопрос, будут ли потери почвы от эрозии восстановлены культурным почвообразовательным про-

иерометра произойдет уменьшение мощности почвы и снижение ее плодородия.

Но, под предельно допустимой величиной эрозии почв следует понимать допустимые потери в течение одного года, которые могут быть восстановлены в результате культурного почвообразовательного процесса.

Вопрос о предельно допустимой величине эрозии в нашей стране практически не разрабатывался, было лишь несколько работ (Д. Н. Шиятый, 1965; М. Е. Бельгибаев, М. И. Долгилевич, 1970). Этому вопросу посвящены в основном работы американских исследователей.

Д. Д. Смит и Д. М. Уитт (D. D. Smith and D. M. Whitt, 1948) установили, что в штате Миссури максимально допустимым пределом можно считать ежегодную потерю почвы 5,6 т/га.

На данных Г. Конке и А. Бертрана (1962), предельно допустимые величины эрозии в США составляют 2,25—11,24 т/га в год, что соответствует скорости почвообразования на валунной глине, составляющей около 6,75 т/га в год.

Дж. В. Тьюрелл (J. W. Tittlee, 1964) определил допустимый уровень потерь почвы при ветровой эрозии в районах Великих Равнин до 11,2 т почвы с 1 га в течение года. Он приводит график, разработанный службой охраны почв для суглинистых и глинистых почв Великих Равнин. Расчет производится по данным средних ежегодных потерь при незащищенной открытой поверхности измени с учетом количества пожнивных остатков.

На основе анализа литературных данных Р. М. Смит (R. M. Smith, 1965) считает ежегодные потери почвы 12 т/га допустимым пределом эрозии, а при условии противовоздушных мероприятий 12—14,4 т/га. Примерно на такие же величины указывают Вудрафф и Армбраст (N. P. Woodruff and D. V. Armbrust, 1968).

Как видно из приведенного обзора, предельно допустимая величина эрозии, по данным американских исследователей, не превышает 14,4 т/га в год, причем потери почвы в таком количестве предполагают восстанавливать почвообразовательным процессом.

При решении вопроса о предельно допустимой величине эрозии необходимо учитывать скорость и темпы почвообразовательного процесса (М. Е. Бельгибаев, М. И. Долгилевич, 1970). Зная время, необходимое для образования и развития почвенного профиля, а также среднюю величину прироста почвенного слоя за определенное время (годы), можно определить значение предельно допустимой величины ветровой эрозии. Последняя, очевидно, будет равна среднему годовому приросту гумусовых горизонтов, выраженному в долях сантиметра (или миллиметра), в процессе естественного почвообразования.

В общем виде предельно допустимую величину эрозии почв можно определить по формуле:

$$V_s = \frac{H}{t}, \quad (24)$$

где  $V_s$  — предельно допустимая величина эрозии почв, мм/год;  $t$  — число лет, необходимое для образования почвенного (гумусового) слоя толщиной в  $H$  см.

Мощность почвы легко измерить. Неизвестной остается величина  $t$  — время почвообразования (абсолютный возраст почвы). В связи с этим более подробно остановимся на скорости почвообразовательного процесса.

Необходимо отметить, что вопрос об определении абсолютного возраста почв до сих пор слабо разработан, экспериментальных данных о скорости почвообразования очень мало.

Абсолютный возраст почв интересовал многих исследователей, однако до сего времени в этом вопросе нет единого мнения (П. П. Герасимов, 1968, 1969; В. А. Ковда, 1968, 1969).

Первые работы по этому вопросу принадлежат Ф. Н. Руреху (1866). Он исследовал мощность гумусовых горизонтов почв, образовавшихся в течение 600 лет на Седневских татараках курганах, и сравнил с мощностью гумусового слоя соседних с курганами черноземов. Путем соответствующего расчета он установил, что возраст этих черноземов 2400—4000 лет.

Основоположник русского почвоведения В. В. Докучаев (1949) изучил почвы, образовавшиеся за 760 лет на стенах Стародадской крепости. За это время на спиральной извесянке образовался слой серой почвы мощностью около 15 см. В. В. Докучаев впервые установил, что мощность гумусовых горизонтов увеличивается лишь до определенного периода, после которого становится более или менее постоянной.

Накопление органического вещества в почве при определенных условиях имеет также свой предел (И. В. Тюрин, 1965).

В. В. Докучаевым и П. В. Отоцким был сделан примерный расчет возраста черноземов Полтавской губернии путем сравнения скорости выщелачивания углесолей в почвенном слое и в материнской породе (лессе). Они определили примерный возраст полтавских черноземов в 3585—7170 лет.

Позднее подобный расчет был произведен Е. А. Афанасьевой (1946), которая провела наблюдения над сезонными переменами углесолей и сезонными и суточными изменениями концентрации  $\text{CO}_2$  почвенного воздуха в черноземах Курской области. По ее расчетам, время существования луговой стадии черноземной почвы определяется в 2726, 2024 и 3020 лет (период обогащения почвенного профиля карбонатами кальция).

О попытках определения возраста чернозема под курганами Харьковской губернии говорится в работе П. А. Костычева (1949).

Г. Иенни (1948) пришел к выводу, что через 1000 лет такие отложения, как аллювиальный ил, пыль, отложенная пылью бу-

рой, или вулканический ищел мощностью более 1 м, превращаются в почвы.

По данным М. Е. Бельгибаева (1970), мощность гумусового слоя, образовавшегося в результате почвообразовательного процесса на ветровом павосе темно-каштановой песчаной почвы, за последние 25 лет составила 4 см.

В связи с установлением абсолютного возраста современных почв большой интерес представляют данные о возрасте ископаемых древних почв. С тех пор, как К. Д. Глинка положил начало новому направлению в почвоведении — историческому почвоведению, была сформирована отрасль науки о почвопалеопочвоведении и накоплен большой фактический материал о возрасте ископаемых почв. Для нас представляет интерес возраст почв, образование которых началось в голоцене.

В последние годы широкое применение находят радиоуглеродный метод (по содержанию  $^{14}\text{C}$ ) для изучения хронологии позднего плейстоцена и голоцена. Первые определения абсолютного возраста ископаемых почв в нашей стране были проведены в 1962—1963 гг. (Н. И. Величко, 1964; О. А. Чичагова, 1966); они показали, что абсолютный возраст ископаемых почв из перигляциальной зоны валдайского оледенения (брянский почвенный горизонт) составил  $24\ 020 \pm 1800$  (г. Брянск) и  $24\ 200 \pm 1680$  (с. Мезин) лет.

Абсолютный возраст погребенных почв колеблется от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч лет. Абсолютный возраст выделенных фракций гуминов и гуминовых кислот старше по возрасту и устойчивее по сравнению с фракцией фульвокислот и гумуса в целом (Е. А. Paul, 1964). Эти данные об относительной устойчивости гуминовых кислот и гумилов подтверждают выводы, сделанные И. В. Тюриным и Е. И. Тюриной (1940).

Наибольший интерес представляют результаты радиоуглеродного метода для определения возраста органического вещества современных почв. По данным И. П. Герасимова (1968), возраст органического вещества современных почв сравнительно молодой и насчитывает в среднем несколько столетий, реже тысячи лет. И. П. Герасимов (1969) подчеркивает, что абсолютный возраст современных почв колеблется от нескольких сотен до 1—3 тысяч лет, при котором ежегодный естественный прирост почвенной толщи, ее геологический снос или аккумуляция составляют 1—10 мм.

Однако установить возраст ряда вскрытых погребенных почв иногда трудно, так как неизвестно время, когда почвы были погребены под молодыми отложениями и процесс почвообразования в этих почвах прекратился; поэтому в некоторых определениях возраст почв завышен.

Результаты радиоуглеродного метода по определению абсолютного возраста почв хорошо согласуются с данными возраста почв, полученными сравнительно-географическим методом. В связи с этим интересно привести выводы Н. Н. Соколова (1932), ко-

торый на основании анализа литературных данных по изучению абсолютного возраста почв сравнительно-географическим методом считает, что уже за 50—100 лет заметно формирование почв хотя устойчивая стадия почвообразования начинается значительно позже.

На сравнительно быстрый темп почвообразовательного процесса указывают также Е. А. Афанасьев, А. А. Роде, И. Н. Скрыников (1956).

Почвообразовательный процесс с накоплением гумуса и парашванием почвенного слоя может протекать нормально только в естественной целинной почве (до определенного периода). Почвообразование в культурных почвах (на пашне), очевидно, не всегда может приводить к накоплению перегноя и увеличению мощности гумусового горизонта, так как в них ежегодное отчуждение вещества с урожаем превосходит поступление его в почву с нажнивными остатками и отмирающей корневой системой культурных растений. Поэтому о скорости почвообразовательного процесса можно говорить в основном применительно к целинным (не-распаханным) почвам.

Почвообразовательный процесс не ограничивается формированием только гумусового горизонта почв. В нормально развитой (зрелой) почве за определенный промежуток времени образуются все характерные для данного типа генетические горизонты почвенного профиля (гумусовый, карбонатно-пллювиальные и другие — в степных почвах). Для получения ответа на поставленный выше вопрос (определение скорости почвообразования) мы учитывали одну из главных сторон почвообразовательного процесса — накопление органического вещества (гумуса) в верхних горизонтах почвы. Для расчета скорости почвообразования и, следовательно, предельной допустимой величины эрозии по формуле (24) учитывалась мощность горизонтов A+B.

В таблице 23 приведены обобщенные данные об абсолютном возрасте почв лесостепи и степи и о расчетных скоростях почвообразовательного процесса.

Согласно приведенным данным, возраст черноземов и близких к ним почв 300—25 000 лет, каштановых 250—20 000 лет. Как правило, почвам, имеющим более мощный горизонт A+B, соответствует и больший возраст. Такая зависимость отмечалась и ранее (Г. Конке и А. Бертран, 1962). Максимальный абсолютный возраст соответствует нормально развитым полипрофильным почвам.

Как мы уже отмечали выше, прирост почвенной массы происходит не пропорционально времени почвообразования: с увеличением возраста почвы ежегодный прирост уменьшается. Данные таблицы 23 свидетельствуют о том, что скорость почвообразовательного процесса для черноземов, луговых, перегнойно-карбонатных, лерново-степных, каштановых почв составляет 0,28—0,36 мм в год.

Таблица 23. Абсолютный возраст почв и расчетная скорость почвообразовательного процесса

Исследователи	Тип почв	Абсолютный возраст почв, лет	Мощность гумусовых горизонтов (A+B), см	Слой почвы, обновляющийся за 1 год, мм
<i>Черноземы, луговые, перегнойно-карбонатные, черново-степные</i>				
Унпрехт Ф. Н. (1866)	Чернозем (быв. Чернитовская губерния)	2400—4000	61—152	0,4
Докучаев В. В. (1951)	Чернозем (быв. Полтавская губерния)	4000—7000	160	0,3
Макарцева Е. Л. (1940)	Чернозем (Курская область)	2800—3000	120	0,5
Фатянов А. С. (1959)	Чернозем (Горьковская область)	10000—12000	85—120	0,1
Маркерт И. Я. (1960)	Чернозем (Среднее Поволжье)	3200—3500	30	0,1
	То же	Нет данных	Нет данных	0,5
Морозова Т. Д. (1963)	Чернозем (Бискупская Брянская область)	25000	110	0,1
Гасель А. Г. (1969)	Серые пески (Черноземный зона (Средний Дон))	2000—3000	75	0,3
Гасель А. Г. (1966)	Лесные-степные песчаные (Средний Дон)	300—400	20—25	0,7
Чечагова О. А. (1966)	Чернозем	1000	10	0,1
Ковалев В. А. (1968)	Чернозем (Тамбовская область)	7000	120	0,2
Ковалев В. А. (1968)	Луговая (Тамбовская область)	3500	122	0,1
Вадюнина А. Ф. (1969)	Чернозем	4000—5500	120	0,3
	Среднее	—	—	0,28±0,06
<i>Каштановые</i>				
Акимцов В. В. (1945)	Каштановая и светлокаштановая (Прикаспий)	3500—4000	60*	0,2
Земляницкий Л. Т. (1949)	Темно-каштановая (Нижнее Поволжье)	250—378	11—32	0,7
White E. M. (1967)	Каштановая (Южная Дакота, США)	10000—20000	45	0,03
	Каштановая лимосоль (Южная Дакота, США)	4000	45	0,5
	Среднее	—	—	0,36±0,17

\* Мощность горизонтов A+B указана средняя, по данным других авторов.

Скорость же выветривания и почвообразования на разных стадиях гораздо выше и составляет 0,2—7,6 мм в год (табл. 24).

Таблица 24. Скорость выветривания и почвообразования на разных стадиях

Исследователи	Литогенетический разрез почвы и почвы	Возраст почвы, лет	Мощность выветривания и почвы, см	Скорость, мм/год
Докучаев В. В. 1951	Почвы из спиритических известняках Стародедской крепости	760	15	0,2
Земятченский И. А. 1906	То же	400—500	15	0,3
	Почвы на развалинах западноевропейских замков	500—600	10	0,2
Van Vollenhoven, 1931	Вулканический пепел после извержения вулкана на острове Лонг-Айленд в 1833 г.	95	35	3,7
Hardy F., 1939	Почва на вулканическом пепле (Британская Вест-Индия)	30	15—30	7,6
Konike G., 1962	Насыпь железной дороги близ Афайетта	80	3,7	0,5
	Пустая верхушка открытой угольной выработки в Центенери	25	2,5	1,0
	Ледниковый выброс	25	2,5	1,0
	То же	100	5	0,5
Bazylibas M. E. 1970	Подзолистая почва на песчаных юрах	100	17,5—25	2,1
	Почвы, развитые на ветровом и иллювиальном темно-каштановых почвах (Курганская область)	25	4	1,6

Наибольшая скорость выветривания и почвообразования соответствует длительности этих процессов в 25—100 лет.

Природенные материалы о скорости почвообразовательного процесса примерно указывают на предельно допустимые величины эрозии черноземов 0,28 мм/год, каштановых почв — 0,36 мм/год.

Указанные величины имеют значение не только для оценки ветровой почвы во время эрозии. Как известно, при ветровой эрозии происходит механическое повреждение сельскохозяйственных растений. Анализ имеющихся опытных данных свидетельствует о том, что выдувание слоя почвы 0,6—0,1 мм и более вызывает повреждение растений и резко снижает урожайность.

С точки зрения восстановления почв, разрушенных эрозией, весьма важно знать, какой перцод необходим для того, чтобы в результате культурного почвообразовательного процесса почва реставрировалась. Первая сторона вопроса касается восстановления мощности почв. Исследования, проведенные П. В. Мадановым и сотрудниками (1966, 1968), показали, что за небольшой период

почвообразовательного процесса (300–400 лет) не произошло вполне возможных морфологических изменений в нормально развитых почвах лесостепной и сухостепной зон. Данные этих исследований согласуются с представлением о замедленном темпе почвообразования современных почв, имеющих большой абсолютный возраст.

Что же касается восстановления утраченной в процессе эрозии части плодородия почвы, то следует считать вполне возможным обогатить верхний пахотный горизонт почвы гумусом, азотом, фосфором и другими элементами питания растений с помощью агромелиоративных приемов и удобрений. По этому вопросу имеется большая литература (М. И. Конопова, 1963; Н. К. Шикула, 1963; А. М. Бурыкин, 1966; А. С. Скородумов, 1970; А. И. Ляхов, 1975).

Предельно допустимую величину эрозии почв можно определить как норму эрозии для определенной почвенно-климатической зоны. Учитывая, что культурный почвообразовательный процесс протекает гораздо медленнее, чем естественный, предельно допустимая величина эрозии должна быть уменьшена на  $\frac{1}{3}$ .

Исходя из этого, приемлемые допустимые пределы ветровой эрозии: 3 т/га в год для черноземов типичных, 2,5 для черноземов обыкновенных и южных, 2 т/га в год для темно-каштановых почв.

Приведенные цифры предельно допустимой величины эрозии почв нельзя рассматривать как абсолютные. Они указывают лишь на примерную величину допустимого (безвредного) сноса почв в течение одного года. Эти величины необходимо уточнять конкретно для каждой зоны, типа и рода почв и их разновидностей.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ, ЭРОДИРУЕМЫХ ВЕТРОМ

Классификация эродированных почв имеет значение не только в исследовательских целях, но и при проектировании мероприятий, направленных на повышение плодородия эродированных почв и их защиту от разрушения эрозионными процессами.

В основе существующих в настоящее время классификаций эродированных почв степень эродированности этих почв, их положение на элементах рельефа, крутизна поверхности земли, генетические особенности почв (тип почвы). По существу данные классификации имеют дело с почвами уже эродированными и в первую очередь в той или иной степени смытыми в течение неопределенного периода. Эти классификации затрагивают преимущественно почвы склонов различной крутизны, поскольку эродирующая способность определенной массы воды в первую очередь зависит от крутизны склона и его длины.

Классификация почв по степени эродированности в известной степени вполне обоснована, ибо эродированные почвы обладают степенью влагоудерживающей способности, зависящей от потери почвой мелко-неодинаковым плодородием, зависящим от потери почвой питательных веществ, от ухудшения водно-физических

свойств почв и ряда других изменений. В зависимости от этого горячий эродированных почв изменяется и урожайность сельскохозяйственных растений. Кроме того, эродированные почвы, особенно смытые, довольно легко обнаруживаться в природе.

Однако возможность выделения в природе смытых (эролированных) почв еще не свидетельствует об отсутствии эрозионных процессов на этих почвах.

Вполне очевидно, что обнаружить изменения, произошедшие в почве под влиянием многолетней эрозии, легче, чем под влиянием сезонной, но вред, причиняемый последней, довольно значителен. Имеющиеся по этому вопросу данные свидетельствуют о снижении урожая сельскохозяйственных культур в результате смыыва и размыва почв в течение вегетационного периода. Величина размыва почв при прочих равных условиях зависит от устойчивости почв к смыву и размыву. Отсюда следует, что и урожай растений тесно связан со свойствами почв, определяющих их устойчивость к эрозии. Вместе с тем свойства почв, определяющие их противоэрозионную устойчивость, не учтены при разработке классификации смытых почв.

Как показывают данные таблицы 25, повреждение посевов сельскохозяйственных культур в результате сезонной водной эрозии невелико по сравнению с ветровой эрозией. К этому же следует добавить, что гибель посевов, отмеченных как результат водной эрозии, вызвана еще и градобитием, поэтому площадь погибших в результате смыва ливневыми водами посевов несколько меньше.

О влиянии сезонной водной и ветровой эрозии почв на сельскохозяйственные растения имеются результаты специальных исследований. Они свидетельствуют о том, что промоины как результат

Таблица 25. Площадь погибших посевов сельскохозяйственных культур в результате сезонной водной и ветровой эрозии почв

Область	Причина гибели посевов	Период учета	Площадь погибших посевов	
			га	%
Ворошиловградская*	Ливни Пыльные бури	1950—1957 гг.	28 350 48 221	59 100
Донецкая*	Ливни Пыльные бури	1950—1956 гг.	41 672 163 800	23 100
Крымская	Ливни Пыльные бури	1950—1956 гг.	52 666 87 608	60 100

\* По данным Н. К. Шикула, 1960.

сезонной эрозии не занимают всю площадь пашни, и поэтому водные потоки не смывают растения равномерно на всей площади пашни. Сравнение величин урожая сельскохозяйственных культур в промоинах и вне их показывает, что результаты сезонной водной эрозии не приводят к такому резкому снижению урожайности, как многолетней водной эрозии: урожайность сельскохозяйственных культур в результате сезонной водной эрозии почвы была на 26—34% меньше, а в результате многолетней водной — на 47—87% (табл. 26).

Таблица 26. Влияние эрозионных промоин, образовавшихся после посева и всходов культур (сезонная эрозия), на урожайность сельскохозяйственных культур (по Г. А. Пресняковой, 1946)

Экспозиция склона, почва	Культура	Крутизна склона, град.	Степень смытости почв	Площадь земель эрозионными промоинами, %		Средний урожай зерна, кг/га	Средняя глубина эрозионных промоин, см	Урожайность зерна, ц/га	
				на эрозионных промоинах	на почве в целом			между эрозионными промоинами	
Западный, чернозем сильновышелоченный супесчанистый на делювии	Рожь	0,5	Несмытая	0	0,5	—	18,7	—	—
		5,5	I	52	87	1,8	8,8	7,5	10,2
		13	II	71	148	2,2	2,4	1,3	3,8
Восточный, чернозем сильновышелоченный на делювии	Яровая пшеница	1	Несмытая	0	0,5	—	14,4	—	—
		4	I	60	42	1,4	7,5	5,3	10,8
Восточный, чернозем средневышелоченный на делювии	Гречиха	8	II	64	60	1,5	5,8	4,7	7,8
		2	Несмытая	0	0,5	—	11,0	—	—
		6,5	I	62	63	1,0	1,8	1,6	2,7
		9	II	74	93	1,3	1,6	1,2	2,1

Многочисленные работы о последствиях многолетней водной эрозии свидетельствуют об общей закономерности: с увеличением степени смытости почв урожайность культур уменьшается.

Как показано ранее, в результате сезонной ветровой эрозии почв при значительной ее интенсивности урожай сельскохозяйственных культур почти полностью погибает. Отметим еще раз, что снижение урожайности от сезонной ветровой эрозии более значительно, чем от сезонной водной. Нами отмечено, что на полях, которые в прошлом подвергались ветровой эрозии, урожайность довольно высокая и целиком зависит от уровня агротехники.

Таким образом, влияние водной и ветровой эрозии почв на урожай сельскохозяйственных культур различно. Если на почвах, подверженных смыву, снижение урожайности зависит исключительно от степени смытости почвы, то на подвергаемых ветровой эрозии — от степени интенсивности сезонной ветровой эрозии, о

которой с известной точностью можно судить по глубине выдувания почвы.

Вместе с тем почвы на равнинной территории, подвергаемой ветровой эрозии, не всегда имеют явные признаки эродированности. Во всяком случае, эти почвы можно отнести, с известной оговоркой, к почвам слабоэродированным, но не к средне- и тем более к сильноэродированным (например, почвы степного Крыма, Приазовской низменности). Ежегодные потери черноземов южных в Херсонской области составляют в среднем 0,8 мм. Учитывая прирост почвенной толщи, равный 0,2 мм в год, мощность почвы должна ежегодно уменьшаться на 0,6 мм. За 200 лет интенсивного земледелия перегнойно-аккумулятивный горизонт уменьшится на 12 см, т. е. почва станет слабоэродированной. Однако относить эти почвы к неэрородированным или слабоэродированным нельзя, так как на них идут интенсивные эрозионные процессы. Урожайность сельскохозяйственных растений на этих почвах определяется не тем, что почвы разрушены эрозией, а тем, что они подвергаются ветровой эрозии, и как только она возникает, урожайность засаженных растений резко снижается.

Таким образом, при классификации почв, эродируемых ветром, основное внимание должно быть сосредоточено на податливости почв ветру, определяющей интенсивность эрозионных процессов в конкретных условиях ветрового режима.

Все приведенные выше положения свидетельствуют о том, что для почв, подверженных ветровой эрозии, признаки податливости почв ветру играют более существенную роль, чем признаки их эродированности.

Имеется несколько классификаций почв, разрушаемых ветровой эрозией.

Х. Х. Беннетт (Н. И. Веннет, 1955) приводит классификацию, основанную на потери части или целого пахотного (или подпахотного) слоя в результате сезонной ветровой эрозии. Иначе говоря, последующая обработка почвы формирует новый пахотный слой, и почва теряет признаки эродированности. Это один недостаток классификации Х. Х. Беннетта. Другой заключается в том, что нет четкости в определении понятия «подпахотный слой почвы».

Классификация Х. Х. Беннетта не учитывает то, что в процессе эрозии почвы постепенно теряют какую-то часть генетических горизонтов. В классификации нет элементов, характеризующих податливость почв эрозии. Положительной стороной классификации является то, что автор строго ограничивает зоны эрозии и аккумуляции.

М. А. Кочкин (1958) различает две основные зоны: 1) зону выдувания, охватывающую почвы ветроударных склонов, повышенных элементов рельефа, а также открытых мест; почвы этой зоны характеризуются большей или меньшей степенью эродированности или имеют слабо выраженные внешние признаки ее; 2) зону аккумуляции продуктов эрозии, объединяющую почвы понижен-

ных элементов рельефа за ветроударными склонами, заветренной стороной около лесополос; почвы характеризуются грубым аккумулятивно-перегнойным горизонтом с рыхлым строением и мелкокоринистой структурой; верхние горизонты представляют пыльные почвы зоны выдувания; плодородные почвы этой зоны генетически связаны с плодородием почв зоны выдувания.

На связь двух основных зон — эрозии и аккумуляции — указывает то обстоятельство, что поднятые ветром почвенные частицы в зависимости от силы ветра, его турбулентности и размера частиц могут уноситься на большие расстояния. Многочисленные исследования и наблюдения показывают, что область выпадения пыли может простираться до 4000 км от места формирования пыльных бурь.

Формирование золовых отложений в зоне аккумуляции продуктов ветровой эрозии существенно влияет не только на плодородие погребенных почв, но и на образование новых почв, требующих особых агромелиоративных приемов при их сельскохозяйственном использовании.

Рассмотрим формы золовых образований в зоне аккумуляции. Они определяются аэродинамическими свойствами различного рода препятствий на пути ветрового потока (лесополосы, щиты, заборы, сельскохозяйственные растения и т. п.), строительными формами рельефа и скоростью ветра.

Впервые вопросы аккумуляции пыли у препятствий на разных формах рельефа освещены Г. И. Высоцким (1884). Согласно его исследованиям, отложение пыли происходит на заветренных склонах, у одиночных растений, лесополос, заборов. Им показано образование золовых отложений на некотором расстоянии от препятствия, где в результате завихрения выносится часть мелкозема, а также у самого препятствия, когда сильным ветром переносятся настолько крупные частицы, что они не в состоянии выдуваться от препятствия образовавшимся завихрениями.

У одиночных растений с заветренной стороны во время пыльных бурь образуются золовые отложения, имеющие вид конуса.

На полях, где происходит отложение продуктов эрозии, формирование золовых отложений незначительно изменяет микрорельеф, который ликвидируется при последующей обработке почвы.

Однако при постоянном отложении продуктов ветровой эрозии на насыщенных землях, целинных участках, т. е. из площадях со значительной щерховатостью, формируется своеобразный микрорельеф, имеющий вид волнообразной поверхности.

Наиболее мощные отложения мелкозема образуются в лесополосах и около них во время пыльных бурь. Различная аккумулирующая способность лесополос зависит от аэродинамических свойств насаждений.

Рельеф оказывает заметное влияние на характер отложения продуктов ветровой эрозии. В зоне аккумуляции их, в пониже-

ниях, идет процесс инвертировки рельефа. Наша наблюдения показывают, что небольшие (до 1 м глубины) понижения во время интенсивных пыльных бурь могут быть полностью запечены.

Продукты ветровой эрозии в определенных условиях могут складываться на заветренных склонах самой различной крутизны. К. Л. Ходуняк и Г. И. Чони (1960) пишут, что на заветренном склоне крутизной 45—50° отложился после пыльной бури слой мелкозема мощностью более 50 см.

Выяснение характера и мощности золовых образований имеет значение не только для познания аккумулятивных процессов, происходящих на земной поверхности, но и для проектирования мероприятий по предупреждению ветровой эрозии почв.

В зоне ветровой эрозии при селективном характере выдувания на поверхности почвы формируется ветровой элювий, представляющий собой крупные механические частицы почвы, не переносимые ветром.

Для массового вида выдувания характерно образование различных форм останцев.

Нужно подчеркнуть, что в пределах определенной территории наблюдается частая смена зон эрозии и аккумуляции. Эта частота смен двух зон зависит от порывистости ветра, щерховатости почвенной поверхности, наличия крупных препятствий и рельефа.

Вернемся к рассмотрению существующих классификаций почв, эродируемых ветром.

С. И. Тайчинов (1957) рекомендует схему рациональной классификации черноземов, основанную на степени эродированности почв:

1) слабоэродированные — выдукт слой почвы 3—5 см, выдуванiem охвачена  $\frac{1}{3}$  площади, выдуктая масса мелкозема на пониженных местах залегает равномерно мощностью 3—10 см;

2) среднеэродированные — половина пахотного слоя выдукт на 10—12 см, на периферийных участках мелкозем накапливается в виде бугристых золовых наносов мощностью 10—15 см;

3) сильноэродированные — выдукт почва весь пахотный слой, выступает подпахотный горизонт, у естественных препятствий наносы достигают мощности 15—20 см; золовые наносы накапливаются в виде дюн.

В приведенной классификации характеризуется зона выдувания, и аккумуляции, что является положительной ее стороной. Вместе с тем не указывается, что собой представляет зона аккумуляции. Кроме того, потерю почвой слоя 3—5 см при золовых исследованиях установить практически невозможно. Классификация характеризует интенсивность сезонной ветровой эрозии.

А. Е. Дьяченко (1958), А. Е. Дьяченко и П. Т. Макарычев (1959) предложили классификацию почв и земельных участков Северного Казахстана по степени подверженности их дефляции (ветровой эрозии). В основе классификации механический состав почв и карбонатность.

Парти с генетическими свойствами почв, позволяющими классифицировать их по степени ветровой эрозии, А. Е. Дьяченко и Н. Г. Макарычев придают значение и характеру использования в размещения участков, главным образом по отношению к ветроустойчивым склонам. При этом почвы ветроударных склонов классифицируются как более податливые эрозии.

Положительной стороной данной классификации является то, что она основана на степени податливости почв ветру, однако некоторая категоричность указанных степеней податливости эрозии, в частности для глинистых почв, солонцов, не может быть оправдана, ибо все почвы при определенных условиях выделяются ветром. Введение в классификацию почв земельных участков с различным характером их использования ио существу отражает не податливость почв дефляции, а характер почвозащитных мероприятий.

А. Г. Гаель и Л. Ф. Смирнова (1960) считают, что при изучении развеиваемых легких почв необходимо учитывать следующие стадии их эродированности: опесчаненность, эродированность, погребенность почвы эоловыми напосами. В связи с этим они предлагают классификацию почв по указанным стадиям.

I. Опесчаненность пахотного слоя	Потеря физической глины, %
1. Слабая	< 25
2. Средняя	25—50
3. Сильная	> 50
II. Эродированность	Сдуты от монотонности генетических горизонтов
1. Слабая	— $\frac{1}{2}$ гумусового гор. A <sub>1</sub>
2. Средняя	— $\frac{1}{2}$ гумусового гор. A <sub>1</sub>
3. Умеренная	Гор. A <sub>1</sub> и $\frac{1}{2}$ гор. B <sub>1</sub>
4. Значительная	Гор. A <sub>1</sub> и $\frac{1}{2}$ гор. B <sub>1</sub>
5. Сильная	Гор. A <sub>1</sub> и B <sub>1</sub> , обнажен гор. B <sub>2</sub>
6. Очень сильная	Гор. A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub> и B <sub>2</sub> , обнажен гор. C
III. Погребенность	Мощность эолового напоса
1. Слабая	< $\frac{1}{4}$ пахотного слоя
2. Мелкая	$\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ > >
3. Умеренная	$\frac{1}{2}$ —1 > >
4. Глубокая	1—2 > >

Положительной стороной данной классификации является то, что в ней указываются не только группировка почв по сходным признакам, но и основные количественные показатели этих признаков.

Нужно отметить, что для легких по механическому составу почв, т. е. почв, характеризующихся селективным видом выдувания, опесчаненность является хорошим показателем, по которому можно судить об эродированности почв. Позже авторы несколько уточнили диагностические признаки, сократив число степеней

опесчаненности, эродированности и погребенности (А. Г. Гаель и Л. Ф. Смирнова, 1965).

Р. Джаниенсов, М. Е. Бельгибаев, Т. Х. Досмухамедов, Э. М. Паракинова (1967) предложили классификацию черноземов южных супесчаных и темно-каштановых супесчаных почв по степени эродированности и развеиваемости ветром. Степень эродированности авторы предлагают устанавливать по фактической разрушности гумусового горизонта: слабодефлированные — разрушена  $\frac{1}{4}$  гор. A, среднедефлированные — разрушена  $\frac{1}{2}$  гор. A, сильнодефлированные — разрушен полностью гор. A, очень сильно дефлированные — разрушен гор. B. Авторы ввели диагностические показатели, соответствующие указанным степеням эродированности: потеря гумуса — <20, 21—40, 41—60 и свыше 60%, опесчаненность пахотного слоя — <10, 11—20, 21—40 и >40%.

Трем степеням развеиваемости соответствуют три диагностических признака, которые установил М. Е. Бельгибаев (1965), в виде соотношения агрегатов  $\frac{\text{1 mm}}{\text{1 mm}}$ ; у слаборазвеиваемых оно со-

ставляет 0,6—0,1, средиразвеиваемых — 0,3—0,5 и сильноразвеиваемых — 0,0—0,2. Кроме того, этим соотношениям соответствует опесчаненность пахотного слоя: <10, 11—20 и >20% и плотность ветропесчаного потока на пашне в слое 0—80 см на фронте 100 пог. м, составляющая при скорости ветра (на высоте 50 см) 8 м/с соответственно <2, 3—10, 11—20 кг/ч; 12 м/с — <5, 6—20, 21—50; 16 м/с — <50, 51—100 и 101—200 кг/ч. Позднее М. Е. Бельгибаев (1972) уточнил диагностические признаки развеиваемости почвы и ввел в классификацию погребенность почвы ветровым напосом.

Положительной стороной данной классификации является то, что в ней отражена не только степень эродированности почв, но и податливость их ветровой эрозии. Однако такой диагностический признак, как плотность ветропесчаного потока, вряд ли удобен при полевых обследованиях. Заметим, что введение признака опесчаненности как показателя развеиваемости (податливости почв ветру) неудачно, так как опесчаненность есть следствие эродированности почвы, а эродированность функционально связана с длительностью развития эрозионного процесса.

А. Ф. Радамакин (1963) подчеркнул необходимость классифицировать почвы не только по фактической эродированности, но и по их податливости ветровой эрозии. По степени эродированности, или дефлированности, он объединил почвы в четыре класса; критерием эродированности была потеря почвой части гумусового горизонта. Например, к почвам слабодефлированным исследователь относит те почвы, которые потеряли до 20% гумусового горизонта, к среднедефлированным — 20—40, к сильнодефлированным — 40—60 и очень сильно дефлированным — свыше 60% гумусового горизонта.

В основу группировки почв по их склонности (податливости) к дефляции А. Ф. Родамакин кладет механический состав, засоленность и режим увлажнения. Он выделяет следующие группы почв. I. Почвы, не склонные к дефляции: луговые, болотные и лугово-болотные, солонцы и солончаки (за исключением сухих), выходы коренных пород и слаборазвитые щебенисто-каменистые почвы на коренных породах. II. Почвы, слабо склонные к дефляции: черноземы, каштановые и бурые почвы глинистые, тяжелоглинистые и среднеглинистые. III. Почвы, средне склонные к дефляции: черноземы, каштановые, бурые почвы (все легкосуглинистые), карбонатные черноземы и каштановые почвы (тяжелоглинистые), а также сухие солончаки. IV. Почвы, сильно склонные к дефляции: супесчаные черноземы, каштановые и бурые почвы. V. Почвы, очень сильно склонные к дефляции: песчаные почвы и пески. Позднее автор несколько расширил группы почв (А. Ф. Родамакин, 1967).

Данная классификация отличается от классификации почв А. Е. Цыченко и Н. Т. Макарычева (1959) только введением в нее гидроморфных солончаковых и засоленных почв. Однако отнесение болотных почв и солонцов к I группе не обосновано. Ими показано, что осущеные торфяники и стоячие солонцы подвергаются ветровой эрозии. Недостатком классификации является отсутствие диагностических признаков податливости почв ветровой эрозии.

В связи с классификацией почв, эродируемых ветром, имеет значение и группировка почв по эрозионным признакам.

С. С. Слобников и Н. Я. Половицкий (1958) выделили две группы почв по их податливости ветру — легкие и тяжелые по механическому составу. Среди почв первой группы авторы различают сильно подвергающиеся разрушению, систематически подвергающиеся разрушению и слабо подвергающиеся разрушению. Данная группировка является весьма простой и не связана с генезисом почв.

Н. Я. Половицкий (1963) разработал агропроизводственную группировку почв, а сельскохозяйственных угодий с почвами, подверженными ветровой эрозии. Он выделил четыре группы угодий, включая распаханные земли, заросли, перелоги и целину, с сильно разрушенными почвами разного механического состава, с почвами, систематически подвергающимися ветровой эрозии (легкого механического состава), с почвами, подвергающимися эрозии непрерывно (легкого механического состава), с почвами тяжелого механического состава, подвергающимися эрозии. В качестве показателей степени дефляционности он предложил пользоваться наблюдениями за переносом мелкозема, выносом или наносом мелкозема обычно до глубины 3—5 см, процентом глины в песчаных отложениях, проективным покрытием растений на целине, наличием хряща на поверхности почвы. Для указанной группировки угодий автор, видимо, предполагает длительный период наблюдений за процессами ветровой эрозии непосредственно на

зсех угодьях. Без этого группировка угодий будет, на наш взгляд, случайной.

При классификации легких почв Средней и Восточной Сибири, подверженных ветровой эрозии, Н. В. Орловский с сотрудниками (1967) обращают внимание на степень эродированности почв, хотя и разделяют мнение о необходимости классифицировать почвы по степени податливости их ветровой эрозии. Степень эродированности авторы устанавливают по мощности (в см) гумусового горизонта, а степень погребенности — по мощности наносов. Среди диагностических признаков эродированности указываются окраска гумусового горизонта, содержание гумуса, наличие песка и щебня на поверхности почвы, состояние растительности после эрозии. Последние два признака вряд ли будут полезны при картографии, так как они появляются лишь после сезонаной ветровой эрозии. Классификация почв по степени податливости ветровой эрозии выполнена авторами на основе существующих классификаций А. Е. Цыченко (1958, 1959), А. Г. Гаеля и Л. Ф. Смирновой (1965).

В работе Н. С. Сметанича (1969) приводится схема подверженности почв эрозии на открытых, незалесенных территориях, разработанная Н. Д. Брадобоеевым при использовании классификации Н. В. Орловского. В схеме отражена только степень податливости ветровой эрозии почв, характеризующая различным механическим составом. Вместе с тем И. С. Сметанин предложил несколько измененную классификацию почв по степени эродированности, разработанную ранее Р. Джантепсовым, а также классификацию золовых отложений. В последней классификации почвы выделяются по мощности наноса так: до 10 см — слабонаносные, 10—20 см — наносные, 20—30 см — мелкопогребенные, 30—75 см — среднепогребенные, больше 75 см — глубокопогребенные.

В целом классификация почв по их подверженности ветровой эрозии весьма схематична, ибо в основу ее положен лишь механический состав почв, а степень податливости не характеризуется диагностическими признаками.

Анализ существующих классификаций, особенно разработанных в последние годы, подтверждает необходимость отражения в классификационных подразделениях в первую очередь таких свойств почв, как эродируемость. Необходимо подчеркнуть, что степень эродируемости почв ветром и их основные диагностические признаки для почв Украины ранее не разрабатывались.

**Классификация и диагностика почв, подверженных ветровой эрозии.** В таблице 27 приводится предлагаемая нами классификация почв, эродируемых ветром. Основным в классификации почв является их эродируемость. По степени эродируемости все почвы разделены на пять групп — от очень слабой до очень сильной. Диагностическими признаками, позволяющими на основании данных общепринятых анализов почв при крупномасштабных и дру-

Таблица 27. Классификация почв Украины, эродируемых ветром

I. Эродируемость

Степень эродируемости	Диагностические признаки					
	содержание, %			механическая прочность, кг/агрегат	гумус СаCO <sub>3</sub>	Са + Mg На
	агрегатов 1 мм	физической глины	микроагрегатов <0,01 мм			
Очень слабая	8	—	59	—	—	—
Слабая	9—29	85	21—59	1,8	17	0,4
Средняя	30—49	30—85	6—20	0,5—1,8	0,5—17	0,4—0,95
Сильная	50—69	15—30	<6	0,3—0,5	0,5	1,0—1,9
Очень сильная	60	15	—	0,3	—	—

II. Эродированность

Степень эродированности	Диагностические признаки	
	специо	в пахотном слое уменьшилось содержание гумуса, % от содержания в неэродированной почве
Слабая	Менее $\frac{1}{2}$ перегнойно-аккумулятивного горизонта	До 45
Средняя	Свыше $\frac{1}{2}$ перегнойно-аккумулятивного горизонта	15—40
Сильная	Следы полностью перегнойно-аккумулятивный горизонт и часть переходного горизонта	Свыше 40

III. Погребенность

Степень погребенности	Диагностические признаки	
	мощность золовых отложений	характер золового рельефа
Очень незначительная	Не более 3—5 см; отложение запахивается; общая мощность гумусового горизонта больше на 3—5 см	Не выражен
Мелкая	5—10 см; отложение запахивается; общая мощность гумусового горизонта выше на 5—10 см	Золовая рябь
Средняя	10—30 см; пахотный слой представлен золовым наносом	Холмики, косы
Глубокая	Свыше 30 см	Кочковый микрорельеф

В почвенных обследованиях отнести те или иные почвы к определенной классификационной категории, служат: содержание структурных агрегатов с размером фракций <1 мм; содержание физической глины и микроагрегатов <0,01 мм; механическая прочность агрегатов; соотношение гумуса и СаCO<sub>3</sub>, а также поглощенных оснований (Са+Mg) и ила.

Среди диагностических признаков ведущим и ценообразующим определяющим эродируемость почв ветром является содержание структурных агрегатов размером <1 мм. Остальные признаки характеризуют свойства почв, которые влияют на структурообразование, в частности на содержание агрегатов <1 мм.

Другой показатель классификации почв, эродируемых ветром, — степень эродированности. Выделены три степени эродированности (слабая, средняя и сильная) с соответствующими диагностическими признаками.

Почвы, встречающиеся в понижениях рельефа, у различных преград, на западных склонах, характеризуются четырьмя степенями погребенности; на них указывает мощность золовых отложений, соответствующее приращение верхнего горизонта почвы, а также характер рельефа.

Почвы очень мелко погребенные отличаются от непогребенных и неэродированных наличием на непаханых почвах золового наноса мощностью 3—5 см, который можно легко измерить стальными зондом с делениями. При запашке этих отложений формируются уплотненные почвы. При мелкой погребенности почв золовый нанос мощностью 5—10 см хорошо различим по своей структуре на непаханых землях. На пашне нанос перемешивается с пахотным горизонтом, в результате этого мощность гумусового горизонта возрастает на 5—10 см. Кроме того, на поверхности почвы можно видеть остатки золового рельефа в виде ряби.

При средней погребенности золовые отложения на непахотных почвах достигают 30 см. На пашне весь пахотный горизонт заменен золовым материалом, под которым, если почва тяжелого механического состава, залегает несколько обогащенный гумусом старопахотный слой. На поверхности, даже на пашне, сохраняется золовый рельеф в виде холмиков и кос.

Глубокая погребенность почв также приводит к полной замене пахотного горизонта золовым материалом. При мощном наносе кочковатый рельеф пре пятствует обработке таких почв. Примером могут служить золовые отложения у непродуваемых лесных полос. На контакте с песчаными почвами и песками формируется золовый нанос более легкого механического состава, чем погребенные почвы, что также служит причиной изъятия погребенных почв из пашни. Вообще же глубокая степень погребенности свойственна почвам, характеризующимся очень сильной эродированностью (пески и супеси). В результате перемещения громадного количества золового материала под действием ветра происходит формирование котловин выдувания, дюн, барханов и других крупных форм золового рельефа.

По основному классификационному показателю — эродируемости почв — разработана группировка пахотных почв степной зоны Украины; данные о ней представлены в таблице 28.

В нашей классификации и в группировке почв по степени эродированности не отражен такой немаловажный признак, как со-

Группа почв	Эродируемость в аэродинамической трубе, г/с за 30 мин	Степень эродируемости
Суглины, корковые, стоблчатые, тяжелоглинистые	<4	Очень слабая
Черноземы типичные, мощные, глинистые и тяжелосуглинистые; черноземы обыкновенные сильные, глинистые и тяжелосуглинистые; черноземы южные, легкоглинистые и тяжелосуглинистые; темно-каштановые, солонцеватые, глинистые; темно-каштановые, карбонатные, глинистые	1,1—5	Слабая
Черноземы обыкновенные глинистые и тяжелосуглинистые; черноземы песчанисто-среднесуглинистые; черноземы южные глинистые и суглинистые; черноземы южные карбонатные глинистые; темно-каштановые, слабосолонцеватые, среднесуглинистые и легкосуглинистые	6—20	Средняя
Черноземы обыкновенные, среднесуглинистые и легкосуглинистые; черноземы обыкновенные, карбонатные, глинистые; перегнойно-карбонатные глинистые; черноземы карбонатные глинистые; черноземы южные супесчаные	21—42	Сильная
Темно-каштановые супесчаные; дерново-песчаные, южные, пески	>42	Очень сильная

лонцеватость почв. Трудность, связанная с разработкой этого диагностического признака, заключается в том, что нет надежного критерия солонцеватости. Попытки ввести в классификацию количество поглощенного натрия не увенчались успехом. Однако влияние солонцеватости на эродируемость почв ветром не вызывает сомнения. Поэтому работы над поисками показателя солонцеватости и его места в классификации почв нужно продолжить.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ПОЧВ ОТ ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИИ

Одна из главнейших задач противоэррозионных мероприятий — снижение скорости ветра в приземном слое до критической или до той ее величины, которая не вызывает опасных потерь почвы и повреждений сельскохозяйственных растений от засекания и выдувания. Эта задача может быть решена путем создания необходимой шероховатости почвенной поверхности, а также системы подграждительных лесных полос.

Уменьшить ветровую эрозию почв можно мерами, способствующими сохранению комковатости почвы. Сохранение и повышение запасов влаги в почве служат не только уменьшению потерь почвы от ветровой эрозии, но и способствуют быстрому росту сельскохозяйственных растений и повышению их урожайности.

**Влияние шероховатости поверхности, растительного покрова и поживных остатков на изменение скорости ветра в приземном слое атмосферы.** Нижние струи воздушного потока в приземном слое атмосферы испытывают трение о подстилающую поверхность, благодаря которому скорость воздушного потока и не посредственной близости у подстилающей поверхности меньше, чем на любой другой высоте.

Впервые Гульдерг и Мон установили, что сила трения пропорциональна скорости ветра и направлена в сторону, противоположную ветру. Работами Л. Прандтля (1949) была создана полуэмпирическая теория течения турбулентного потока вдоль шероховатой поверхности. По этой теории торможение, которое оказывает поверхность, состоящая из частиц определенной крупиности или растительным покровом, связано с существованием ламинарного подслоя потока, который непосредственно примыкает к данной поверхности. При этом реакция, соответствующая количеству движения, направленного вдоль оси Х по касательной к поверхности, представляет собой касательное напряжение трения.

Изменение скорости ветра с высотой подчиняется различным законам и зависит от температурной стратификации атмосферы: при адиабатическом состоянии атмосферы оно подчиняется логарифмическому закону, при инверсии — степенному. Для конвективных надежных формул не получено.

В двухфазных потоках профили скоростей ветра несколько отличаются от таковых в чистом воздушном потоке. Насыщение воздушного потока взвешенными частицами почвы приводит к потере транспортирующей способности ветра вследствие снижения его скорости (R. A. Bagnold, 1954).

Больной интерес представляет оценка шероховатости подстилающей поверхности. Обычно шероховатость поверхности характеризуется параметром  $Z_0$ , или высотой, на которой скорость потока равна нулю.

Величина параметра шероховатости не зависит от скорости. При исследовании в аэродинамической трубе (A. W. Zingg, 1953) и в натурных опытах В. И. Васина (1966) получена одна и та же величина  $Z_0$  при различных скоростях ветра над одной и той же поверхностью. На независимость  $Z_0$  от скорости ветра указывают и другие авторы.

Однако А. Р. Константинов (1968) на основании натурных исследований утверждает, что величины  $Z_0$ , рассчитанные по логарифмическому закону, уменьшаются с увеличением скорости ветра.

При расчетах скорости ветра на разной высоте необходимо знать величину  $Z_0$ , поэтому представляет интерес зависимость ее от размеров выступов шероховатости, если последние известны.

Теоретическим расчетам зависимости  $Z_0$  от размеров выступов шероховатости, а также экспериментальной их проверке посвящены многие работы. Полученные экспериментальные данные и эмпирические формулы свидетельствуют о существенном отклоне-

ции от известного соотношения  $\frac{d}{Z_0} = 30$ , найденного И. Никурадзе для стеблей труб ( $d$  — высота выступа шероховатости).

Например, по А. В. Зингу (A. W. Zingg, 1953),  $Z_0 = \frac{d}{9}$ , но

А. В. Зингу (A. W. Zingg, 1953),  $Z_0 = 0.081 \log \frac{d}{0.18}$ . Р. А. Бэгнольд (R. A. Bagnold, 1954) и Д. Л. Лайхтман (1961) нашли  $Z_0 = \frac{d}{10}$ .

Проведенный анализ опубликованных данных позволил выявить некоторые закономерности в соотношении  $d$  и  $Z_0$ . Оказывается, что величина этого соотношения зависит от абсолютного размера  $d$ . С ростом  $d$  соотношение  $d$  и  $Z_0$  уменьшается. Так, по данным Зинга, с увеличением  $d$  с 6,20 до 6,715 мм отношение  $\frac{d}{Z_0}$  уменьшается с 43,5 до 14,7. По О. Г. Сеттону (1958), увеличение высоты растений от 1 до 50 см привело к уменьшению соотношения  $d$  и  $Z_0$  с 10 до 5,5.

Отмеченные нами закономерности можно объяснить тем обстоятельством, что над высоким и густым растительным покровом, а также, вероятно, и над другими высокими выступами шероховатости воздушный поток отстает вверх. При этом, как отмечает А. Р. Константинов (1968), формируется так называемый слой вытеснения, который по величине больше, чем  $Z_0$ .

Из материалов, приведенных в работе А. Р. Константинова (1968), видно также, что с увеличением высоты растений уменьшается соотношение высоты растений и высоты слоя вытеснения.

Величина  $Z_0$  зависит и от расстояния между выступами шероховатости; об этом свидетельствуют данные О. Г. Сеттона (1958): чем меньше расстояние между выступами, чем гуще растительный покров, тем больше  $Z_0$ .

Надежным методом определения  $Z_0$  является исследование профиля скоростей и построение его в соответствии с тем законом, которому подчиняется изменение скорости ветра при данной стратификации приземного слоя атмосферы.

Влияние подстилающей поверхности существенно оказывается на изменении скорости ветра примерно до высоты 2 м или несколько выше. По данным А. Е. Дьяченко и Л. Т. Земляницкого (1944), скорость ветра на высоте 15 см над выгоном была меньше на 21%, над озимью — на 32%, над стерней — на 40% по сравнению со скоростью ветра над пашней.

Л. А. Голубева (1950) приводит данные, которые характеризуют скорость воздушного потока на высоте 15 см над стерней яровой пшеницы, перелогом, сеянными травами, всходами пшеницы и паром. Наибольшее снижение ветра отмечено над травами, высот-

та которых составляла 25 см. Над стерней высотой 8—9 см скорость ветра была на 20% меньше, чем над паром.

Наши измерения скорости ветра на высоте 12 см над различной поверхностью показали существенное снижение скорости над необработанной стерней озимой пшеницы по сравнению с зеленым участком и зябью. Так, на пашне и стерне озимой пшеницы скорость ветра составляла соответственно 83 и 39% скорости на зеленине.

Подстилающая поверхность в виде всходов пшеницы во сравнению со вспаханной почвой значительно снижает скорость ветра, особенно в приземном 15-сантиметровом слое.

Если величина шероховатости больше, то и снижение скорости ветра больше.

Измерения касательного напряжения трения на поверхности почвы с различной шероховатостью показали, что для стеблей сорго высотой 50 см  $\tau = 8.7$  дин/см<sup>2</sup>, для пшеницы высотой 23 см  $\tau = 5.4$  дин/см<sup>2</sup> (W. S. Chepil, N. P. Woodruff, 1963).

Казалось бы, что чем больше  $\tau$ , тем сильнее должна выдуваться почва. Однако значительные выступы шероховатости (крупных комков почвы, растений и их остатков) выдерживают большое напряжение трения, существенно снижая эродирующую силу потока, в связи с этим и выдувание при большой шероховатости меньше.

На юге европейской территории СССР весной, когда обычно возникает ветровая эрозия, в верхнем слое почв тяжелого механического состава содержание комков крупнее 1 мм составляет: в черноземах предкавказских карбонатных 31—80%, в черноземах предкавказских выщелоченных 43—90%, в черноземах обыкновенных карбонатных 52%, в черноземах карбонатных и перегнойно-карбонатных почвах 59%, в черноземах южноземельных 62—74%, в черноземах южных 54—72%, в черноземах южных карбонатных 57—62%, в темно-каштановых почвах 52—86%, каштановых 56—67%, светло-каштановых 49—70%.

В черноземах южных, в темно-каштановых и каштановых легкосуглинистых, супесчаных и песчаных почвах содержание комков крупнее 1 мм меньше и составляет 15—55%.

Исходя из содержания комков в почве и основываясь на исследованиях Чепиля (W. S. Chepil, 1957), Сидуэй (F. H. Siddoway, 1965), Вудраффа (N. P. Woodruff, 1965), А. И. Бомарова (1962) и Е. И. Шиятого (1968), для защиты тяжелых по механическому составу почв необходимо стерни высотой 20 см до 100 шт/м<sup>2</sup>, а для почв легкого механического состава — до 400 шт/м<sup>2</sup>.

Количество стерневых остатков зависит от сельскохозяйственной культуры, уровня ее урожая на тех или иных почвах, вида и числа обработок почвы.

На предкавказских черноземах обычно из поле после уборки зерновых колосовых стерни остаются около 450—500 шт/м<sup>2</sup> (А. П. Спирина, 1973). Исследования показали, что после приме-

использования почвозащитной технологии основной и предпосевной обработки почвы на поле остается 50—76% стерни (М. И. Грицик и др., 1973). Таким образом, к периоду сильных весенних ветров на поверхности почвы стерни остается 280—380 шт/м<sup>2</sup>.

Согласно исследованиям А. А. Гортлевского (1975), карбонатные черноземы Краснодарского края в верхнем слое весной содержат 20—40% комков диаметром крупнее 1 мм. Он считает, что для защиты этих почв от ветровой эрозии нужно стерни 100—300 шт/м<sup>2</sup>. Наблюдения в Новокубанском и Щербаковском районах показали, что после плоскорезной обработки количество стерни было 260—300 шт/м<sup>2</sup>, что обеспечило полную защиту карбонатного чернозема от ветровой эрозии при скорости ветра 6,7—8,0 м/с на высоте 5 см. На зяби без стерни потери почвы от выдувания составили 79—500 т/га при скорости ветра 9,2—12 м/с на высоте 5 см.

Опытами в аэродинамической трубе установлено, что для надежной защиты обыкновенного чернозема от выдувания ветром со скоростью 16 м/с на высоте 0,5 м нужно не менее 300 стернинок из 1 м<sup>2</sup> (Д. П. Рыжиков и др., 1975).

На супесчаных и песчаных каштановых почвах, на которых урожай зерновых культур ниже, стерни остается меньше. В Волгоградской области, по данным И. Ф. Сидорчука, на этих почвах после уборки зерновых колосовых остается стерни 100—130 шт/м<sup>2</sup>.

**Почвозащитная обработка почвы** направлена на сохранение пожнивных остатков (стерни) на поверхности почвы, обеспечивающих снижение скорости ветра и переноса почвенного мелкозема.

Опыты, проведенные на южных черноземах Украины в конце 50-х — начале 60-х годов, показали эффективность безотвального рыхления почвы в снижении потерь ее от выдувания (М. И. Долгилевич, 1967). На посевах озимой пшеницы по пару, обработанному безотвальным орудием, выдувания почвы во время сильных ветров не было, а по пару, вспаханному плугами, был выдут слой почвы — 1,1 см. В опытах на темно-каштановых почвах на посеве озимой пшеницы по безотвальной обработке пары перенос почвы был меньше в 2 раза по сравнению с переносом на посеве по вспашке пары.

Почвозащитный эффект стерни пшеницы был выше, чем пожнивных остатков подсолнечника и широкорядных посевов сорго.

Параметр шероховатости для поверхности почвы с остатками стеблей сорго и подсолнечника был примерно одинаковым и равнялся 2,2 см, а для поверхности почвы с отвалами вспашкой — 1 см.

Шероховатая поверхность почвы, обусловленная пожнивными остатками сорго и подсолнечника, не снижает скорости ветра ниже критической. Для темно-каштановой слабосолонцеватой легкосуглинистой почвы расчетная критическая скорость ветра на высоте 1 м равна 7,2—7,4 м/с на пару, вспаханном плугом с отвалами,

и 7,0—7,1 м/с на пару, обработанном безотвальным орудием; при скорости ветра на высоте флюгера (10 м) 16 м/с на высоте 1 м она составила соответственно 10,8 и 10,0 м/с, т. е. превышала критическую примерно на одну и ту же величину. Нужно отметить, что под пар на юге Украины отводят поля из-под подсолнечника. Количество же пожнивных остатков после уборки этой культуры остается на поле очень мало (до 15—20 шт/м<sup>2</sup>).

Поэтому пожнивные остатки подсолнечника и широкорядных посевов сорго не обеспечивают полной защиты почвы от ветровой эрозии в годы с сильными ветрами. Вместе с тем безотвальная обработка черного пара обеспечила существенное увеличение урожая озимой пшеницы на 2,4 ц/га.

Аналогичные результаты в 1956—1960 гг. получил И. Е. Щербак (1974) в опытах на солонцеватых черноземах. Урожай озимой пшеницы по вспашке черного пара составил в среднем 27,8 ц/га, а по безотвальному глубокому рыхлению — 29,8 ц/га.

Применение дисковых лущильников для основной обработки почвы под вторую после пара озимую пшеницу, а также под посев озимой пшеницы, идущей после кукурузы, хотя и давало прибавку урожая, но приводило к сильному распылению верхнего слоя почвы.

Благодаря разработкам ВНИИ зернового хозяйства, ВИМ, ВНИСХОМ, КИМЭСХ и КБ заводов сельскохозяйственного машиностроения была создана система машин и орудий для почвозащитной технологии возделывания сельскохозяйственных культур, которая в настоящее время внедрена главным образом в Северном Казахстане и Западной Сибири (А. И. Бараев, 1966, 1975; А. А. Зайцева, 1970).

Создание плоскорезов для почвозащитной обработки почвы, специальных сеялок, позволяющих проводить качественный посев семян сельскохозяйственных культур по почве, на поверхности которой находится большое количество пожнивных остатков, открыло перспективы для исследований почвозащитной агротехники в южных районах ветровой эрозии европейской территории СССР.

Исследования, проведенные на Украине, Северном Кавказе, в Новоложье, свидетельствуют об эффективности плоскорезной обработки в защите почвы от ветровой эрозии и обеспечении высокого урожая зерновых культур. На темно-каштановых почвах Украины в 1970—1973 гг. урожай озимой пшеницы по плоскорезному пару был выше, чем по пару, вспаханному плугами, на 0,8—8 ц/га (Н. М. Милосердов, 1973).

При плоскорезной обработке пары на предкавказском черноземе урожайность озимой пшеницы равнялась 49,9 ц/га, а при отвальной вспашке — 44,7 ц/га (А. С. Извеков, П. Н. Рыбалкин, 1975).

Урожай озимой пшеницы по пару при плоскорезной обработке каштановых почв (Ростовская область) был 27,2 ц/га, при отвальной

ной вспашке — 24,2 ц/га; выдувание почвы составило соответственно 20 и 51,3 т/га.

В опытах на обыкновенных черноземах Донбасса урожайность озимой пшеницы по пару, обработанному плоскорезом и поднято му плугом, был одинаков и составил 25,1 ц/га (Д. П. Рыжиков и др., 1975).

По данным И. Е. Щербака и М. А. Парфенова (1975), на солонцеватых черноземах юга Украины прыжка урожая озимой пшеницы по плоскорезному пару по сравнению с паром, вспаханным плугами, составила 2,1—2,9 ц/га.

В степном Крыму плоскорезная обработка паров обеспечила урожай озимой пшеницы в среднем за 1971—1973 гг. 37,1 ц/га, а по пару, вспаханному плугами, — 36,8 ц/га (Ю. Поздняков, 1975).

Сводные данные о влиянии способа обработки почвы под пары на урожай озимой пшеницы приведены в таблице 29.

Таблица 29. Влияние способов обработки почвы под пары на урожай озимой пшеницы, ц/га

Край, область, зона	Способ обработки			Автор
	Вспашка	Плоскорез	Пар	
Херсонская область, темно-каштановая почва	39,8	43,4	+3,6	Н. М. Милосердов, 1973
Краснодарский край, предкавказский чернозем	44,7	49,9	+5,2	А. С. Извеков, Г. Н. Рыбалькин, 1975
Крымская область, южный чернозем	36,8	37,1	+0,3	Ю. Поздняков, 1975
Донецкая область, обыкновенный чернозем	25,1	25,1	0	Д. П. Рыжиков и др., 1975
Ростовская область, светло-каштановые и каштановые почвы	8,1	7,9	+0,2	Ф. А. Миронченко, В. М. Ивонин, 1976
Ростовская область, темно-каштановые почвы и южные черноземы	28,2	28,6	+0,4	Ф. А. Миронченко, В. М. Ивонин, 1976
Ростовская область, обыкновенные черноземы	14,9	13,0	-1,9	Ф. А. Миронченко, В. М. Ивонин, 1976
Николаевская область, солонцеватый чернозем	70,3	72,2	+1,9	И. Е. Щербак, М. А. Парфенов, 1976
Николаевская область	72,4	74,5	+2,1	И. Е. Щербак, М. А. Парфенов, 1976
То же	43,6	52,7	+9,1	И. Е. Щербак, М. А. Парфенов, 1976
» «	37,0	39,5	+2,5	И. Е. Щербак, М. А. Парфенов, 1976
Херсонская область, темно-каштановая почва	36,3	38,0	+1,7	И. Соколенко и др., 1976

В звене севооборота, где озимая пшеница является второй культурой после пара, почвозащитный эффект плоскорезной обработки почвы достаточно высок. После плоскорезной обработки почвы большое количество стерни практически полностью защищает почву от ветровой эрозии (И. П. Демченко, В. К. Демченко, 1974, табл. 30).

На темно-каштановых почвах Херсонской области сильные ветры в 1974 г. выдули слой 1—2 см со вспаханной зяби, а на участках с плоскорезной обработкой выдувания не было (И. Соколенко и др., 1976).

Потери обыкновенного чернозема от ветровой эрозии в 1972—1973 гг. составили в варианте с отвальной вспашкой 7,4 м<sup>3</sup>/га, в варианте с плоскорезной обработкой — 0,6 м<sup>3</sup>/га (Ф. А. Миронченко, В. М. Ивонин, 1976).

Сохранение стерни на поверхности почвы способствует накоплению снега зимой, что очень важно для лучшей перезимовки озимой пшеницы. По данным И. Е. Щербака (1974), в Николаевской области высота снежного покрова зимой 1971—1972 гг. составила на поле озимой пшеницы, засеянной по вспашке, 14 см, по обработке плоскорезом — 68 см, в 1973—1974 гг. — соответственно 10 и 33 см.

Н. М. Милосердов (1973) отмечал, что на стерневых фонах в Херсонской области снега накапливалось в 1,5—2 раза больше, чем на вспаханной зяби.

В Ростовской области высота снежного покрова в 1970—1973 гг. была в варианте со вспашкой 1,9—12,1 см, на плоскорезной обработке — 2,6—23,8 см (Ф. А. Миронченко, В. М. Ивонин, 1976).

Опытные данные свидетельствуют о большем накоплении влаги весной в почве, обработанной плоскорезом, чем вспаханной плугом (Н. М. Милосердов, 1973; И. Е. Щербак, 1974; И. Соколенко, 1976; Ф. А. Миронченко, В. М. Ивонин, 1976).

Однако не во всех зонах плоскорезная обработка обеспечивает получение высокого урожая озимой пшеницы. На черноземах и темно-каштановых почвах юга Украины плоскорезная обработка привела к существенному увеличению урожая (табл. 31).

В засушливых районах Ростовской области урожай пшеницы по вспашке и плоскорезной обработке был одинаков, а на северо-

Способ обработки почвы	При скорости ветра (м/с) и продолжительности его (ч)			В среднем
	15—30 и 200	15—20 и 50	15—24 и 150	
Отвальная вспашка	372	29,1	97,3	166,1
Плоскорезная обработка	2,6	0	0	0,9

Таблица 31. Урожай озимой пшеницы по стерневым предшественникам в зависимости от способов основной обработки почвы, ц/га

Край, область, почва	Виды обработки почвы		Прибавка урожая	Автор
	вспашка	плоскорезная обработка почвы		
Николаевская область, солонцеватый чернозем	25,2	37,2	+12,0*	Н. Е. Щербак, М. А. Нарфенов, 1975
Херсонская область, темно-каштановая почва	5,0	14,8	+9,8	Н. Соколовко и др., 1976
Ростовская область, темно-каштановые почвы	43,7	13,8	+0,1	Ф. А. Миранченко, В. М. Иванич, 1976
Ростовская область	10,8	10,6	-0,2	
То же	15,9	13,8	-2,1	
Краснодарский край, предкавказские черноземы	50,9	45,9	-5,0	А. П. Смирнов, М. И. Грицик, 1976
То же	45,0	40,5	-4,5	

приазовских и предкавказских черноземах плоскорезная обработка зала снижение урожая.

Объяснение этому факту дали Е. В. Грызлов и В. К. Левченко (1974), которые показали, что в результате плоскорезной обработки черноземов происходит дифференциация плодородия верхних слоев почвы. В вариантах с плоскорезной обработкой микробиологическая активность, содержание подвижных форм азота и фосфора, масса корней пшеницы в слое 0—10 см были больше, чем в том же слое в варианте с отвальной вспашкой почвы. Резкое уменьшение элементов плодородия почвы с глубиной, особенно в вариантах с бессеменной плоскорезной обработкой, привело к развитию корневой системы пшеницы в верхнем 10-сантиметровом слое почвы. Это не позволяет озимым усваивать запасы доступной влаги из более глубоких слоев почвы, поэтому летом, когда верхний слой почвы пересыхает, растения пшеницы испытывают недостаток влаги, что в конечном итоге ведет к снижению урожая.

Плоскорезная обработка предкавказских черноземов способствует развитию корневых гнилей пшеницы, снижающих ее урожай (М. И. Грицик и др., 1973; А. А. Бенкен и др., 1973).

На юге европейской части страны озимые высевают главным образом после пропашных культур, в основном после кукурузы.

Получение высоких урожаев озимых после кукурузы основано на создании хорошего аэрофона. Вместе с тем агротехника озимых культур должна удовлетворять противоэрзионным требованиям.

Исследования на стационаре в Аскания-Нова Херсонской обла-

Таблица 32. Количество поживных остатков кукурузы (тн/га) на поверхности темно-каштановой почвы в зависимости от способа обработки (7 сентября 1966 г.)

Способ обработки почвы	Лежачих	Наклонных	Стоячих	Всего
До обработки	0	0	17,2	17,2
Отвальная вспашка плугом П-5-35 на глубину 20—22 см с прикатыванием кольччатыми катками	1,6	0	0	1,6
Лущение БДТ-2,2 на глубину 10—12 см	3,6	3,6	3,2	10,4
Лущение ЛД-10 на глубину 8—10 см	5,6	4,0	2,0	11,6
Рыхление КПГ-250 на глубину 10—12 см	0,8	5,2	8,8	14,8
Рыхление КПГ-250 на глубину 20—22 см	0,8	4,8	7,6	13,2

сти (темно-каштановые) и Крымской сельскохозяйственной опытной станции (черноземы южные) показали следующее (М. И. Долгилевич и др., 1969). После вспашки почвы плугами с отвалами, лущения дисковыми боронами и лущильщиками, рыхления культиваторами-плоскорезами количество поживных остатков кукурузы на поверхности почвы и их положение различны. Плуг с отвалами практически запахивает все поживные остатки; на поверхности почвы остается менее 10% лежачих стеблевых остатков по сравнению с их количеством до вспашки (таблица 32).

Несколько больше остается на поверхности почвы поживных остатков после лущения БДТ-2,2 и ЛД-10, причем после обработки почвы вторым орудием количество стоячих стеблевых остатков меньше, чем после обработки БДТ-2,2. Наибольшее количество наклонных и стоячих стеблевых остатков наблюдалось после рыхления почвы КПГ-250.

С увеличением глубины рыхления количество поживных остатков на поверхности почвы уменьшается.

Исследования профилей скоростей ветра, проведенные на опытах в природе, показали, что в граничном слое скорость воздушного потока существенно уменьшается, если поверхность почвы создана обработкой КПГ-250 (рис. 21).

При скорости ветра (на высоте 10 м) 8—10 м/с толщина слоя воздуха, в котором скорость ветра равна нулю, над поверхностью

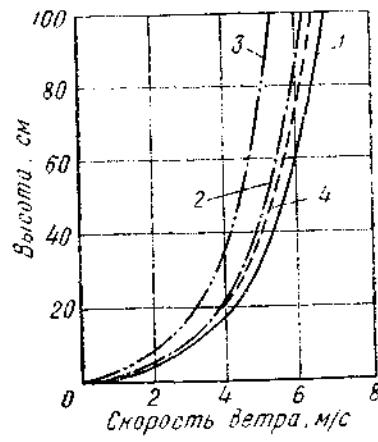


Рис. 21. Профили скоростей ветра над поверхностью почвы, вспашанной плугом с отвалами (1), обработанной ЛД-10 (2), БДТ-2,2 (3) и культиватором-плоскорезом КПГ-250 (4).

почвы, обработанной КПГ-250, составляет 1,70 см, вспашкой плугом — 1,37 см, обработанной ЛД-10 — 1,14 см, БДТ-2,2 — 1,33 см.

Измерение скорости ветра в приземном слое воздуха на высоте 12 см при примерно одинаковых скоростях ветра на высоте флюгера (11 м) показало, что при сохранении пожнивных остатков кукурузы путем обработки почвы культиватором-плоскорезом КПГ-250 скорость ветра несколько снижается (табл. 33).

Таблица 33. Влияние способа обработки почвы из-под кукурузы на скорость ветра (15 октября 1966 г.)

Способ обработки почвы	Скорость ветра (м/с) на высоте	
	11 м	12 см
Обработка КПГ-250 на глубину 20—22 см	9,5	2,9
Лущение ЛД-10 на глубину 8—10 см	9,5	3,2
Отвальная вспашка плугом П-5-35 на глубину 20—22 см с прикатыванием катком ЗКК (контроль)	9,5	3,1
Обработка КПГ-250 на глубину 10—12 см	7,5	2,2
Лущение БДТ-2,2 на глубину 10—12 см	7,5	2,2
Отвальная вспашка плугом П-5-35 с прикатыванием катком ЗКК (глубина вспашки 20—22 см) (контроль)	7,5	2,5

Примечание. Посев озимой пшеницы произведен гераком ЛДС-4А.

Характерно, что в результате обработки южный чернозем более распылен, чем темно-каштановая слабосолонцеватая почва. В связи с этим и ветровая эрозия на этих почвах проявляется по-разному.

С повышением шероховатости поверхности почвы скорость уменьшается. Так, при небольшой шероховатости в варианте с обработкой почвы дисковой боропой БДТ-2,2 динамическая скорость равнялась 49 м/с, а касательное напряжение трения — 3,1 г/см·с<sup>2</sup>; при значительной шероховатости в варианте с рыхлением КПГ-250  $v_s$  равнялась 63 м/с, а  $\tau$  — 5,1 г/см·с<sup>2</sup>. В последнем варианте наблюдалось гораздо большие потери скорости на трение о шероховатую поверхность, в связи с этим следует ожидать меньшее выдувание почвы при обработке почвы культиватором-плоскорезом КПГ-250.

Наибольшее распыление верхнего горизонта почвы производит обработка ее лущильником ЛД-10 (табл. 34 и 35): содержание эрозионных фракций ( $A$ ) 51,2—63,5%; несколько меньшее распыление наблюдается после лущения БДТ-2,2 ( $A=47,4—62,3\%$ ) и отвальной вспашки ( $A=43,0—47,1\%$ ): содержание агрегатов диаметром  $<1$  мм наименьшее после рыхления почвы культиваторами-плоскорезами КПГ-250 и КПЛ-3-100 (33,3—40,9%).

Таблица 34. Динамика структуры, критических скоростей и эродируемости темно-каштановой почвы в зависимости от способа обработки

Способ обработки почвы	Показатели	23.IV 1966 г.	18.IV 1967 г.	19.V 1967 г.
Лущение БДТ-2,2 на глубину 10—12 см	$A$ , % $d_e$ , мм $v_{kp}$ , м/с $E$ , ц/га	47,4 4,45 4,9 1,01	30,4 6,03 — —	29,2 6,34 — —
Лущение ЛД-10 на глубину 8—10 см	$A$ , % $d_e$ , мм $v_{kp}$ , м/с $E$ , ц/га	51,2 3,94 4,8 1,42	34,2 4,47 — —	30,6 5,70 — —
Рыхление КПГ-250 на глубину 10—12 см	$A$ , % $d_e$ , мм $v_{kp}$ , м/с $E$ , ц/га	33,3 6,06 5,3 0,63	28,8 5,55 — —	26,3 8,26 — —
Рыхление КПГ-250 на глубину 20—22 см	$A$ , % $d_e$ , мм $v_{kp}$ , м/с $E$ , ц/га	38,6 6,21 5,3 0,39	29,1 5,27 — —	29,0 7,16 — —
Отвальная вспашка плугом П-5-35 на глубину 20—22 см с прикатыванием катком ЗКК (контроль)	$A$ , % $d_e$ , мм $v_{kp}$ , м/с $E$ , ц/га	47,1 4,94 5,0 0,62	30,9 6,19 — —	25,7 7,78 — —

Наибольший эквивалентный диаметр обнаружен в верхнем горизонте почвы после рыхления ее культиваторами-плоскорезами (4,48—6,21 мм), а также после глубокой вспашки почвы (4,94 мм). Важно отметить, что в данных условиях в почве под озимой пшеницей к весне происходит укрупнение агрегатов, снижение распыленности почвы.

Интересно и то, что в темно-каштановой слабосолонцеватой почве восстановление комковатости верхнего слоя происходит в большей степени, чем на черноземах южных.

Чепил (W. S. Chepil, 1954) нашел, что во время сухой и мягкой зимы изменения в структурном составе почв незначительны. Мощный снежный покров, препятствуя сильному замораживанию почвы, способствует сохранению почвенных комков от разрушения (C. H. Anderson, 1966, 1969).

Исследования Я. Я. Мотузова (1960) показали, что условием для разрушения структуры является содержание влаги, соответствующее полной водовместимости. На то, что промораживание при низком содержании влаги не оказывает влияния на структуру, указано в работе Хинмана и Бизаля (1968).

Разрушение почвенных комков при замораживании и оттаивании вызвано уменьшением гидрофильтрности коллоидов и активной поверхности почвы (Л. Н. Барсукова и З. Н. Бахарева, 1950); в

Таблица 35. Динамика структуры, критических скоростей и эродируемости чернозема южного в зависимости от способа обработки

Способ обработки почвы	Показатели	3 IX 1965 г.	17 V 1966 г.	15 VI 1966 г.
Обработка корпусным лущильником КПЛ-5-25 на глубину 15—18 см	$A$ , % $d_e$ , мм $v_{kp}$ , м/с $E$ , ц/га	56,4 2,91 4,5 3,56	56,2 3,60 — —	54,3 4,16 — —
Лущение БДТ-2,2 на глубину 10—12 см	$A$ , % $d_e$ , мм $v_{kp}$ , м/с $E$ , ц/га	62,3 3,29 4,6 3,54	61,0 3,13 — —	60,0 3,92 — —
Лущение ЛД-10 на глубину 8—10 см	$A$ , % $d_e$ , мм $v_{kp}$ , м/с $E$ , ц/га	63,5 2,41 4,4 4,60	64,3 2,35 — —	60,2 2,93 — —
Рыхление КПЛ-3-100+БДТ-2,2 на глубину 10—12 см	$A$ , % $d_e$ , мм $v_{kp}$ , м/с $E$ , ц/га	40,9 4,48 4,9 1,78	36,9 4,67 — —	32,0 6,63 — —
Отвальной вспашка плаугом П-5-35 на глубину 25—27 см + ЛД-10 (контроль)	$A$ , % $d_e$ , мм $v_{kp}$ , м/с $E$ , ц/га	43,0 4,42 4,9 2,04	38,3 4,95 — —	35,0 6,49 — —

связи с этим резко уменьшается склеивающая способность глинистых и иллистых частиц.

В черноземах Северного Кавказа распыленность верхнего слоя от осени к весне возрастает. Основная причина этого — периодическое замораживание и оттаивание почвы (Г. И. Васильев, 1973).

На юге Украины разрушение почвенных комков при замораживании почвы зависит от погодных условий. Частые сухие осени и теплые зимы, видимо, способствуют сохранению крупных комков на поверхности почвы, а также некоторой агрегации ее, как это было зимой 1966/67 г., когда температура воздуха в декабре была выше многолетней на 3,2°C, а в январе и феврале — на 1,3—1,8°C ниже.

Обработка почвы культиваторами-плоскорезами повышает устойчивость ее к выдуванию, значительно повышает критическую скорость ветра. Так, после рыхления темно-каштановой почвы культиватором-плоскорезом КПГ-250 критическая скорость ветра составляет 5,3 м/с, а после лущения ЛД-10 и БДТ-2,2 — 4,8—4,9 м/с; эродируемость почвы при этом соответственно равняется 0,39—0,63 и 1,01—1,42 ц/га за 30 мин (см. табл. 34).

Как видно из приведенных данных, обработка поля из-под кукурузы тем или иным орудием не обеспечивает полностью защиты

почв от ветровой эрозии, хотя обработка некоторыми орудиями (КПГ-250, КПЛ-3-100) существенно снижает эродируемость почв. Например, средние годовые потери от ветровой эрозии чернозема южного при обработке БДТ-2,2 и корпусным лущильником составляют 13,6—15,6 т/га, при отвальной вспашке — 7,6, а при обработке культиватором-плоскорезом КПЛ-100 с последующей разделкой пашни БДТ-2,2 — 6,8 т/га. Эти потери превышают допустимый предел эрозии.

Обработка темно-каштановой слабосолонцеватой легкоглинистой почвы дисковыми лущильниками БДТ-2,2 и ЛД-10 привела к среднегодовым потерям почвы порядка 1,4—1,9 т/га. Наименьшие потери были при обработке культиваторами-плоскорезами-глубокорыхлителями КПГ-250 (0,5—0,8 т/га в год); указанные потери не превышают допустимого предела эрозии.

В результате отвальной вспашки влажность почвы на глубине заделки семян (до 10 см) составляла 13,5%; после рыхления почвы безотвальными орудиями она была значительно выше — 19,8—20,9% (табл. 36).

Таблица 36. Запасы продуктивной влаги в метровом слое чернозема южного в зависимости от обработки почвы из-под кукурузы под посев озимой пшеницы (1965—1966 гг.), мм

Время определения влажности почвы	Озимая вспашка на глубину 25—27 см	Рыхление П-5-35 на глубину 15—18 см	Лущение БДТ-2,2 на глубину 8—10 см	Лущение ЛД-10 на глубину 8—10 см	Рыхление КПЛ-3-100 + БДТ-2,2 на глубину 10—12 см
Влажность на глубине заделки семян, %	43,5	19,8	30,1	20,1	29,9
При посеве	26,6	48,2	67,1	71,4	70,9
Зимой	90,4	92,4	100,0	94,5	85,0
В фазу колошения	70,7	67,0	60,8	50,4	57,2
В фазу молочного состояния — восковой спелости	65,1	51,9	51,0	52,6	51,5

Наименьшие запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы при посеве пшеницы были в варианте с отвальной вспашкой, несколько выше — в варианте с рыхлением корпусным лущильником, наибольшие — при лущении ЛД-10 и рыхлении КПЛ-3-100 + БДТ-2,2.

Зимой запасы влаги выровнялись по всем вариантам, кроме лущения БДТ-2,2, где они достигли 100 мм, и в варианте с рыхлением КПЛ-3-100, где они оказались наименьшими (85 мм). К фазе колошения пшеницы наибольшие расходы влаги были в вариантах с лущением, наименьшие — с отвальной вспашкой. К моменту восковой спелости пшеницы запасы продуктивной влаги выровнялись и достигли 51,0—52,6 мм, за исключением варианта с отвальной вспашкой, где отмечен наименьший расход влаги.

В темно-каштановой почве наибольшие запасы продуктивной массы за осенне-зимний период 1966/67 г. накопились (разница между весенними и осенними запасами) в вариантах с рыхлением культиватором-плоскорезом на глубину 10—12 см (52,0 мм) и с оптимальной вспашкой (42,4 мм); наименьшее количество в варианте с лущением ЛД-10 (29,2 мм).

В среднем за два года по отвальной вспашке темно-каштановой почвы урожайность зерна пшеницы составила 23,9 ц/га (табл. 37 и 38).

Таблица 37. Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от способа основной обработки темно-каштановой почвы, ц/га

Способ обработки почвы	1967 г.	1968 г.	Среднее	Прибавка, ц/га	достоверность прибавки, %
Лущение БДТ-2,2 на глубину 10—12 см	27,6±1,0	23,2±1,3	25,4±1,1	+1,5	1,2
Лущение ЛД-10 на глубину 8—10 см	23,5±0,7	18,5±0,7	21,1±0,7	-2,9	2,6
Рыхление КПГ-250 на глубину 10—12 см	28,6±1,0	24,5±1,1	26,5±2,6	+2,6	2,0
Рыхление КПГ-250 на глубину 20—22 см	25,3±0,5	20,8±0,9	23,0±0,7	-0,9	0,8
Отвальная вспашка плугом П-5-35 на глубину 20—22 см с прикатыванием катком ЗКК (контроль)	26,5±0,18	21,3±0,7	23,9±0,8	—	—

Примечание. Посев пшеницы произведен сеялкой ЛДС-4А.

Таблица 38. Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от способа основной обработки чернозема южного, ц/га

Способ обработки почвы	1964	1965	1966	Среднее	Прибавка, ц/га	достоверность прибавки, %
Обработка лущильником ПЛ-5-25 на глубину 15—20 см	38,9	28,6	37,7	35,1	-0,1	0,87
Лущение БДТ-2,2 на глубину 10—12 см	44,8	31,9	38,5	38,4	+3,2	2,54
Лущение ЛД-10 на глубину 8—10 см	43,4	31,1	38,9	37,8	+2,6	3,05
Рыхление КПЛ-3-100 на глубину 10—12 см	43,8	31,1	38,1	37,7	+2,5	2,81
Отвальная вспашка плугом П-5-35 на глубину 25—27 см + лущение ЛД-10 (контроль)	39,1	28,5	38,1	35,2	—	—

Примечание. Посев произведен сеялкой СУВ-48 в 1963/64 г., СУ-21 — в 1965 г. Достоверность прибавки вычислена по данным урожая 1964 г.

Наибольшая прибавка урожая (2,6 ц/га) была в варианте с рыхлением КПГ-250 на глубину 10—12 см. Анализ структуры урожая озимой пшеницы в указанном опыте свидетельствует о том, что прибавка урожая в этом варианте достигнута в результате большого числа зерен в колосе и массы 1000 семян; в варианте же с лущением БДТ-2,2 прибавка сложилась в результате повышения числа продуктивных стеблей.

В опыте на черноземах южных (табл. 38) на варианте с отвальной вспашкой получено зерна озимой пшеницы 35,2 ц/га. Примерно такая же урожайность была и при обработке почвы корпуским лущильником (35,1 ц/га); наибольшая же урожайность (38,4 ц/га) получена в варианте с лущением БДТ-2,2. При лущении ЛД-10 и рыхлителем КПЛ-3-100 прибавка урожая была примерно одинаковой (2,6—2,5 ц/га).

Снижение урожайности пшеницы связано главным образом с потерями влаги при отвальной обработке почвы, а также с неблагоприятными условиями прорастания семян озимой пшеницы в рыхлой сухой почве. В связи с тем что в момент сева озимых в степи Украины почти всегда стоит засушливая погода, отвальная вспашка почвы ежегодно приводит к снижению урожая озимой пшеницы.

Учитывая, что мелкая основная обработка почвы из-под кукурузы обеспечивает больший урожай, в 1966 г. мы заложили олиг в целях сравнения эффективности рыхления почвы плоскорезом КПГ-250 и лущения БДТ-2,2 на одну и ту же глубину (10—12 см). Оказалось, что в течение трех лет средняя урожайность пшеницы при рыхлении КПГ-250 составила 26,6 ц/га (в 1966 г. — 26,7 ц/га, в 1967 г. — 24,5, в 1968 г. — 28,6 ц/га), а при двукратном лущении БДТ-2,2 — 24,9 ц/га (в 1966 г. — 23,9 ц/га, в 1967 г. — 23,2, в 1968 г. — 27,6 ц/га). Прибавка в пользу рыхления КПГ-250 составила 1,7 ц/га (при достоверности 3,1).

При плоскорезной обработке обыкновенных черноземов Донбасса прибавка урожая озимой пшеницы была на 1,9—3,0 ц/га больше, чем при отвальной вспашке (В. Бураков и др., 1975). Исследования плоскорезной обработки почвы под посев озимой пшеницы после кукурузы показали ее преимущество перед обычной вспашкой (табл. 39). Лишь при обработке почвы с оптимальной влажностью А. П. Спирина и М. И. Грицик (1976) отмечали снижение урожая в варианте с плоскорезной обработкой.

**Задача зяби от ветровой эрозии.** Агротехнические способы почвозащитной обработки почвы под зябь целесообразно рассматривать в зависимости от того, под какие культуры она готовится.

В период эрозионных ветров поверхность зяби должна быть достаточно шероховатой, а в верхнем слое почвы количество эрозионных агрегатов должно быть минимальным.

Высокая шероховатость поверхности поля может быть создана путем безотвальной обработки почвы под зябь после культур сплошного сева. В этом случае, как и после безотвальной обра-

Таблица 39. Урожай озимой пшеницы после кукурузы в зависимости от способа основной обработки почвы, ц/га

Край, область, почва	Обработка почвы		Урожай, ц/га	Авторы
	Отвальная	Плоскорезная обработка		
Ростовская область, приазовский чернозем	21,6	22,8	+1,2	Н. Н. Бородин, 1967
Херсонская область, темно-каштановая почва	23,9	26,5	+2,6	М. Н. Долгилевич и др., 1969
Крымская область, южный чернозем	35,2	37,7	+2,5	
Краснодарский край, предкавказский чернозем	36,5	39,1	+2,6	А. С. Извеков, П. Н. Рыбакин, 1973
То же	37,4	38,3	+0,9	
Николаевская область, солонцеватый чернозем	32,9	36,5	+3,6	Н. Е. Щербак, М. А. Парфенов, 1975
Краснодарский край, предкавказский чернозем	50,1	48,9	-1,2	А. П. Смирин, М. Н. Грицук, 1976
То же	45,2	43,0	-6,1	
Херсонская область, темно-каштановая почва	21,3	27,4	-2,2	Н. Соколенко и др., 1976

ботки почвы под пар, обеспечивается эффективная защита почвы от зимней и ранневесенней ветровой эрозии.

В опытах с аэродинамической установкой на предкавказском карбонатном черноземе выдувание по отвальной обработке зяби под сахарную свеклу составило 42,4 г, по плоскорезной — 6,5 г (Г. Н. Васильев и др., 1973). Запасы влаги весной в метровом слое почвы в варианте с отвальной вспашкой были 145 мм, по плоскорезной обработке — 164 мм; урожайность свеклы на 19 ц/га выше в варианте с плоскорезной обработкой.

В опытах Н. П. Паневского (1958) в степном Крыму при глубокой безотвальной обработке чернозема южного снижение урожайности зерна кукурузы по сравнению с отвальной вспашкой практически не произошло.

При плоскорезной обработке чернозема обыкновенного под кукурузу запасы влаги в полутораметровом слое составили 113—207 мм, при отвальной вспашке — 96—199 мм; урожайность сухой массы кукурузы соответственно равнялась 102 и 95—98 ц/га (Э. И. Венчик, 1973).

Потери предкавказского карбонатного чернозема от выдувания в варианте с отвальной вспашкой составили 36 г, с плоскорезной обработкой — 13 г; запасы продуктивной влаги в полуметровом слое почвы соответственно равнялись 136 и 154 мм, урожайность зерна 19,6 и 20,5 ц/га (М. И. Грицук и др., 1973).

Н. М. Исаева (1974) показала, что при плоскорезной обработке из-под стерневых предшественников остается 260—280 стернок на 1 м<sup>2</sup>, что практически полностью защищает почву от выдувания; урожайность сухой массы кукурузы на 15 ц/га больше по плоскорезной обработке по сравнению с вспашкой.

Положительные результаты с плоскорезной обработкой почвы под кукурузу получены в опытах Б. Тарасенко, Т. Доценко (1975) и Ю. Позднякова (1975), И. Е. Щербака и М. А. Парфенова (1975), А. П. Смирнина и М. И. Грицку (1976).

Таким образом, при безотвальной и плоскорезной обработках почвы, повышение шероховатости поверхности поля, применение стерневых и бороздковых сеялок потери почвы от ветровой эрозии значительно снижаются. Однако из-за небольшого количества пожнивных остатков в полях после пропашных культур шероховатость поверхности недостаточно высокая, особенно на легких и карбонатных почвах.

Высокий почвозащитный эффект достигается путем плоскорезной обработки почвы после зерновых колосовых, хотя в ряде районов основная обработка почвы культиваторами-плоскорезами по сравнению с отвальной вспашкой приводит к снижению урожайности озимой пшеницы.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЛЕСНЫХ ПОЛОС В БОРЬБЕ С ПЫЛЬНЫМИ БУРЯМИ

Почвозащитная эффективность систем лесных полос зависит от режима скорости ветра, продолжительности воздействия его на почву, податливости почвы ветру, шероховатости поверхности поля и закономерностей воздушного потока в системе лесных полос.

Для выбора оптимальных размеров систем лесных полос необходимо изучить общие закономерности воздушного потока в системе лесных полос и связанные с ним переносы мелкозема.

На основании теоретических расчетов А. Р. Константинов (1951) пришел к выводу, что система лесных полос на скорость ветра действует как подстилающая поверхность с большими выступами шероховатости, и это действие зависит от густоты сети полос. При расстоянии между полосами 40Н (Н — высота полосы) должно происходить восстановления скорости ветра до скорости в открытом поле. Б. В. Карузин считал, что это расстояние равно 50Н.

Эксперименты Вудраффа и Зингга (N. P. Woodruff and A. W. Zingg, 1955) в аэродинамической трубе, подтвержденные натурными исследованиями, показали, что в системе суговых щитов наиболее сильно снижает скорость ветра первый щит; это подтверждают и натурные исследования А. М. Степанова (1959).

Исследования, проведенные Степлом и Лехейном (1957) в аэродинамической трубе, показали, что при ширине межполосной

клетки ЗИИ скорость ветра достигает 82% скорости на контроле (открытое поле).

Исследования Н. И. Федотовой (1968) показали, что в системе непротиваемых полос высотой 5–8 м, заложенных через 300–900 м, скорость слабого ветра снижается до нуля, умеренного — до 70–80%; лишь на расстоянии 30–40Н от лесополосы в системе скорость ветра приближается к полевой.

Г. И. Матякия (1952) установил отсутствие постепенного снижения скорости ветра в системе лесных полос.

**Влияние систем полезащитных лесных полос на скорость ветра.** Исследования влияния системы лесных полос на скорость ветра выполнены автором книги совместно с Ю. И. Васильевым с использованием методов моделирования в аэродинамической трубе.

Для экспериментов выбраны системы из моделей лесных полос ажурной, продуваемой и непротиваемой конструкции. Ажурные и продуваемые модели выбраны оптимальными. Ажурность первых 40%, вторых — в кроне 30%, между стволами 60%; высота кроны 0,2Н.

Исследования показали, что распределение скоростей потока в межполосных пространствах зависит от конструктивных особенностей моделей, схемы их размещения и местонахождения в системе, а также от параметра шероховатости подстилающей поверхности.

При минимальной шероховатости ( $Z_0=0,004$  мм) поток наиболее сильно деформируется при обтекании моделей непротиваемых полос (рис. 22). Перераспределение скоростей таково, что в результате снижения скорости в пристеночном слое возрастают скорости над моделями. Причем с уменьшением межполосного расстояния это перераспределение проявляется сильнее и превышает высоту ЗН.

С заветренной стороны моделей непротиваемых полос в системе сохраняются области с обратными токами воздуха. Образование их на заветренной стороне непротиваемой лесной полосы вызвано следующим. При набегании потока на модель непротиваемой лесной полосы часть его отсекается под некоторым углом вверх. Над моделью на высоте до 3Н скорость потока резко возрастает, что вызывает засасывание нижних струй воздушного потока. В связи с этим за моделью образуется зона низкого давления, простирающаяся до 12Н в заветренную сторону, в пределах которой максимум падения давления ( $3,8 \text{ кг}/\text{м}^2$ ) находится на расстоянии 1–5Н (табл. 40).

Образование зоны низкого давления обуславливает затекание сюда воздушных струй. Поэтому и скорость в пределах 0–9Н с заветренной стороны направлена к модели. Величина скорости, направленной к модели, достигает 4 м/с при скорости потока на высоте модели 10 м/с.

Наличие обратных воздушных токов с заветренной стороны лесных полос в изнуре установил также W. Sturrok (1969).

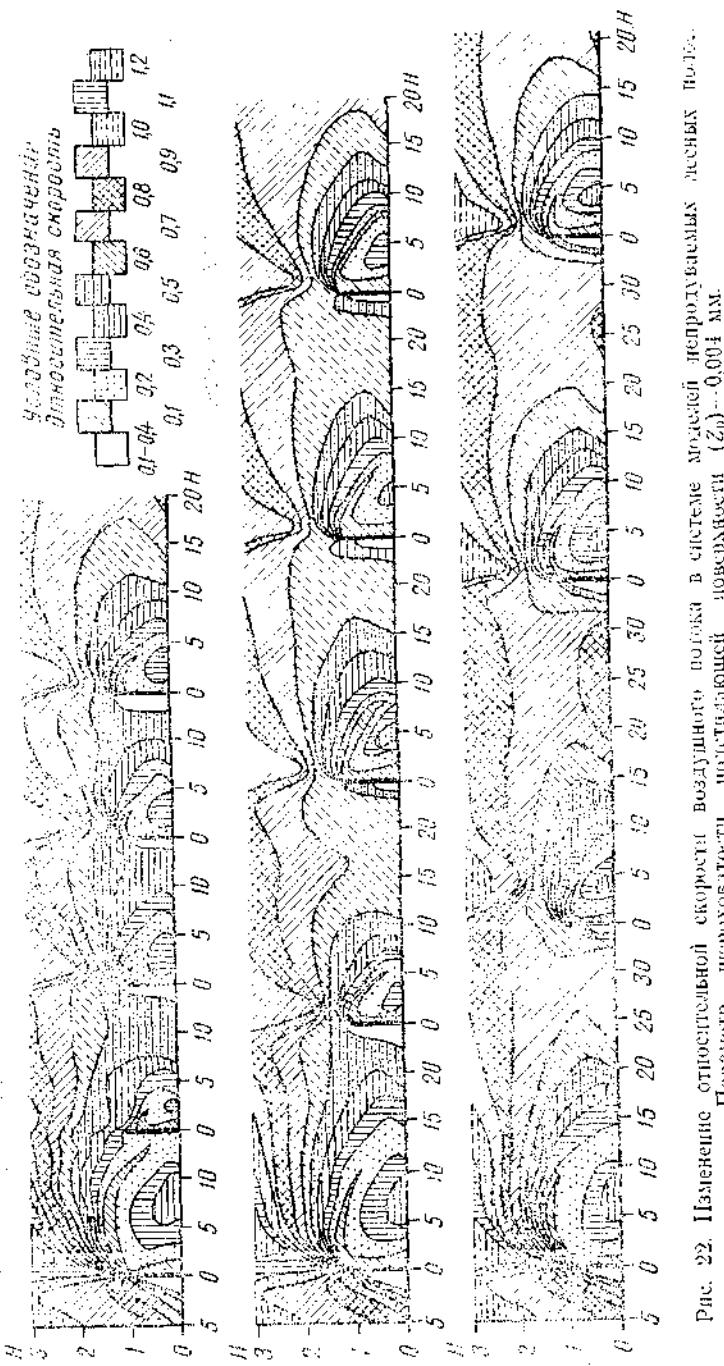


Рис. 22. Изменение относительной скорости воздушного потока в системе моделей непротиваемых лесных полос.  
Параметр шероховатости подстилающей поверхности ( $Z_0$ ) = 0,004 мм.

Таблица 40. Распределение статического давления ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) на разном расстоянии от моделей лесных полос при скорости потока 10 м/с

Характеристика модели	$z/H$	При расстоянии от модели $2H$									
		Заветренная сторона:									
		1	1	2	3	5	10	12	16	22	40
Без модели		+0,2	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5
Непротивляемая		+2,6	-3,6	-3,7	-3,8	-3,8	-2,3	-1,4	-0,5	-0,5	-0,5
Ажурная: 40%		+1,9	-1,9	-1,6	-1,6	-1,4	-1,3	-1,1	-0,8	-0,7	-0,5
60%		+1,1	-1,0	-1,0	-0,8	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5
50%		+2,0	-1,9	-1,8	-1,7	-1,5	-1,5	-1,4	-1,0	-0,6	-0,5
Продуваемая (светопроницаемость в кроне 30%, между стволами 60%; высота кроны $0,2H$ )		+1,9	-2,5	-2,2	-2,0	-1,5	-1,1	-1,1	-0,7	-0,6	-0,5
Продуваемая (светопроницаемость в кроне 30%, между стволами 60%; высота кроны $0,3H$ )		+1,8	-2,9	-2,0	-1,8	-1,3	-1,0	-0,9	0,6	-0,6	-0,5
Продуваемая (светопроницаемость в кроне 30%, между стволами 60%; высота кроны $0,5H$ )		+1,5	-2,1	-1,6	-1,3	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5

Таким образом, скорость воздушного потока, начиная с  $3-5H$ , быстро возрастает и достигает исходной на расстоянии  $50H$  с заветренной стороны.

Данные об определении вектора скорости показывают, что в точке  $9H$  с заветренной стороны поток растекается по подстилающей поверхности. Одна из струй потока, затекающая сверху, имеет то же направление, что и весь поток, другая — противоположное. Но поступление части потока в область низкого давления за моделью оказывается недостаточным для восстановления атмосферного давления, в связи с этим здесь давление всегда меньше.

Обтекание ажурной модели и непротивляемой идентично. За ажурной моделью нет такого резкого падения воздушного потока, а обтекание происходит более плавно. Главную роль в этом играет та часть потока, которая проходит через модель; определенную роль играет также часть потока, обтекающая модель. С увеличением ажурности часть потока, обтекающая модель, уменьшается. Это, в свою очередь, снижает потенциальную возможность потока. Описанное явление становится более понятным,

если рассмотреть векторное поле той части потока, которая прошла сквозь модель. Разложив каждый вектор на составляющие, можно увидеть, что вертикальная составляющая направлена вверх, тем самым она как бы подпирает поток и не дает ему резко опуститься вниз.

За моделью ажурных лесных полос также падает давление; но абсолютной величине оно меньше, чем за моделью непротивляемой лесной полосы, и составляет  $0,5-1,9 \text{ кг}/\text{м}^2$ . С увеличением ажурности падение статического давления меньше (рис. 23). По этим причинам обратных воздушных токов за ажурными лесными полосами не образуется.

У моделей лесных полос продуваемых конструкций обтекание более сложное из-за неравномерности распределения отверстий по площади модели. Поскольку модели этого типа большие просветлены в нижней части по сравнению с верхней, поток сжимается в нижней их части и модели действуют, как конфузоры (Я. А. Смалько, 1963).

С заветренной стороны такой модели поток растекается, и за малопроницаемой их верхней частью создается зона пониженного атмосферного давления, которое, видимо, тем меньше, чем меньше проницаемость. В отличие от непроницаемого экрана, при котором обтекание происходит только сверху, у моделей продуваемых лесных полос происходит обтекание малопроницаемого экрана (крон деревьев) и сверху, и снизу. Об этом свидетельствует векторное поле скоростей. Горизонтальная составляющая скорости потока с заветренной стороны уменьшается, и на расстоянии  $1H$  скорость составляет  $0,68-0,89$  от скорости в той же точке без модели. Таким образом, поджатие потока (конфузорный эффект) не распространяется на значительное расстояние от модели, хотя отражается на общем увеличении скорости потока с заветренной стороны модели.

Чем больше высота верхней части ( $h_1$ ), тем меньше зазор между ней и полом аэродинамической установки и большее степень поджатия  $\frac{h_1}{H}$  (табл. 41). Скорость потока определяется на высоте  $Z$ , равной половине зазора. Из данных таблицы видно, что по мере сжатия потока наблюдается сначала увеличение относительной скорости, а затем уменьшение, что вызвано потерей скорости потока на трение и повышенением сил вязкости воздуха при относи-

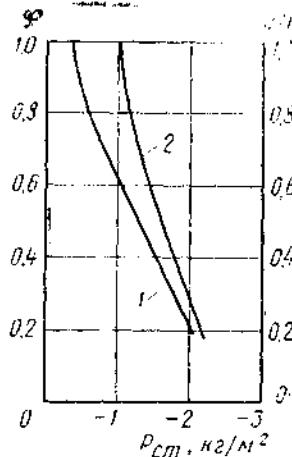


Рис. 23. Зависимость статического давления ( $P_{st}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ) на расстоянии  $2H$  от коэффициента просветленности ( $z$ ) моделей ажурных полос (1) и от высоты разрезенной части моделей продуваемых полос (2).

Таблица II. Отношение скоростей  $\frac{v}{v_0}$  в заветренной зоне моделей продуваемых лесных полос, светопроницаемость которых в верхней части 30%, в нижней 60% при  $v_0 = 10$  м/с

Виды шероховатости зона просветленности 30%	Высота $H$ , см	Степень поджатия потока $(h_0/H)$	$\frac{v_z}{v_{0z}}$ на расстоянии		
			0,5 $H$	1 $H$	2 $H$
0	10	0	0,6	0,6	0,6
5	10	0,5	1,0	0,9	0,8
7	10	0,7	0,8	0,7	0,7
8	10	0,8	0,8	0,8	0,8
10	10	1,0	0,2	0,2	0,2

гельно небольшом числе Рейнольдса в расчете на толщину проходящего в зазоре потока. Наибольшая относительная скорость потока на расстоянии  $0,5H$  отмечена при степени поджатия 0,5. По мере удаления от модели скорость потока несколько уменьшается.

Таким образом, поджатие потока не всегда сопровождается усилением скоростей потока с заветренной стороны моделей. Над моделью, как и в латуре над лесной полосой, поток воздуха не ограничен, поэтому значительная часть потока по мере уменьшения просвета в нижней части модели (между стволами) обтекает модель сверху. Область взаимодействия струй потоков, обтекающих малопроницаемый экран (кроны деревьев) сверху и снизу, отодвигается от подстилающей поверхности.

Общим для моделей лесных полос продуваемой конструкции является то, что в заветренной их зоне быстрее восстанавливается нормальное положительное давление, что ведет к сокращению зоны влияния их на поток.

Модели продуваемых лесных полос характеризуются довольно низким статическим давлением на заветренной стороне (см. табл. 40). Причины, обусловливающие здесь низкое статическое давление, несколько иные, чем в случае непротивляемых ажурных моделей. Главная причина состоит в том, что с заветренной стороны модели струи потока изгибаются вверх, в сторону некоторого разрежения за решетчатой частью. Поскольку скорость струй большая, засасываются нижние слои потока, и статическое давление падает. На заветренной стороне последние тем меньше, чем выше степень поджатия потока (см. рис. 23). Обратных токов на заветренной стороне продуваемых моделей также не образуется.

Вернемся к рассмотрению закономерностей ветрового режима в системе лесных полос.

Наиболее эффективно скорость ветра снижает первая модель, наименее — вторая и третья. С увеличением параметра шероховатости подстилающей поверхности кинематическая схема потока

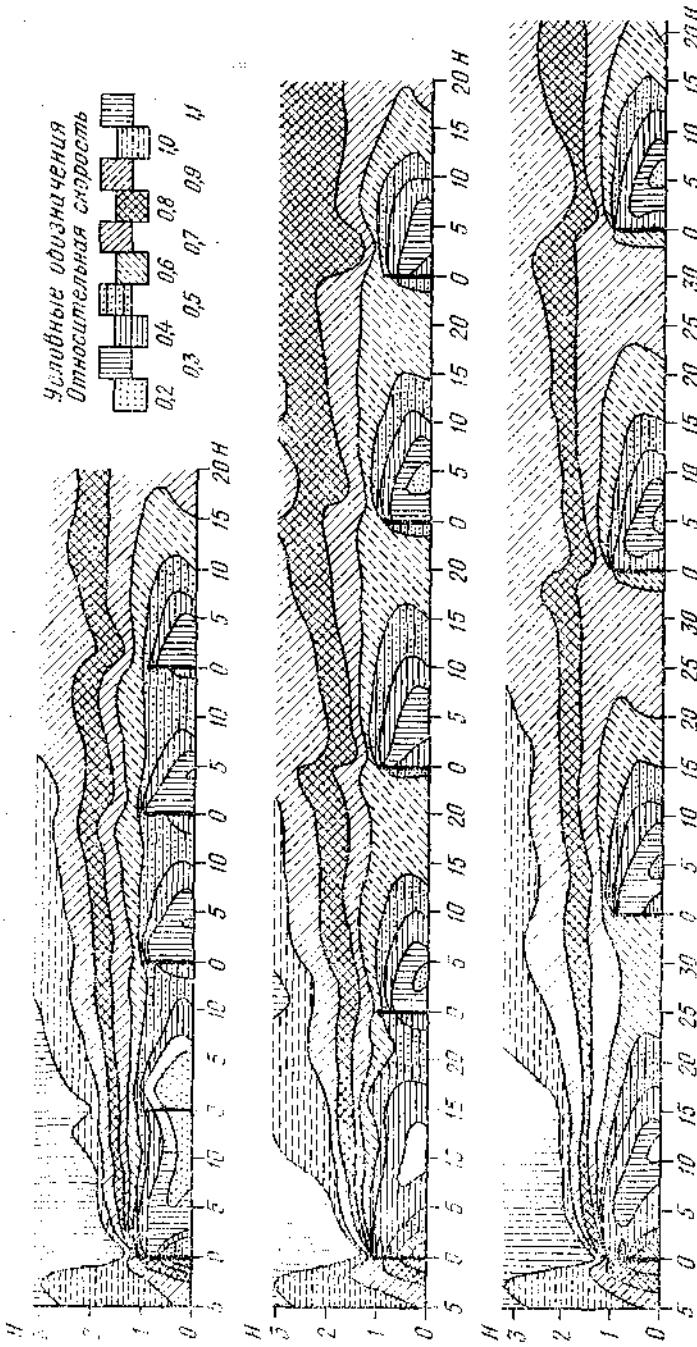


Рис. 24. Изменение относительной скорости ветрового потока в системе моделей лесных полос. Параметр шероховатости подстилающей поверхности  $(Z_0) = 0,004$  м.

изменяется незначительно. Увеличение межполосного расстояния приводит к узконаправленной зоне с низкими относительными скоростями на всех межполосных пространствах, кроме первого.

При больших расстояниях между полосами ( $L=35H$ ) в области 19–31Н во втором и 23–28Н в третьем межполосных пространствах у подстилающей поверхности наблюдаются зоны повышенных скоростей.

Режим скорости в каждом предыдущем межполосном пространстве влияет на режим скорости в каждом последующем пространстве: если в предыдущем межполосном пространстве зоны относительных скоростей возрастают, то в последующем укорачиваются, и наоборот, до тех пор, пока процесс не стабилизируется. Постепенного снижения скорости потока в глубь системы не наблюдается.

При обтекании систем, состоящих из моделей ажурных полос, поток подвергается меньшей деформации (рис. 24). Вертикальные профили скоростей характеризуются меньшими градиентами по сравнению с таковыми в системе непрородуемых полос, а линии одинаковых скоростей имеют более пологий вид.

Область действия систем на воздушный поток по вертикали также превышает 3Н, но это превышение начинается только за четвертой моделью лесополосы (с размещением через 15Н) и соответственно за третьей и второй (с размещением через 25 и 35Н). С паветренной стороны поток деформируется меньше. За первой моделью лесополосы непосредственно у поверхности пола наблюдается область повышенных скоростей, за последующими моделями ее нет.

Наиболее эффективно снижает скорость потока первая модель системы, менее эффективно — вторая, за последующими моделями скоростное поле стабилизируется.

Более сложная картина обтекания наблюдается в системе из моделей прородуемых полос. Нижняя часть моделей с высокой ветроизносимостью способствует образованию областей повышенных скоростей с заветренной стороны в непосредственной близости от модели. Наиболее сплошное повышение скорости и большая протяженность зон с повышенными скоростями наблюдаются за первой моделью системы, за последующими моделями эта область значительно меньших размеров (рис. 25).

На высоте 0,7Н формируется область минимальных скоростей с горизонтальной протяженностью около 3Н. С увеличением межполосного пространства до 35Н в зоне 24–31Н во втором и 24–29Н в третьем межполосном пространстве скорость потока у поверхности пола достигает больших значений.

В течение года шероховатость поверхности почвы не остается постоянной. Она возрастает с ростом сельскохозяйственных культур. Для обеспечения защиты почвы от ветровой эрозии важно иметь высокую шероховатость поверхности почвы весной. Поэтому закономерности кинематики воздушного потока в зависимости

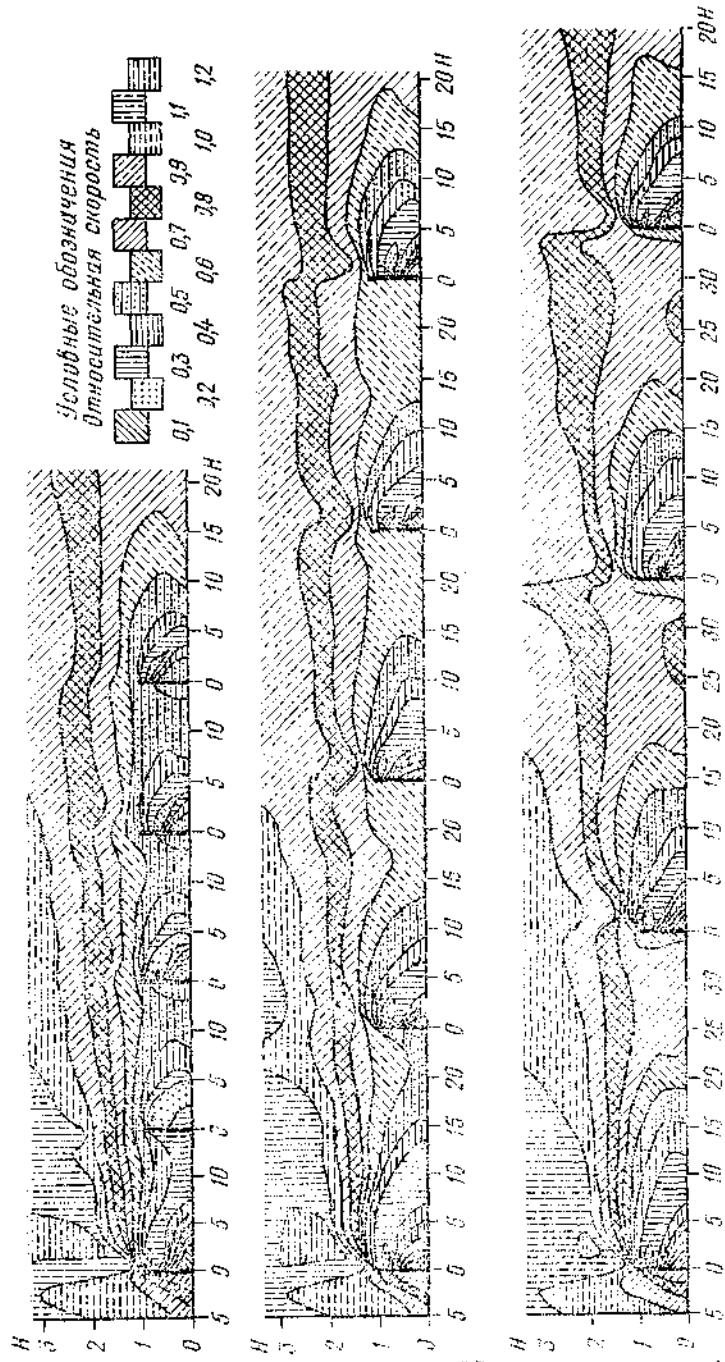


Рис. 25. Изменение относительной скорости воздушного потока в зависимости от межполосного пространства при различных высотах полета. Наряду с первым изображением, на рисунке показано, что для каждого изображения высота полета  $H$  – 0,091 м.

от шероховатости подстилающей поверхности в системе лесных полос имеют практическое значение.

Рассмотрим влияние шероховатости подстилающей поверхности на кинематику воздушного потока в системе лесных полос. При параметре шероховатости, достигающем 0,42 мм, и при размещении непрородуваемых моделей через 15—25Н наибольшая вихревая область наблюдается за первой ветроударной моделью. Однако увеличение шероховатости ведет к сокращению вихревой области. Так, с увеличением  $Z_0$  от 0,004 до 0,42 мм протяженность вихревой области сокращается с 7 до 2Н. Сокращение вихревых областей происходит в большей мере за первой моделью и незначительно за последующими.

Встречая системы-модели ажурных и продуваемых полос, воздушный поток раздваивается: часть его отбивается вверх и обтекает полосы сверху, другая часть проходит через полосы. Пропуская часть потока через себя, модели этих полос деформируют и турбулизируют его в меньшей степени. Поле скоростей и давлений на межполосных пространствах более выровненное. Формирование сильных вихревых течений не происходит. Высокие градиенты скорости потока сохраняются лишь у подстилающей поверхности в системе продуваемых лесных полос. Область высоких скоростей занимает пространство до 6Н.

При минимальной шероховатости подстилающей поверхности область относительных скоростей 30—40% в системе ажурных моделей в зависимости от их размещения занимает пространство 7—18Н, в системе продуваемых — 7—16Н. В вариантах с более высокой шероховатостью на межполосных клетках скорости восстанавливаются быстрее, поэтому области с такой скоростью занимают пространство до 15Н.

Если взять зону, в которой относительная скорость снижена на 50%, то при размещении ажурных и продуваемых полос через 35Н с увеличением  $Z_0$  от 0,004 до 0,42 мм эта зона сократится на 14—11Н в первом межполосном пространстве и на 4—8Н во втором, третьем и четвертом. В варианте с  $L = 25\text{H}$  эти величины были соответственно равны 17—11Н и 6—8Н.

Изучение влияния шероховатости подстилающей поверхности позволяет правильно сделать расчет межполосного расстояния для обеспечения защиты почвы от ветровой эрозии в весенний период, когда известен параметр шероховатости поверхности пашни. В связи с этим представляется интерес режим скоростей воздушного потока у подстилающей поверхности.

В зоне влияния моделей непрородуваемых полос, входящих в систему, скорость минимальна в двух местах — непосредственно на заверенной кромке модели и на расстоянии от 2 до 12Н, в зависимости от межполосных расстояний и шероховатости подстилающей поверхности, где поток как бы раздваивается: направление одной части потока совпадает с направлением общего потока, вторая часть движется в обратном направлении. С приближением (от

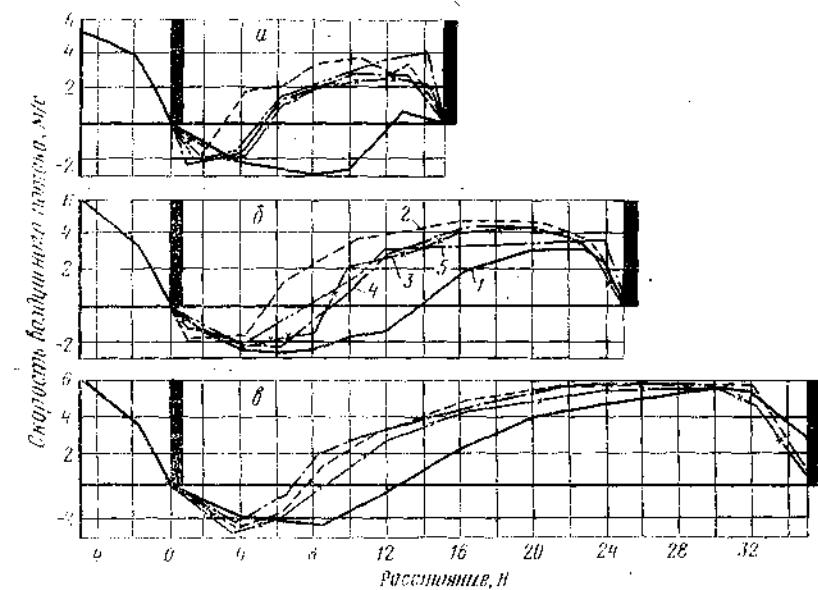


Рис. 26. Изменение скорости воздушного потока на высоте 0,2Н в системе моделей непрородуваемых лесных полос:  
а) 15Н; б) 25Н; в) 35Н;  $Z_0 = 0,001$  см. Цифры на графиках (здесь и на рис. 27—33) — номера межполосных пространств.

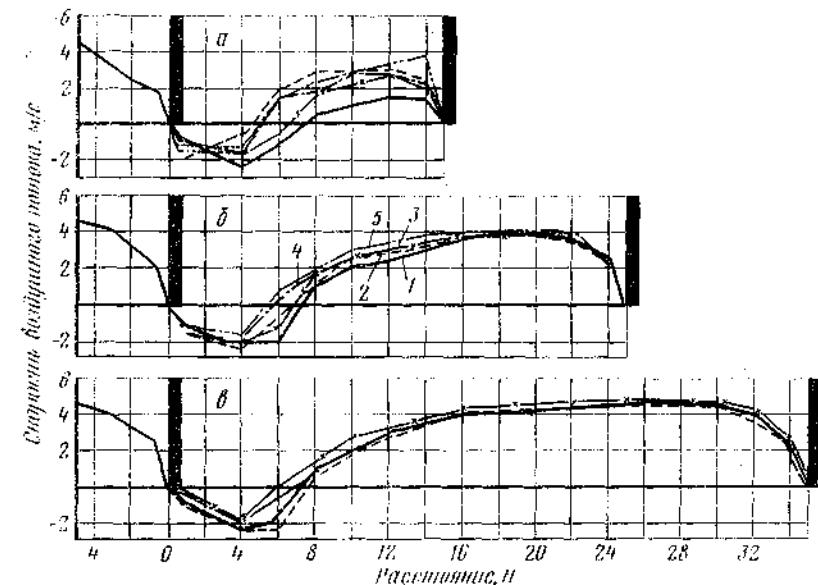


Рис. 27. Изменение скорости воздушного потока на высоте 0,2Н в системе моделей непрородуваемых лесных полос:  
а) 15Н; б) 25Н; в) 35Н;  $Z_0 = 0,32$  мм.

данной точки) к модели скорость потока сперва возрастает, затем, достигнув определенной величины, уменьшается; с удалением от указанной точки в направлении основного потока скорость быстро возрастает (рис. 26, 27).

При увеличении шероховатости подстилающей поверхности зоны обратных воздушных токов незначительно перераспределяются.

Максимальная скорость обратных токов в варианте с  $Z_0 = 0,133$  мм и  $L = 15H$  находится на расстоянии  $6H$  за первой моделью,  $1-3H$  за второй и последующими моделями; в варианте  $L = 25-35H$  эти величины равны  $6-5H$  и  $2-5H$ . Абсолютные значения скорости достигают  $2,7 \text{ м/с}$  при  $V_0 = 10 \text{ м/с}$ . С увеличением параметра шероховатости максимальная скорость обратных токов приближается к заветренной стороне каждой модели в системе.

При расположении моделей через  $15H$  максимальное значение скорости потока составляет  $36-51\%$  исходной при  $Z = 0,004$  мм,  $44-58\%$  при  $Z = 0,133$  мм и  $42-56\%$  при  $Z_0 = 0,42$  мм; через  $35H$  — соответственно  $70-79$ ,  $80-82$  и  $82-86\%$  (табл. 42).

Кривые изменения скоростей потока в межполосных пространствах системы моделей ажурных полос имеют иной характер. Здесь нет областей с обратными токами, форма кривых распределения скоростей очень пологая. Однако и здесь режим скорости зависит от тех же параметров, что и для моделей непродуваемых полос (рис. 28, 29).

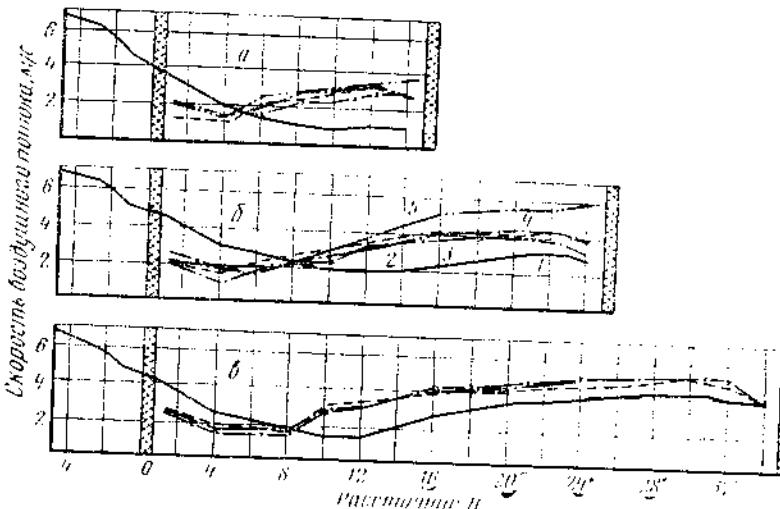


Рис. 28. Изменение скорости воздушного потока на высоте  $0,2H$  в системе моделей ажурных лесных полос:  
L: 15H (a), 25H (b), 35H (c);  $Z_0=0,004$  мм.

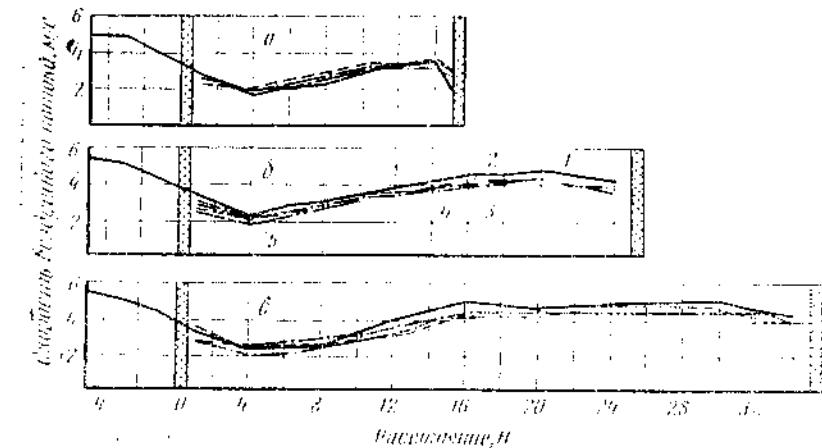


Рис. 29. Изменение скорости воздушного потока на высоте  $0,2H$  в системе моделей ажурных лесных полос:  
L: 15H (a), 25H (b), 35H (c);  $Z_0=0,42$  мм.

На межполосных пространствах скорость не снижается до 0. При размещении моделей через  $15H$  минимальное значение скорости составляет  $12-37\%$  исходной, при размещении через  $25H$  —  $16-40\%$ , через  $35H$  —  $22-39\%$ . Минимальная скорость будет на расстоянии  $10H$  за первой моделью,  $4H$  за последующими, если параметр шероховатости составляет  $0,004$  мм; с увеличением параметра шероховатости до  $0,42$  мм минимальная скорость потока будет на расстоянии  $4-6H$  с заветренной стороны модели.

При размещении моделей через  $15-35H$  поток не набирает исходной скорости. Так, максимальная относительная скорость потока при размещении моделей через  $15H$  достигает  $18-61\%$ , через  $25H$  —  $44-78\%$ , через  $35H$  —  $61-87\%$ , в зависимости от параметра шероховатости (табл. 42).

Таблица 42. Максимальная относительная скорость потока на высоте  $0,2H$  в системе моделей лесных полос, %

Конструкция	Расстояние между моделями (H)	Параметр шероховатости, мм	Номинальные значения			
			1	2	3	4
Непродуваемая	15	0,004	36	51	39	43
	15	0,133	46	58	44	46
	15	0,42	42	56	49	49
	25	0,004	44	65	62	62
	25	0,133	56	72	62	66
	25	0,42	74	74	73	74

*Продолжение*

Конструкция	Расстояние между моделями ( $H$ )	Параметр шероховатости, мм	Номера межполосных пространств			
			1	2	3	4
Ажурная	35	0,004	70	79	73	—
	35	0,133	81	80	82	—
	35	0,42	83	82	86	—
	15	0,004	18	48	43	46
	15	0,133	44	56	51	51
	15	0,42	60	61	61	58
	25	0,004	44	62	58	62
	25	0,133	67	71	66	73
	25	0,42	76	76	75	78
Продуваемая	35	0,004	61	72	71	—
	35	0,133	80	81	80	—
	35	0,42	87	87	85	—
	15	0,004	28	44	49	47
	15	0,133	47	61	58	54
	15	0,42	56	62	61	61
	25	0,004	52	65	61	66
	25	0,133	69	71	68	69
	25	0,42	78	78	75	77
Ажурная	35	0,004	72	74	73	—
	35	0,133	81	77	86	—
	35	0,42	89	87	85	—

Особенности конструкции моделей продуваемых лесных полос таковы, что кинематика и динамика потока в системе моделей сохраняются (рис. 30 и 31).

Непосредственно за моделями лесных полос образуются области повышенных скоростей протяженностью 2–5 $H$ . Минимум скоростей наблюдается на расстоянии 4–10 $H$ , в зависимости от межполосного расстояния, местонахождения моделей в системе и шероховатости подстилающей поверхности. Максимальная скорость в межполосных пространствах и скорость в точке ее минимума в системе продуваемых лесных полос несколько выше, чем в системе ажурных моделей.

В системе моделей продуваемых лесных полос минимальная относительная скорость при размещении моделей через 15 $H$  достигает 14–36%, через 25 $H$  — 22–44%, через 35 $H$  — 22–40%; максимальные относительные скорости соответственно равны 28–62, 52–78 и 72–89%.

Проведенные исследования позволили установить важные закономерности ветрового режима в системе лесных полос. Он зависит от конструкций лесных полос, входящих в систему, расстояний между полосами и параметра шероховатости подстилающей поверхности.

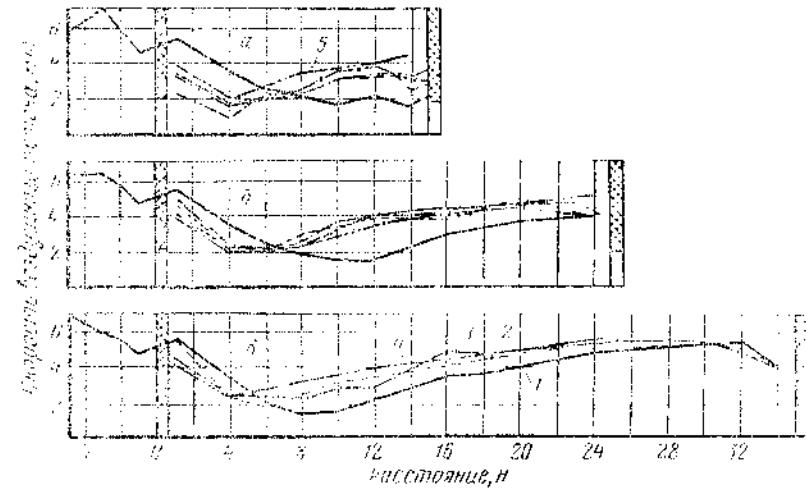


Рис. 30. Изменение скорости воздушного потока на высоте 0,2 $H$  в системе моделей продуваемых лесных полос:  
L=15H (a), 25H (b), 35H (c); Z<sub>0</sub>=0,004 мм.

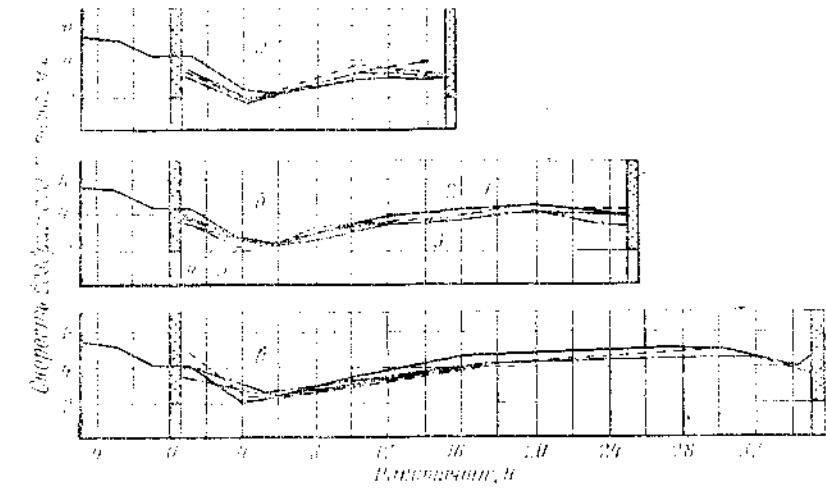


Рис. 31. Изменение скорости воздушного потока на высоте 0,2 $H$  в системе моделей продуваемых лесных полос:  
L=15H (a), 25H (b), 35H (c); Z<sub>0</sub>=0,42 мм.

Таким образом, скорость воздушного потока имеет связь с основными параметрами системы:

$$\frac{v}{v_0} = f(L, Z_0, K), \quad (25)$$

где  $K$  — конструктивный параметр;  $L$  — расстояние между лесными полосами, выраженное в их высотах.

Для расчета расстояний между лесными полосами интерес представляет зависимость между этими расстояниями и относительной скоростью ветра.

Используя экспериментальные данные и решая систему параметрических уравнений, мы нашли, что зависимость между межполосным расстоянием и максимальной относительной скоростью потока в системе ажурных лесных полос при параметре шероховатости 0,7 см в натуре выражается формулой:

$$\lg L = 1.2 \frac{v}{v_0} + 0.58. \quad (26)$$

Ю. И. Васильев разработал математическую модель, объединив в ней основные параметры системы лесных полос (М. И. Долгилевич, Ю. И. Васильев, 1974):

$$L_n = \frac{4Hv_0^{2.5} z_0^{-0.066} + 32.6 v^{2.5} H^{1.066}}{v_0^{2.5} z_0^{0.066}},$$

$$L_a = \frac{3Hv_0^{2.5} z_0^{0.105} + 28.4v^{2.5} H^{1.105}}{v_0^{2.5} z_0^{0.105}}, \quad (27)$$

$$L_u = \frac{4Hv_0^{2.5} z_0^{0.1} + 25.3 v^{2.5} H^{1.1}}{v_0^{2.5} z_0^{0.1}}.$$

Здесь  $L_n$ ,  $L_a$  и  $L_u$  — расстояния между непродуваемыми, ажурными и продуваемыми лесными полосами.

По данным максимальных скоростей ветра в системе лесных полос, измеренных в натуре и по математической модели (27), рассчитаны межполосные расстояния. Полученные результаты совпадают с этими данными (табл. 43).

**Почвозащитные свойства одиночных лесных полос и их систем.** Приведенные экспериментальные материалы свидетельствуют об определенных закономерностях кинематики и динамики воздушного потока при воздействии на него моделей лесных полос различных конструкций и выступов шероховатости подстилающей поверхности. Эффективное воздействие моделей полос на поток должно рассматриваться с точки зрения почвозащитных свойств лесных полос.

Обычно критерием эффективности той или иной полосы служит снижение скорости ветра на 10% или ниже; данный критерий ничего общего с оценкой почвозащитных свойств лесных полос не имеет. В связи с этим в литературе появились предложения оценивать почвозащитную эффективность лесных полос по максимально допустимой скорости ветра, при которой не происходит

Таблица 43. Сравнение расстояний между лесными полосами, рассчитанными по данным скоростей ветра в системе и определенных в натуре

Авторы	Конструкция лесных полос	Высота полосы, м	Максимальная относительная скорость ветра в системе, %	Расстояния между лесными полосами, м натуру- ные	расчи- танные
У. Стейл и Дж. Лехайн (1957)	Непродуваемая	6	82	198	204
П. К. Винокурова (1970)	Непродуваемая	20	48	260	240
	Непродуваемая	20	80	650	674
М. П. Долгилевич, А. Н. Сажин, В. П. Попов (1973)	Непродуваемая	7,3	61	135	146
	Ажурная	7,5	56	120	115
Н. Т. Химши, П. Ф. Химши (1970)	Ажурная	5,5	82	181	187
	Ажурная	6	89	240	262
	Ажурная	9	71	220	230

выдувания и транспортировки почвенных частиц (критическая скорость ветра).

Впервые такую оценку предложил Б. В. Дзетовецкий (1939), на нее обращали внимание А. Е. Дьяченко и Л. Т. Земляницкий (1946), а также Г. И. Матякин (1952); теоретически ее разрабатывал В. В. Звонков (1963) и применяли в расчетах Д. Л. Арманд (1960) и А. В. Гвоздиков (1961, 1964).

Ю. К. Теленек (1960) предложила оценивать почвозащитную эффективность лесной полосы по расстоянию, на котором под влиянием полосы скорость ветра на высоте 0,15 м не превышает 5 м/с независимо от скорости ветра перед полосой, вне ее влияния.

Б. Б. Дзетовецкий (1948) разработал формулу расчета ширины поля в заветренную от лесополосы сторону:

$$l_{\text{ши}} = \frac{3.61 H^{1.25} m}{v_0 - v}, \quad (28)$$

где  $H$  — высота полосы, м;  $m$  — густота полосы;  $v$  — максимальная допустимая скорость ветра;  $v_0$  — скорость ветра в открытом поле.

Наша оценка формулы (28) показала, что расчеты ширины участка поля, на котором обеспечивается эффективное снижение скорости ветра, дают слишком малые величины ширины, а параметр  $m$  недоработан.

В. В. Звонков (1963) считает, что расстояние между лесными полосами, при котором не должно быть ветровой эрозии, равно

расстоянию от полосы до места, в котором скорость ветра соответствует второй критической скорости — скорости отрыва почвенных частиц и начала их полета в воздухе. Высота лесной полосы должна соответствовать максимальной высоте полета частицы:

$$h_a = \frac{(v - v_{kp})^2}{2g}. \quad (29)$$

Тогда максимальное расстояние между лесными полосами ( $B_m$ ) будет равно:

$$B_m = h_a \left( \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_1} + \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_2} \right), \quad (30)$$

где  $\alpha_1 = 6,5^\circ$ ,  $\alpha_2 = 4,5^\circ$ .

По В. В. Звонкову, расстояние между лесными полосами с учетом наиболее часто наблюдаемых скоростей ветра при пыльных бурях ( $v > 15 \text{ м/с}$ ) должно быть в пределах 200—400 м.

Работы названных исследователей наряду с достоинствами имеют существенные недостатки. Так, в них не учитывались конструктивные особенности лесных полос, величина критической скорости для разных почв, обеспеченность максимальными скоростями, кинематика воздушного потока в системе полос. В. В. Звонков все расчеты вел на диаметр изолированной почвенной частицы, равный 0,58 мм, что очень схематично и не соответствует среднему размеру почвенных агрегатов. Кроме того, частица почвы диаметром 0,58 мм не может достигнуть высоты лесополос. Нами это показано выше.

В соответствии с кинематикой воздушного потока в зоне влияния на него модели точки с заданной скоростью потока находятся на разном расстоянии от модели. В некоторых случаях, например при небольшой скорости потока в пограничном слое, может не оказаться областей со скоростью 3—5 м/с и выше.

Иначе говоря, при слабых и умеренных ветрах почвы, для которых необходима повышенная критическая скорость, не будут подвергаться эрозии.

На рисунке 32 представлены графики протяженности зон отсутствия выдувания песка для почв с критической скоростью 4,9 м/с на высоте модели. Возрастание скорости ведет к уменьшению протяженности зон отсутствия дефляции, выраженной в высотах моделей полос. Модели лесных полос ажурной конструкции (особенно 30—40%-ной) характеризуются наибольшей эффективностью.

Приведенные данные справедливы для случая, когда с наветренной стороны каждой изученной лесной полосы ветровой эрозии нет: например, на непаханом поле, на поле под многолетними травами. Тогда с наветренной стороны при сильных ветрах золовый материал не переносится на заветренную сторону лесных полос, поэтому за последней хорошо прослеживается зона, где ветровой эрозии нет.

Чаще на практике ветровая эрозия проявляется и с наветренной стороны одиночно расположенных лесных полос. Золовый материал переносится на заветренную сторону и образует отложения различной мощности и формы. Результаты моделирования данного процесса при скорости  $v_0 = 6 \text{ м/с}$  представлены на рисунке 33. Наибольшую протяженность зоны отсутствия выдувания, равную  $22H$ , имеет модель ажурной лесной полосы 1 (40%-ной). Несколько меньшей эффективностью обладает модель с ажурностью 30%, которой наблюдается больший вынос золового материала. Наименее эффективна модель 4 с ажурностью 60%. Перед этой моделью и непосредственно за ней выдувается большое количество песка, который образует мощное отложение на заветренной части в пределах до  $22H$  с максимумом на расстоянии  $6H$ . В конце шлейфа процесса выдувания резко преобладает над процессом аккумуляции, и масса выносимого золового материала быстро возрастает.

Перед моделью 3 непродуваемой лесной полосы песка выдувается меньше всего. Как мы уже отмечали, с наветренной стороны скорости воздушного потока резко падают. Вследствие растекания его вдоль модели с наветренной стороны непосредственно у модели образуется желобообразная котловина выдувания. С заветренной стороны этой модели происходит небольшое отложение золового материала. Причина этого явления понятна, так как в зоне  $0$ — $9H$  с заветренной стороны наблюдаются довольно сильные обратные воздушные потоки.

Модели 6—7 лесных полос продуваемой конструкции во-разному защищают песок от выдувания. С наветренной стороны выдувание максимальное у модели 7 с высотой разреженной части 5 см, минимальное у модели с высотой разреженной части 2 см. Процесс стабилизируется в пределах  $3H$  с наветренной стороны. Затем на расстоянии  $1$ — $2H$  начинается преобладание аккумуляции над моделью и с заветренной стороны до  $2H$  происходит сильное выдувание, а вынос песка достигает 60—80% того максимального количества, которое выносится в этом месте без моделей. Вызвано это сохранением здесь высокой скорости потока.

В зоне снижения скорости ниже критической песок выпадает из двухфазного потока и образует мощный шлейф. За ним при возрастании скоростей происходит дальнейшее развитие процессов выдувания, начиная с расстояния  $16$ — $24H$ .

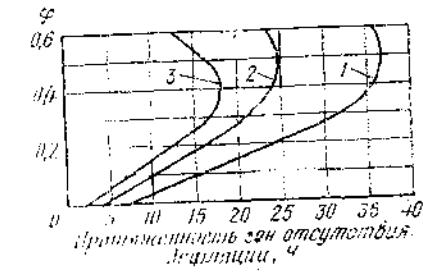


Рис. 32. Зависимость протяженности зон отсутствия дефляции песка от коэффициента престенности  $\tau$  при  $v_0 = 6$  (1), 7 (2), 8,7 м/с (3).

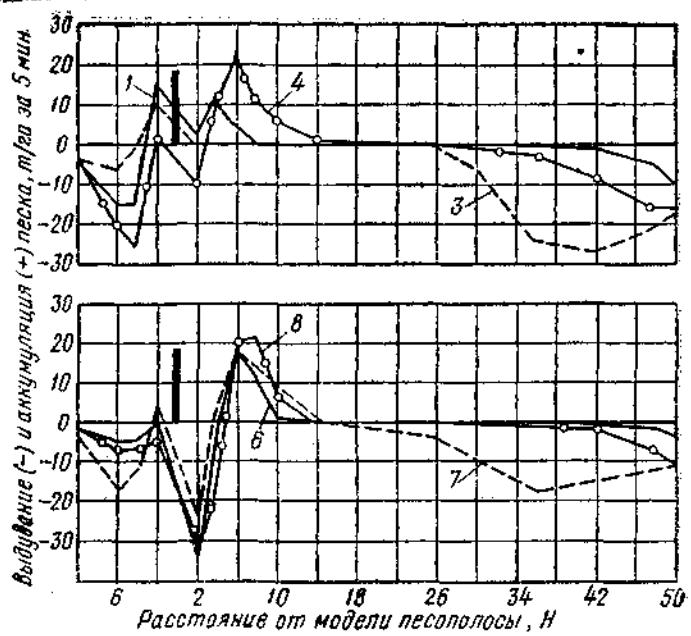


Рис. 33. Дефляция песка с  $v = 5.5$  м/с под влиянием моделей лесополос.  $v_0 = 6$  м/с. Цифрами обозначены номера моделей.

Суммарный вынос песка на расстоянии 0—40Н с заветренной стороны модели ажурной полосы меньше, чем модели продуваемой лесной полосы.

Рассмотрим экспериментальные данные, характеризующие общие закономерности процессов ветровой эрозии в системе лесных полос, полученные нами совместно с А. Н. Сажиным.

При расположении моделей лесополос через  $15H$  и скорости потока  $6 \text{ м/с}$  в межполосных пространствах зоны выдувания песка, критическая скорость для которого составляла  $5,5 \text{ м/с}$ , не образовывались. Исключение представляла система из продуваемых моделей, с заветренной стороны которых образовались зоны выдувания протяженностью до  $2H$ .

С увеличением скорости потока до 7 м/с в системе из моделей непротиводействующих лесополос во всех межполосных пространствах, кроме первого, образовались зоны выдувания песка протяженностью 8—9Н (рис. 34). В системе из моделей противодействующих полос образовались две зоны выдувания: одна располагалась сразу же за моделью протяженностью до 2Н, другая шириной 2—4Н — в межполосном пространстве на расстоянии 6—3Н с чистотройной стороны моделей. В системе из моделей ажурных полос зона выдувания составила 3—4Н и располагалась на расстоянии 7—8Н от заветренной стороны каждой модели системы.

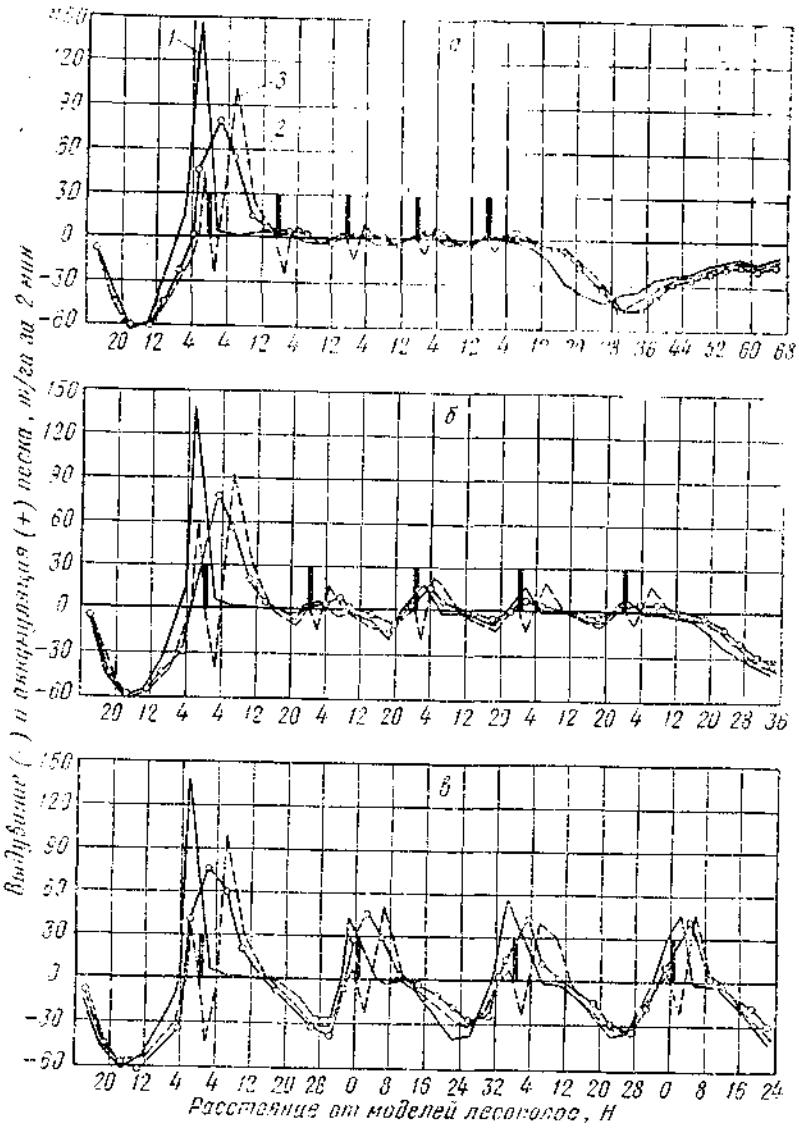


Рис. 34. Влияние системы моделей непрорудываемых (1), ажурных (2) и прорудываемых (3) лесоподошв на дефляцию песка. Средний  $d$  частиц  $0.25 \text{ мм}$ ,  $v_0 = 7 \text{ м/с}$ ,  $v_{\text{кр}} = 5.5 \text{ м/с}$ ,  $L = 16H$  (а),  $24H$  (б),  $36H$  (в).

За последней моделью защитная зона для непродуваемых полос составила  $3H$ , ажурных и продуваемых —  $8H$ .

Увеличение расстояния между моделями до  $25H$  привело прежде всего к образованию зон выдувания в первом межлодосном

Таблица 44. Продолженность зон выдувания ( $H$ ) в системе моделей лесных полос. Опыт с пылеветром с извергнутой стороны системы (диаметр фракции песка  $\leq 0,25$  мм,  $C_{sp} = 5,5$ ,  $M_c = 5,5$  м/с)

расстояние между модельными полосами ( $H$ )	конструкция модельных полос	$v_{w}$ на высоте $2H$ , м/с	Продолженность зоны выдувания с извергнутой стороны моделей ( $H$ )	Коэффициент продуваемости			расстояние от последней модели, с которой начинается зона выдувания ( $H$ )
				1	2	3	
15	Непродуваемая Продуваемая	6 7	6,5 6,5	— 0	— 0,5	— 2,5	16 3
	Ажурная	6 7	2,5 3	— 0	— 0,5	— 2,5	12 8
25	Непродуваемая Продуваемая Ажурная	6 7 6 7 6 7	6,5 6,5 3,5 3,5 3,5 3,5	— 1 — 1 — 1	— 0 — 0 — 0	— 12 12 12 12 12	16 3 17 14 14 14
35	Непродуваемая Продуваемая Ажурная	6 7 6 7 6 7	6,5 6,5 3,5 3,5 3,5 3,5	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	16 3 17 14 14 14

При  $v_w = 5,5$  м/с  
через  $15H$ . Ширина зоны выдувания за моделями непродуваемых полос равна  $7H$ , продуваемых —  $10H$ ; во втором — соответственно  $10$ ,  $14$  и  $14H$ . Затем ширина зон выдувания стала постоянной, сократившись примерно на  $2H$ .

Увеличение межполосных промежутков до  $35H$  приводит к расширению зон выдувания песка. В системе из непродуваемых полос продолжительность зоны выдувания в первом межполосном пространстве составляет  $20H$ , во втором —  $28H$ , в третьем —  $27H$ . В системе из моделей продуваемых полос эти показатели соответственно равны  $18$ ,  $23$  и  $23H$ , а в системе ажурных —  $17$ ,  $21$  и  $21H$ . Опытные данные для критической скорости песка  $5,5$  м/с представлены в таблице 44.

Данные таблицы указывают также на расширение зон выдувания песка по мере увеличения скорости потока. В системе моделей непродуваемых полос, размещенных через  $15H$ , эти зоны по мере увеличения скорости с  $6$  до  $7$  м/с расширяются с  $0$  до  $9H$ ; продуваемых — с  $2,5$  до  $6H$ , ажурных — с  $0$  до  $4H$ . При размещении моделей через  $25H$  эти показатели возрастают соответственно для непродуваемых полос с  $4$ — $19H$  до  $17$ — $18H$ , продуваемых с  $8$ — $14H$  до  $10$ — $13H$ , ажурных с  $0$ — $4H$  до  $7$ — $14H$ . В варианте с размещением моделей через  $35H$  повышение скорости привело к увеличению зон выдувания для продуваемых полос с  $18$ — $20H$  до  $18$ — $23H$ , ажурных с  $10$ — $18H$  до  $17$ — $21H$ . В системе непродуваемых моделей большое перемещение песка сгладило эту закономерность.

Приведенные данные подтверждают выводы о более высокой противоветроэрозионной эффективности систем ажурных лесных полос.

Экспериментальные материалы свидетельствуют о тесной связи между скоростями ветра и выдуванием почвы в системе лесных полос.

Сопряжение исследования скоростей ветра на высоте  $0,4H$  и выдувания песка из лотков, установленных в системе лесных полос, позволило установить тесное соответствие между величинами скоростей ветра и выдуванием почвы. Корреляционные отношения характеризующие связь между этими показателями, довольно высокие ( $r_{w,v} = 0,64$  и  $r_{w,u} = 0,71$ ).

Эта закономерность важна в том отношении, что открывает перспективы для расчета расстояния между лесными полосами.

**Принципы расчета межполосных расстояний в системе ажурных лесных полос на различных землях, подверженных ветровым эрозиям.** Экспериментальные и теоретические материалы позволяют разработать принципы расчетов расстояний между ажурными лесными полосами в системе, проектируемой на землях, подверженных ветровой эрозии, в конкретном районе ветровой эрозии.

Как нам показано, наиболее эффективны в защите почвы от ветровой эрозии ажурные лесные полосы. Система этих полос должна обеспечивать снижение скорости ветра в межполосном пространстве до той величины, при которой либо не будет выдувания почвы, либо выдувание будет невелико (в допустимом пределе). Очевидно, что в первом случае величина скорости ветра не должна превышать критическую для данных почв, во втором — ту скорость, при которой выдувание почвы не будет превышать допустимый предел.

Анализ разработанных расчетных формул, а также процессов ветровой эрозии в системе лесных полос показал, что для полного отсутствия переноса почвенных частиц на межполосных полях необходимы очень небольшие межполосные расстояния, что нецелесообразно с экономической точки зрения.

Вместе с тем расчет межполосного расстояния, допускающий вынос мелкозема почвы в размерах, не превышающих допустимый предел, не оставляет тени сомнения в том, что такое межполосное расстояние будет максимально предельным для данных почвенно-климатических условий или для конкретного района ветровой эрозии. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании системы полезащитных лесных полос в эрозионных районах.

Общие теоретические построения, на которых должны основываться расчеты, следующие.

Система полезащитных лесных полос способна снизить скорость ветра до заданной величины, продолжительность же воздействия ветра на почву сохраняется и в системе. При скорости ветра, уровень которой обеспечивает система лесных полос, и длительности воздействия ветра на почву потери почвы не должны превышать допустимого годового предела.

Максимальная скорость ветра во время пыльных бурь, которую необходимо учитывать в расчетах, должна иметь ту же обеспеченность, что и средние и сильные пыльные бури: на юге европейской части СССР она равна 20% один раз в пять лет.

В расчетах необходимо применять данные о продолжительности только средних и сильных пыльных бурь, ибо слабые пыльные бури не сопровождаются ветровой эрозией, они характеризуют транзитную пыль.

Рассмотрим принципы расчетов межполосных расстояний с учетом допустимого предела ветровой эрозии почв.

**Исходные данные для расчетов.** Для выполнения необходимых расчетов нужны следующие исходные параметры:

- 1)  $v_{\max}$  — максимальная скорость ветра на высоте 10 м во время сильных бурь обеспеченностью один раз в пять лет;
- 2)  $E$  — эродируемость почвы ветром, т/га за час;
- 3)  $E_d$  — допустимый предел эрозии почв, т/га за год;
- 4)  $t_n$  — годовая продолжительность средне- и сильноинтенсивных пыльных бурь, вызываемых ветрами со скоростью выше критической;

5) уравнение вида  $L = f \frac{v^2}{v_{\max}}$  — при параметре шероховатости 0,7 см; это уравнение следует из (26), в котором  $v_n = v_{\max}$ , где  $L$  — расстояние между ажурными полосами в системе ( $H$ );  $v_n$  — допустимая скорость ветра в межполосном зоне, не вызывающая потери почвы выше  $E_d$ .

Все эти параметры получены нами и приводятся в соответствующих главах.

**Пример расчета межполосного расстояния.** Расчитаем расстояние между ажурными лесными полосами в системе, проектируемой на темно-карбонатной супесчаной почве в Херсонской области, в южном районе ветровой эрозии.

Для расчета необходимы следующие параметры:

- 1)  $v_{\max} = 21$  м/с (метеостанция Гонги);
- 2)  $E = 9,4$  т/га за час;
- 3)  $E_d = 2$  т/га за год;
- 4)  $t_n = 20$  ч.

Общие потери почвы от ветровой эрозии за год составляют:  $E \cdot t_n = 9,4 \cdot 20,0 = 188$  т/га. Эта величина превышает допустимый предел эрозии (2 т/га за год) в 94 раза, поэтому, чтобы получить  $E_d$ , величину  $E$  нужно уменьшить в 94 раза.  $E_d$  равна 0,1 т/га за час. Учитывая  $E_d$  и пользуясь графиком зависимости  $E = f(v)$  (см. рис. 6), находим  $v_n$ , которая равна 11,5 м/с на высоте 10 м, отсюда  $\frac{v_n}{v_{\max}} = 0,55$ . Подставив 0,55 в формулу (26), получим межполосное расстояние  $L$ , равное 17 $H$ . Оно будет максимально допустимым.

В таблице 45 приведены расчеты межполосных расстояний для систем ажурных лесных полос, проектируемых на почвах, подверженных ветровой эрозии.

Из данных таблицы 45 видно, что сильная эродируемость почвы и высокие максимальные скорости ветра вызывают необходимость уменьшения межполосных расстояний. Например, при одинаковой максимальной скорости ветра 21 м/с усиление эродируемости почв с 9,4 до 320 т/га в час приводит к необходимости уменьшения межполосных расстояний с 17 до 12 $H$ . Существенное значение имеет также и продолжительность пыльных бурь, определяющая общие потери почвы от эрозии. Если потери превышают допустимый предел эрозии, это также приводит к необходимости уменьшения межполосного расстояния.

**Почвозащитная эффективность систем лесных полос во время пыльных бурь.** За последние 15 лет на юге европейской части СССР пыльные бури были разной интенсивности. Исследование почвозащитной эффективности систем лесных полос во время пыльных бурь дало возможность не только получить материалы о фактической эффективности лесных полос, но и сделать прогнозы о потенциальной возможности систем полос, что очень важно для землесемеллеративной науки и практики.

Таблица 45. Расчеты межполосных расстояний в системе ажурных лесных полос для защиты почв степной зоны Украины от ветровой эрозии

Почва и метеостанция	$v_{\max}$ м/с	$t_{\max}$ ч	Эродируемость, т/га		Превышение предела эрозии (число рядов)	$E_t$ , г/га за час	$v_A$ , м/с	$v_A$ $v_{\max}$	Расстояние между поло- сами (м)
			за час	за $t_B$					
Эоловый мелкий по- сок, Гопри	21	39,9	320	12700	635	0,05	8,7	0,41	12
Темно-каштановая супесьня, Гопри	21	20,0	9,4	237	94	0,05	11,5	0,55	17
Темно-каштановая легкоглинистая со- лонцеватая, Акса- ния-Нова	23	6,9	0,28	2	1	0,28	21	0,91	47
Чернозем южный карбонатный лег- коглинистый, Хлеб- ковое	20	5,1	1,6	8,1	4	0,40	14,4	0,72	28
Чернозем южный легкоглинистый, Клепинино	23	19,0	0,8	15,2	7,6	0,10	13,7	0,60	20
Чернозем обыкновен- ный, карбонатный, Радильная	20	7,7	2,0	15,4	7,7	0,44	12,5	0,63	22

Степная зона Украины. Пыльные бури весной 1960 г. были очень интенсивными, вызваны они были ветрами скоростью 20—24 м/с, продолжительность их достигала 261 ч (ст. Ботьево). Отметим, что максимальные скорости ветра обеспечены 20% во время пыльных бурь на юге Украины составляют 14—27 м/с, а средняя продолжительность средних и сильных пыльных бурь достигает 40 ч.

Сильными ветрами был выдут слой южных черноземов до 2,7 см, а местами больше (М. И. Долгилевич, 1967).

Изучение почвозащитной эффективности лесных полос показало, что одиночные непрорубаемые полосы защищают почву от выдувания на расстоянии 10—12 их высот. К таким полосам относятся многорядные (13—20 рядов), созданные по древесно-кустарниковому типу. При большой пылесборной площади они оказались засыпанными мелкоземом.

Ажурные лесные полосы защищали почву и посевы на расстоянии, равном 42-кратной их высоте в заветренную сторону.

За ажурной лесной полосой высотой 4 м сохранилось по 202 растения озимой пшеницы на 1 м<sup>2</sup> на расстоянии 200 м.

Прорубаемые лесные полосы также хорошо защищали почву от выдувания. Однако с заветренной их стороны на расстоянии до 10 высот наблюдалось слабое засекание озимой пшеницы (Н. М. Милюсердов, 1971). Результаты этих исследований представлены в таблице 46.

Таблица 46. Состояние посевов озимой пшеницы под защитой лесных полос после пыльной бури весной 1960 г. в Геническом районе Херсонской области

Хозяйство	Расстояние между полосами, м	Коэффициент засекания пшеницы, %	Состояние растений	Количество растений (%) на расстояниях от лесо- полосы, выраженных в %				
				1	10	25	50	55
Колхоз имени XXI съезда КПСС	Одиночная лесная полоса	Непор- аженные Засекен- ные Выднутые	100 15 10 —	70	40	12	—	—
Продзесенская АГЛОС	200—300	Различная; 4,0—5,0	Непор- аженные Засекен- ные Выднутые	100 100 100 100	100	100	100	100
Колхоз «Ком- мунист»	Одиночная лесная полоса	Ажурная; 4,0	Непор- аженные Засекен- ные Выднутые	92 8 — —	90	87	79	39
	Та же	Продуваемая; 4,0	Непор- аженные Засекен- ные Выднутые	44 56 38 —	62	85	76	57
Колхоз имени XXI съезда КПСС	350	Непрору- баемая; 3,5	Непор- аженные Засекен- ные Выднутые	95 5 — —	100	100	100	90
Колхоз «Ком- мунист»	400	Ажурная; 4	Непор- аженные Засекен- ные	94 6 — —	100	100	100	100

*Продолжение*

Хозяйство	Расстояние между полосами, м	Конструкция и высота лесных полос, м	Состояние растений	Количество растений (%) на расстояниях от лесополосы, выраженных в $H$				
				4	10	25	45	55
То же	400	Продуваемая; 4,0	Пенов-реж-денные	75	90	100	100	100
			Занесенные	20	5	—	—	—
			Засеченные	5	5	—	—	—

Как указывает автор, в системе лесных полос непродуваемые лесные полосы более эффективны; дальность же действия лесных полос в системе намного больше, чем одиночных. Рассмотрим это на следующем примере.

Системы полезащитных лесных полос обладают важным свойством — прерыванием лавинного эффекта. С увеличением пылесборной площади нарастает масса переносимого ветром золового материала. Полное насыщение (максимум переноса) воздушного потока золовым материалом происходит на расстоянии 30—300 м от начала пылесборной площади и зависит от эродируемости почв. Насыщенный золовым материалом поток воздуха способствует усилению ветровой эрозии. Размещение же лесных полос на паркотных угодьях не только уменьшает выдувание почвы, но и прерывает развитие эрозионного процесса. Лишь на достаточно длинных участках поля возникает лавинный эффект. Об этом можно судить по кривым выдувания песка с заветренной стороны системы моделей полос.

В этой связи целесообразно дать объяснение тому факту, что сильное повреждение озимых культур во время весенних пыльных бурь отмечается на расстоянии от лесных полос, значительно превышающих протяженность ветрозащитной зоны (Г. И. Матякин и др., 1960; В. В. Миронов, 1960; Н. М. Милюсердов, 1975).

На суглинистых карбонатных почвах при сильных ветрах для развития лавинного эффекталина пылесборной площади должна составлять 300—400 м. Лесные полосы высотой 10 м снижают скорость ветра на 40—30% на расстоянии 20—24H. Если пыльная буря вызывается ветром, скорость которого 18—20 м/с, а критическая скорость 10 м/с, то эрозионный процесс начнется на расстоянии от лесной полосы в заветренную сторону, равном 15H, или 150 м. Лавинный эффект, при котором озимые повреждаются в сильной степени, развивается на расстоянии 450—550 м, или 45—55H от лесной полосы, что значительно превышает протяженность ветрозащитной зоны; здесь же следует отметить, что ветровая

эрозия имеет место и в пределах зоны 45—55H, хотя она очень слабая.

По нашим расчетам, для защиты темно-каштановой, легкоглинистой солонцеватой почвы от ветровой эрозии максимально допустимые расстояния между ажурными лесными полосами равны 47H. При высоте лесных полос 4—5 м это расстояние составит 188—235 м. Наблюдения во время сильных пыльных бурь на Присивашской АГЛОС, расположенной на темно-каштановых почвах, подтвердили правильность расчетов (см. табл. 46).

Зимой 1969 г. в южных районах Украины возникли сильные пыльные бури. Они были вызваны ветрами скоростью до 28—40 м/с. Эти бури были очень продолжительными. Так, в Запорожской области они длились 413 ч. Потери почвы от ветровой эрозии были значительными. Глубина выдувания на посевах озимых была такова, что семена оказались на поверхности почвы (Н. Е. Бучинский, 1970).

Используя данные об эродируемости почв и продолжительности пыльных бурь, мы рассчитали, что в 1969 г. потери темно-каштановых почв достигали 120 т/га, черноземов южных — 1240 т/га. М. М. Михайленко и А. М. Левченко (1970) отметили выдувание почвы до 10—12 см.

Обеспеченность зимней пыльной бури 1969 г. была очень низкая (2%).

В Запорожской области система ажурных лесных полос, размещенных на южных черноземах через 500—700 м, защитила посевы озимых культур на 80%. В хозяйствах с одиночными лесными полосами погибло 70—80% озимых. Полностью защищены были посевы в системе лесных полос через 250—300 м. На темно-каштановых почвах Херсонской области система лесных полос, размещенных через 400—500 м, полностью защитила посевы от выдувания (Н. М. Милюсердов, 1971).

На эффективность систем лесных полос во время пыльных бурь в Запорожской области указывают данные А. А. Сирка (1974). Уменьшение расстояний между лесными полосами на черноземах приводит к существенному уменьшению выдувания почвы и сохранности озимой ишеницы (табл. 47).

Высокую эффективность систем полезащитных лесных полос в защите почв и посевов от ветровой эрозии подчеркивали

Таблица 47. Зависимость между межполосными расстояниями, выдуванием почвы и сохранностью озимой ишеницы в 1969 г.

Расстояние между лесными полосами, м	Полезащитная лесистость, %	Глубина выдувания почвы, см	% сохранившихся растений озимой ишеницы
400—800	Свыше 2	1,0	67
800—1500	1,5—2	2,5	64
1500—2000	До 1,5	4,0	60

Д. П. Рыжиков и др. (1969). Лесные полосы ажурной и продуваемой конструкции, размещенные на темно-каштановых почвах и черноземах через 250—500 м, обеспечили хорошую сохранность посевов озимой пшеницы от выдувания и засекания. Например, в Павлоградском районе Днепропетровской области при средней полезащитной лесистости 1,2% озимые были повреждены на площади 46%, в Синельниковском районе (лесистость 1,65%) — 30%, а на Синельниковской селекционной опытной станции, на которой создана система лесных полос через 400—500 м и процент лесистости достиг 3,3%, посевы были повреждены на 10,5%. Авторы отметили наилучшую защиту почв и посевов от выдувания в системе лесных полос, заложенных через 40Н.

Интересные данные приводят М. А. Штольфель (1973). Так, потери почвы от выдувания составили 380—480 м<sup>3</sup> на 100 погонных метров при размещении лесных полос через 250—270 м и 730—1220 м<sup>3</sup> при размещении через 490—530 м.

Н. Н. Сазонов (1969) установил, что наиболее эффективно защищали почву от ветровой эрозии лесные полосы с ажурностью 25—35% в нижней части вертикального профиля. В системе лесных полос ажурность лесных полос можно увеличить до 45—50%. Лесные полосы с ажурностью 50—60% менее эффективны: в таких лесных полосах наблюдалось выдувание почв.

По данным В. Г. Антонюка (1969), полная сохранность озимых культур на южных черноземах от ветровой эрозии была обеспечена системой лесных полос при полезащитной лесистости 2,7—3,5%.

На Северном Кавказе пыльные бури весной 1960 г. были очень интенсивными: скорость ветра достигала 20—25, местами 40 м/с; продолжительность бурь в марте и апреле достигала 244 ч (ст. Тихорецк).

При таких интенсивных пыльных бурях высокой почвозащитной эффективностью обладали системы лесных полос, размещенные через 300—500 м на предкавказских карбонатных и выщелоченных черноземах.

П. С. Захаров (1965) показал, что в колхозе имени XXII съезда КПСС и совхозе «Гигант» Ростовской области такие системы лесных полос полностью обеспечили защиту почв и посевов от выдувания. Одиночные лесные полосы защищали почву от выдувания на расстоянии, равном 25—35Н.

В условиях сильных пыльных бурь 1960 г. высокая почвозащитная эффективность обеспечивалась такой системой лесных полос, которая занимала не менее 4% площади пашни (П. С. Захаров, 1961) (табл. 48).

Пыльные бури зимой 1969 г. были очень сильными и продолжительными, суточная скорость ветра достигала 34 м/с, а временами 40 м/с. В Ростовской области пыльные бури продолжались 338 ч. Сильные ветры сопровождались морозами до 30°C.

Зимой 1969 г. системы лесных полос не только существенно защищали почву от ветровой эрозии, но и снижали действие низких температур на культуру. По данным М. М. Лазарева и В. Д. Савичева (1969), в системе лесных полос совхоза «Тихорецкий» Краснодарского края, размещенных через 470 м, средней высотой 10 м засыпание и выдувание почвы были слабыми и не превышали 30% площади облесенного поля. В колхозе «Колос», расположеннном рядом с совхозом «Тихорецкий», на полях с одиночными лесными полосами высотой 8 м засыпание и выдувание почвы на 27% полей были слабыми, на 70% средними и сильными. Авторы подчеркнули большую почвозащитную эффективность лесных полос ажурной конструкции.

В совхозе «Гигант» (М. И. Долгилевич и В. В. Астахов, 1972) в системе лесных полос, размещенных на черноземах карбонатных тяжелосуглинистых и глинистых через 250 м, после ветровой эрозии аккумулировано 32—55 т золового материала на гектар лесополосы, а при размещении лесополос через 500 м — 295 т.

Средняя глубина выдувания почвы под озимой пшеницей на межполосных полях шириной 250 м составила 0,3 см, шириной 500—650 м — 0,6 м. Средние показатели полной защищенности участков, занятых озимыми и зяблью, при размещении лесных полос через 228—250 м и их высоте 6—8 м были на 50%, через 480—500 м и высоте полос 8—11 м — 31%, через 1360—1508 м и высоте полос 7 м — 13%.

Таблица 48. Сохранность озимых культур во время пыльных бурь в зависимости от облесенности пашни (Ростовская область, 1960 г.)

Хозяйство	Площадь лесных полос по отношению к площади пашни, %	Площадь сохранившихся посевов по отношению к посевной площади, %
Колхоз имени XXII съезда КПСС	6,0	100
Зерносовхоз «Гигант»	4,9	100
Учебно-опытное хозяйство «Зерновое»	4,6	100
Зерносовхоз «Цемпекий»	3,8	80
Колхоз «Рассвет»	3,7	90
Колхоз имени Первого мая	3,1	72
Колхоз имени Калинина	2,6	69
Колхоз имени Кирова	2,2	58
Колхоз «Путь Ильича»	1,9	23
Колхоз имени Ленина	1,7	23

На предкавказских выщелоченных черноземах в совхозе «Темирбекский» и колхозе «Россия» (Ставропольский край) при ширине полей 400 м глубина выдувания почвы составила 0,23 см, 746—754 м — 0,45 см, 996—1083 м — 0,98 см; высота лесных полос равнялась соответственно 8, 9,1 и 7,7 м.

А. М. Степанов и Е. М. Смертин (1969) изучали эффективность систем лесных полос на орошаемых землях Ростовской области во время пыльных бурь. Среди непрородуемых лесных полос высотой 12 м, размещенных через 800—950 м, выдувание почвы более 0,5 см под посевом озимой пшеницы отмечено на 5% площади поля; при размещении лесных полос через 650—700 м выдувание было незначительным (менее 0,1 см) на 49% площади поля.

Выдувание выровненной зяби свыше 0,5 см наблюдалось на 74% площади поля, на котором лесные полосы высотой 8—12 м были размещены через 800—950 м; при размещении полос через 650—700 м таким выдуванием было охвачено 29%, через 450—500 м — 45%, а через 250 м — 0% площади поля.

Исследованиями, проведенными А. Ю. Раковым (1970), установлена высокая противоветрозорозионная эффективность ажурных лесных полос в Ставропольском крае. Во время сильных пыльных бурь 1969 г., когда скорость ветра достигала 20 м/с, лесные полосы в полуоблачном состоянии (ветропроницаемость 41—52%) уменьшили выдувание песчаных почв в 4—5 раз. Вместе с тем в прородуемых лесных полосах наблюдалось настолько сильное выдувание песка, что был обнажен верхний ярус корней.

**Эффективность комплекса почвозащитных агротехнических и лесомелиоративных приемов.** Рассматривая эффективность почвозащитной обработки почвы, мы показали, что на поле, на котором после обработки на 1 м<sup>2</sup> остается 100—400 стернинок, выдувания почвы не происходит. Это поля из-под озимой пшеницы, которые используются под посевы зерновых колосовых или кукурузы. Однако в восьми-десятипольных севооборотах таких полей более лвух. Хорошо защищены от выдувания озимые культуры, размещенные по парам. Что же касается других полей, то агротехнические приемы на них не обеспечивают надежной защиты почвы от ветровой эрозии.

Кроме того, в отдельные годы, в которые нередко проявляются пыльные бури, озимые культуры бывают ослабленными и плохо развитыми еще с осени. Обычно это вызвано плохими предшественниками. Недостаточное количество ложнинных остатков, слаборазвитые озимые культуры не обеспечивают нужной шероховатости поверхности поля. Поэтому при ветрах 20—24 м/с почва на таких полях подвергается ветровой эрозии. При ветрах меньшей скорости ветровой эрозии на этих полях не наблюдается.

Уменьшить скорость ветра до таких пределов, чтобы не было ветровой эрозии, возможно, если на полях создать систему полезащитных лесных полос с заданными параметрами. Например, 360 м, снижают скорость ветра по сравнению с открытым полем на 30% и больше, размещенных через 240 м — на 40% и больше. Иначе говоря, при ветре 20—24 м/с на облесенных полях скорость ветра не будет превышать 10—14 м/с, а на высоте 10 см — 5 —

7 м/с. При такой скорости ветра защита почвы от ветровой эрозии обеспечена, если применить на облесенных полях плоскорезную обработку, посев стерневыми сеялками.

Обратимся к экспериментальным материалам по этому вопросу. Нами изучен и математически обработан материал полевых обследований, выполненных экспедицией Краснодарского филиала Росгипрорезем в Новопокровском районе Краснодарского края в 1969 г. Всего изучено 204 лесные полосы, размещенные на карбонатных черноземах через 500—2000 м (42—364Н). С уменьшением межполосного расстояния с 364 до 42Н степень поврежденности пшеницы во время пыльных бурь уменьшилась с 75 до 5%. В условиях сильных пыльных бурь зерновые полосы, размещенные через 500 м (42—91Н, в зависимости от высоты полос), не обеспечили полной защиты пшеницы от выдувания и заекания. Но при указанном межполосном расстоянии основная доля повреждений пшеницы характеризовалась слабой степенью, т. е. была в пределах 0—10%, тогда как при больших расстояниях доля высоких степеней поврежденности пшеницы возрастала.

Как нами было отмечено, хорошо развитые с осени растения озимой пшеницы надежно защищают почву от ветровой эрозии и тем самым себя от выдувания и заекания. Хорошее развитие растений пшеницы, помимо агротехники и удобрений, обеспечивается посевом пшеницы по хорошим предшественникам (например, гороху, кукурузе и другим пропашным). В связи с этим эффективность лесных полос в защите посевов пшеницы от повреждений во время пыльных бурь зависела от предшественников, по которым была посажена пшеница. Так, математический анализ показал, что корреляционное отношение, характеризующее зависимость между шириной межполосных полей и степенью поврежденности посевов пшеницы, в случае различных предшественников составило 0,61—0,48, а при посеве пшеницы по пропашным — 0,57—0,31. Большие величины корреляционных отношений указывают, что противоветрозорозионная эффективность полезащитных лесных полос возрастает с уменьшением защищенности почвы растениями озимой пшеницы.

Экспериментальные данные И. М. Милосердова (1975) показали, что эффективность почвозащитной технологии выращивания озимой пшеницы намного выше в системе лесных полос.

Так, при почвозащитной технологии на темно-каштановых почвах в открытом поле прибавка урожайности озимой пшеницы по сравнению с обычной технологией составила 2,9 ц/га, в системе лесных полос — 3,5 ц/га; на черноземе южном эти показатели равнялись соответственно 0,4 и 1,1 ц/га.

В опытах В. К. Левченко (1973), проведенных на североприазовских черноземах, установлено, что после обработки почвы нгольчатой бороной, тяжелым культиватором КПЭ-3,8, штанговым культиватором и посева стерневой сеялкой на поверхности почвы остается 20% стерневых остатков, а на пару — всего лишь 3%, поэтому только почвозащитная обработка почвы и посев стер-

новой сеялкой не обеспечивают надежной защиты почвы от выдувания.

По сравнению с отвальной вспашкой при плоскорезной обработке почвы скорость ветра в среднем снизилась на 4,5 м/с в приземном слое воздуха. Однако этого оказалось недостаточно. Чувствование почвы в среднем за три года в варианте с почвозащитной обработкой достигало 57,3 т/га (табл. 49).

Таблица 49. Скорость ветра на высоте 15 см от поверхности почвы в зависимости от применения почвозащитных мероприятий (весна 1971 г., высота лесной полосы 10 м), м/с

Вариант опыта	Расстояние от лесной полосы (H)					Средняя скорость ветра в приземном слое, м/с	
	5	10	15	20	25	мс	% к открытым полям
Отвальная вспашка на глубину 20—22 см (открытое поле)	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	100
То же + лесная полоса	6,2	6,6	7,8	9,1	9,9	7,9	70
Плоскорезная обработка на глубину 20—22 см (открытое поле)	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	100
То же + лесная полоса	1,7	2,1	3,7	4,8	5,6	3,6	53

Сочетание плоскорезной обработки и лесной полосы вызывало большой почвозащитный эффект. Так, при плоскорезной обработке под защитой лесной полосы скорость ветра в приземном слое воздуха снизилась почти в 3 раза по сравнению с отвальной вспашкой в открытом поле (табл. 49). В варианте с лесной полосой и отвальной вспашкой скорость ветра снизилась на 30%, а с плоскорезной обработкой — на 47%.

Сочетание почвозащитной обработки почвы (плоскорезная обработка на глубину 20—22 см, посев СЗС-9) и лесной полосы практически полностью прекратило ветровую эрозию, потери почвы не превышали 0,9 т/га (без лесополосы 57,3 т/га).

Сочетание агротехнических приемов и лесной полосы способствовало увеличению урожайности озимой пшеницы (табл. 50). С ухудшением предшественников под пшеницу эффект лесной полосы был выше.

Большой почвозащитный эффект комплекса лесные полосы и агротехника выращивания люцерны установлен Н. А. Матвеевым и М. П. Лобановым (1973) на песчаных почвах Обливского опорного пункта ВНИАЛМИ (Ростовская область). По данным авторов, при плоскорезной обработке почвы из-под суданской травы в открытом поле перенос песчаной почвы составил 106 т/га, а там, где плоскорезная обработка была проведена под защитой лесной

Таблица 50. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от почвозащитных мероприятий (1970—1972 гг.), ц/га

Вариант опыта	Предшественники	
	пар (среднее за два года)	лесополосы (предшественники переднее за три года)
Отвальная вспашка на глубину 20—22 см, посев СУК-24	27,3	17,8
То же + лесная полоса	31,7	21,3
Плоскорезная обработка на глубину 20—22 см, посев СЗС-9	30,1	20,9
То же + лесная полоса	31,4	23,1

полосы, выдувание наблюдалось лишь на изолированных элементах рельефа.

Теоретические и экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что с помощью систем лесных полос можно регулировать ветровой режим в межполосных клетках и даже во время сильных пыльных бурь снизить потери почвы до допустимых пределов. Лишь очень сильные и продолжительные пыльные бури, обеспеченность которых менее 20%, вызывают существенное выдувание почвы на части межполосного поля.

При применении комплекса агротехнических и лесомелиоративных мероприятий почву практически полностью можно защитить от ветровой эрозии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение природы и механизма ветровой эрозии связано с основными природными и антропогенными факторами, вызывающими ее развитие, поэтому поиск эффективных почвозащитных мероприятий имеет, безусловно, большое значение для сельскохозяйственного производства.

Практическая реализация комплекса почвозащитных мероприятий должна проводиться с учетом основных факторов ветровой эрозии, к числу которых относятся максимальная скорость ветра во время пыльных бурь, их продолжительность, а также податливость почв ветру.

Сочетание факторов ветровой эрозии приводит к неодинаковым интенсивности пыльных бурь и потерям почвы от выдувания в пределах природных зон и подзон. Так, в степной зоне Украины максимальные скорости ветра во время пыльных бурь обеспеченыностью 20% составляют 14—27 м/с, продолжительность средних и сильных пыльных бурь 3—40 ч, а в отдельные годы 400 ч и более. Критические скорости ветра, при которых начинается ветровая эрозия, также варьируют широко (от 6,4 до 14,9 м/с на высоте 10 м). Наиболее податливы ветру почвы легкого механического состава, а также карбонатные почвы. Потери этих почв от выду-

вания составляют 8,3–11,8 т/га за час, а более устойчивых почв (бескарбонатных и солонцеватых глинистых) не превышают 3 т/га за час.

На основании разработанных количественной диагностики, классификации и группировки почв, подверженных ветровой эрозии, возможно картировать эти почвы, с тем чтобы обоснованно проектировать комплекс почвозащитных мероприятий.

В условиях высоконитенсивного сельскохозяйственного производства юга Украины и Северного Кавказа, где часто возникает эрозия, положительные результаты может дать только комплексный подход в борьбе с ветровой эрозией.

Помимо организации территории, в комплексе мероприятий большое значение имеют агротехнические и лесомелиоративные.

Исследования почвозащитной агротехники сельскохозяйственных культур показали, что безотвальная обработка почвы и обработка почвы плоскорезами приводят к значительному снижению потерь почвы от ветровой эрозии по сравнению с вспашкой. Вместе с тем при большом разнообразии сельскохозяйственных культур в структуре посевых площадей почвозащитный эффект от применения безотвальных орудий и культиваторов-плоскорезов неодинаков. Так, обработка почвы плоскорезами после пропашных культур не обеспечивает снижения потерь почвы от ветровой эрозии до допустимого предела. Особенно большие потери от выдувания отмечены на почвах, сильно податливых ветровой эрозии.

Более высоким почвозащитным эффектом обладает безотвальная и плоскорезная обработка почвы после зерновых колосовых культур, когда стернина на поверхности остается 100–400 шт./м<sup>2</sup>. Однако экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в некоторых районах Северного Кавказа плоскорезная обработка почвы по сравнению с отвальной вспашкой приводит к снижению урожая озимой пшеницы, высеваемой по стерневым предшественникам.

Системы лесных полос, параметры которых выбраны с учетом основных факторов ветровой эрозии и поэтому правильно размещенные, практически обеспечивают защиту почвы от ветровой эрозии.

Экспериментальные данные указывают на функциональную зависимость ветрового режима и связанного с ним переноса мелкозема от таких параметров систем лесных полос, как их ветропроницаемость, параметр шероховатости поверхности межполосного поля, расстояние между полосами. На основании этих данных разработаны принципы расчета максимально допустимых расстояний между полезащитными лесными полосами на землях, подверженных ветровой эрозии.

При соблюдении комплекса почвозащитной агротехники и системы ажурных лесных полос ветропроницаемостью 40% исключаются потери почвы от ветровой эрозии не выше допустимого предела (2–3 т почвенного мелкозема с 1 га за год).

Однако во время очень сильных пыльных бурь, обеспеченность которых менее 20%, побольшие потери почвы от выдувания наблюдаются и в системе лесных полос.

Научные проблемы ветровой эрозии почвы решены еще далеко не полностью. Необходимо осветить геоморфологические аспекты ветровой эрозии почв, вскрыть механизм совместного воздействия ветра и воды на почву. В связи с расширением мелиорации требуют изучения вопросы ветровой эрозии осушаемых и орошаемых земель. Практически не разработаны методы искусственного регулирования водного режима в целях повышения устойчивости почв к ветровой эрозии. Не получили достаточной почвозащитной оценки агролесомелиоративные мероприятия, применяемые на склоновых землях в районах проявления смешанной водной и ветровой эрозии. Необходимо провести комплексные исследования по совершенствованию агротехнических почвозащитных мероприятий.

Успешное изучение вопросов защиты почв от ветровой эрозии, несомненно, будет способствовать решению проблемы охраны окружающей среды, рациональному использованию почвенных ресурсов, повышению производительности сельскохозяйственного производства.

## УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

Акимцев В. В. О возрасте почв Прикаспийской низменности Кавказа. — «Почвоведение», 1945, № 9, 10.

Алпатьев А. М., Иванова В. Н. Характеристика и географическое распространение засух. — В сб.: Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л., Гидрометеоиздат, 1957.

Аксентьева Л. И. Водно-физические и химические свойства смытых почв Александровского района Луганской области. — «Научные записки Луганского сельскохозяйственного института», т. VIII, 1961.

Андреев И. Д. Пористость ветра. — «Труды Всесоюзного научного метеорологического совещания», т. VII (физика приземного слоя), 1963.

Антонюк В. Г. Эффективность полезащитных лесных полос в борьбе с пыльными бурями в Крыму. — В сб.: Полезащитные лесные полосы в борьбе с пыльными бурями. Волгоград, 1969.

Арманд Д. Л. Физико-географические основы проектирования сети полезащитных лесных полос. М., Изд. АН СССР, 1961.

Астахов В. В., Ратков А. Ю. Система лесных полос в борьбе с пыльными бурями на полях Ставропольского края. — В сб.: Полезащитные лесные полосы в борьбе с пыльными бурями. Волгоград, 1969.

Афанасьева Е. А. К вопросу о происхождении и эволюции черноземных почв. — «Почвоведение», 1946, № 6.

Афанасьева Е. А., Роде А. А., Скрыникова Н. Н. Изучение современных почвообразовательных процессов. Доклад VI международному конгрессу почвоведов (пятая комиссия, классификация почв). М., 1956.

Бабиченко В. Н. Пыльные бури на Украине. — «Труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института», вып. 52, 1965.

Барасев А. И. Научные основы земледелия и пути увеличения производства зерна в северных районах Казахстана и степных районах Западной Сибири. — «Вестник с.-х. науки», 1966, № 5.

Барасев А. И. Почвозащитное земледелие. М., «Колос», 1975.

Бараков П. Ф. Эоловые пеноны и почвы на развалинах Ольвии. — «Почвоведение», 1913, № 4.

Барсуков Л. Н., Бахарева З. И. Роль мороза в годичном цикле структурного состояния почвы. — «Почвоведение», 1950, № 1.

Белецкий И. Действие ветра на почву. Материалы по изучению русских почв. Спб., 1895.

Бельгибаев М. Е. К оценке ветроустойчивости почв по структурному анализу. VI научная конференция Целиноградского с.-х. института (тезисы докладов). Почвоведение. Целиноград, 1965.

Бельгибаев М. Е., Долгилевич М. И. О предельно допустимой величине эрозии почв. — «Труды Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации», вып. I. Волгоград, 1970.

Бельгибаев М. Е. О классификации, диагностике и картографии эродированных легких почв Северного Казахстана. — «Почвоведение», 1972, № 3.

Бенкен А. А. и др. Корневые гнили озимой пшеницы в условиях почвозащитного земледелия. — «Труды ВИМ», т. 63. М., 1973.

Берестовский Г. Г. Полосное размещение культур — прием охраны легких почв от ветровой эрозии в Целинном крае. — В сб.: Защита почв от эрозии. М., «Колос», 1964.

Беседин П. Н. Качественный состав водопрочных агрегатов почв Средней Азии. — «Труды Всесоюзного НИИ хлопководства», вып. 10, 1966.

Бодров В. А., Штофель М. А. Защитное влияние лесных полос в период пыльных бурь 1969 г. в колхозах Запорожской области. — В сб.: Полезащитные лесные полосы в борьбе с пыльными бурями. Волгоград, 1969.

Большаков В. С. О количественной характеристике порывистости ветра. — «Метеорология и гидрология», 1955, № 3.

Бородин Н. Н. Пшеница на Дону. Ростов-на-Дону, 1967.

Боровский В. М. Эрозия почв в Казахстане. — «Вестник АН Казахской ССР», 1959, № 11.

Бочаров А. П. О способности стерни защищать почву от ветровой эрозии. — «Вестник с.-х. науки», 1962, № 10.

Бочаров А. П. Расчет пределов допустимого содержания эрозионной фракции в почве. — «Вестник сельскохозяйственной науки», 1968, № 12.

Бураков В., Зузя А., Русько И. Против дефляции почв. — «Земледелие», 1975, № 1.

Бурдай И. Р. О предельной скорости донного влечения. — «Метеорология и гидрология», 1946, № 6.

Бурыкин А. М. О темпах эрозии и почвообразования (на примере влажных и сухих субтропиков СССР). — «Почвоведение», 1966, № 6.

Бучинский И. Е. Климат Украины в прошлом, настоящем и будущем. Киев. Госсельхозиздат УССР, 1963.

Бучинский И. Е. Засухи, суховеи, пыльные бури на Украине и борьба с ними. Киев, «Урожай», 1970.

Бычихин А. А. О влиянии ветров на почву. — «Труды Вольного экономического общества», 1892, № 6.

Бяллович Ю. П. Размещение полезащитных полос на территории. Научный отчет УкрНИИЛХА. Харьков, 1940.

Бялый А. М., Савичев В. Д. Почвозащитная эффективность системы лесных полос на землях, подверженных ветровой эрозии. — Бюллетень Всесоюзного н.-и. института агролесомелиорации, вып. 12 (66), 1973.

Вадюнина А. Ф. Современное состояние исследований по физике почв (первая комиссия). — «Почвоведение», 1969, № 8.

Васильев Г. И. и др. Исследование ветроустойчивости различных агротехнических фонов при возделывании пропашных культур. — «Труды Всесоюзного н.-и. института механизации сельского хозяйства», т. 63, 1973.

Васин В. И. Влияние параметра шероховатости на скорость ветра в приземном слое атмосферы центральных Кызылкумов. — «Известия АН Туркменской ССР», сер. биол., 1966, № 3.

Величко Н. Н. и др. Первые определения абсолютного возраста некопаемых почв в лесах Русской равнины. — «Доклады АН СССР», т. 155, 1964, № 3.

Вершилин П. В. и др. Физика почв. 1958.

Вешко Э. И., Гуза А. Г., Коваленко А. П. Плоскорезная обработка под кукурузу и режим влажности почвы. — «Вестник с.-х. науки», 1973, № 11.

Вилленский Д. Г. Агрегация почв, ее теория и практическое применение. М., Л., Нед. АН СССР, 1945.

Винокурова И. К. Мезорегиональная роль системы защитных лесных полос. В сб.: Преобразование природы в Камской степи. М., Россельхозиздат, 1970.

Воланский А. В. Поndonу пыльной бури 26–27 апреля 1928 г. — «Труды по сельскохозяйственной метеорологии», вып. 21, 1930.

Воробьев С. О. Чёрные бури на Украине. — «Труды по сельскохозяйственной метеорологии», вып. 21, 1930.

Высоцкий Г. Н. Материалы по изучению первых бурь. — «Труды экспедиции, спароженной лесным парктранспортом, под руководством профессора Докучаева», вып. I, т. I. Спб., 1894.

Гаель А. Г., Смирнова Л. Ф. Ветровая эрозия легких почв каштаново-черноземной зоны СССР. — «Вестник Московского университета», сер. биолог. почв, вып. 6, 1960, № 2.

- Гасель А. Г., Смирнова Л. Ф. К вопросу о классификации легких почв по степени их ветровой эродированности. — «Почвоведение», 1965, № 4.
- Гасель А. Г., Гумилев Л. А. Развиво-растные почвы на степных песках. Дела и передвижение народов за исторический период. — «Известия АН ССР», сер. геол., 1966, № 1.
- Гасель А. Г., Хабаров А. В. Об особенностях почвообразования на песчаных Хреновского бора. — «Почвоведение», 1969, № 11.
- Гайдин Ш. А., Лысак Г. Н. О ветровой эрозии почв в Башкирии. Уфа, 1968.
- Гибодиков А. В. Некоторые вопросы теории и практики закрепления песков Средней Азии. — «Труды Ташкентского с.-х. института», вып. 13, 1961.
- Гибодиков А. В. Методы расчета механических защит. — «Труды Ташкентского СХИ», вып. 16, 1964.
- Гибодиков А. В. Некоторые вопросы теории и практики закрепления и обесцениния песков Средней Азии. Автореферат диссертации на соискание ученоей степени доктора с.-х. наук. Ташкент, 1966.
- Генеральная схема мероприятий по защите почв от ветровой эрозии и водной эрозии в колхозах и государственных хозяйствах Украинской ССР на 1971—1980 гг. Киев, 1968.
- Герасимов И. П. Новое в подходах и методах определения абсолютного возраста почв. — «Известия АН ССР», сер. географ., 1968, № 1.
- Герасимов И. П. Абсолютный и относительный возраст почв. — «Почвоведение», 1969, № 5.
- Голубева Л. А. О черных бурях и мерах борьбы с ними. — «Известия Всесоюзного географического общества», т. 82, вып. 5, 1950.
- Гончаров В. Н. Основы динамики русловых процессов. Л., 1954.
- Гортлевский А. А. Ветроустойчивость карбонатных черноземов Кубани и пути ее повышения. — Сб. научных трудов Краснодарского н.-и. института с.-х. земледелия, вып. VIII. Краснодар, 1975.
- Грибанов Л. Н. К познанию природы черных бурь в Кулундинской степи Алтайского края. — «Почвоведение», 1954, № 9.
- Гринченко А. М., Зусев К. Г. О факторах и условиях структурообразования. — «Труды Украинского н.-и. института почвоведения», т. IV, 1959.
- Гринченко О. М., Чесняк Г. Я., Чесняк О. А. Динаміка гумусу азоту, фосфору і калію в глибокому черноземі залежно від строку сів'ї та використання його та внесення добрів. «Досягнення працівників науки на Україні». Київ, 1964.
- Грицик М. И. и др. Эффективность противоэрзионных приемов основной обработки почвы под сахарную свеклу. — «Труды Всесоюзного н.-и. института механизации сельского хозяйства», Т. 63, 1973.
- Гризлов Е. В., Левченко В. К. Влияние плоскорезной обработки на плодородие почв Ростовской области. — «Почвоведение», 1974, № 9.
- Гусиков А. Ф. Изменение механического состава легких почв, подверженных ветровой эрозии. — Бюллетень Всесоюзного н.-и. института агролесомелиорации, вып. 12 (66), 1973.
- Гусак В. Б. Некоторые новые данные о механизме взаимодействия фаз в почве. — В сб.: Доклады советских почвоведов к VII международному конгрессу в США. М., 1960.
- Демченко П. П., Левченко В. К. Резервы повышения урожая в Ростовской области. — В кн.: Проблемы борьбы с засухой и рост производства сельскохозяйственной продукции. М., 1974.
- Джапанов Р. П. др. К вопросу зерно-мелiorативной классификации супесчаных южных черноземов и темно-каштановых почв. — «Известия АН Казахской ССР», сер. биолог., 1967, № 3.
- Дзетовецкий Б. В. К вопросу конструкции лесных полос и их размещение в пространстве в целях борьбы с воздушной эрозией почвы. — «Труды Азовско-Черноморской АГЛОС», сб. II. Ростов, 1939.
- Дзетовецкий Б. В. Ветровая эрозия, ее предупреждение и борьба с ней. — «Почвоведение», 1948, № 2.

- Докучаев В. В. Русский чернозем. Избранные труды. М., Изд. АН ССР, 1949.
- Докучаев В. В. Собр. соч., т. 6. М., 1951.
- Долгилевич М. И. К методике измерения глубины вымыва почв. — «Почвоведение», 1958, № 8.
- Долгилевич М. И. Влияние ветровой эрозии почв на содержание белка и крахмала в зернах пшеницы и овса. Тезисы докладов совещания по вопросам борьбы с эрозией почв и повышения плодородия эродированных почв Украины. Харьков, 1959.
- Долгилевич М. И. Борьба с ветровой эрозией грунтів на Україні. «Досягнення грунтознавчої науки на Україні». Кіїв, 1964.
- Долгилевич М. И. Защита грунтов от ветровой эрозии на Украине. Львів, 1967.
- Долгилевич М. И., Сидорчук И. Ф. Экспериментальные исследования некоторых аэродинамических свойств почв степной зоны Украины. — «Почвоведение», 1968, № 6.
- Долгилевич М. И. и др. Противоэрзионная обработка почвы под озимую пшеницу в южной степи Украины. — «Вестник с.-х. науки», 1969, № 10.
- Долгилевич М. И. и др. Зимние пыльные бури в Ростовской области и эффективность системы лесных полос в борьбе с ними. В сб.: Полезащитные лесные полосы в борьбе с пыльными бурами. Волгоград, 1969.
- Долгилевич М. И., Васильев Ю. И. Экспериментальные исследования аэродинамических и защитных свойств лесных полос методом моделирования. — «Труды Всесоюзного в.-и. института агролесомелиорации», вып. 1 (61). Волгоград, 1970.
- Долгилевич М. И., Астахов В. В. Агролесомелиоративные мероприятия при защите почв от ветровой эрозии на Северном Кавказе. — Доклады ВАСХНИЛ, 1972, № 3.
- Долгилевич М. И., Сажин А. И., Попов В. И. Эффективность систем лесных полос в защите почв от ветровой эрозии. — Лесное хозяйство, 1973, № 5.
- Долгилевич М. И., Васильев Ю. И. Механизмы формирования ветровой эрозии от поверхности почвы. — Бюллетень Всесоюзного н.-и. института агролесомелиорации, вып. 12 (66), 1973.
- Долгилевич М. И., Васильев Ю. И. Зависимость режима скорости ветра в системе лесных полос от широколистности пологих почв на склонах. — «Вестник сельскохозяйственной науки», 1974, № 9.
- Долгов С. И., Модина С. А., Лиманов Г. В. Изучение оптимального (для культурных растений) сражения почвенно-слоя почвы. В сб.: Третий делегатский съезд почвоведов. М., 1966.
- Долгунин П. П. О связи между осредненной скоростью и остаточными аорывами ветра. — В кн.: Сборник работ Горьковской и Волжской гидрометеорологической обсерватории, вып. 5, 1968.
- Дорогановская Е. А. Климатические особенности районов Русской равнины, различающиеся по содержанию белка в пшенице. — Проблемы физической географии, 1950, № 15.
- Доскач А. Г., Трушковский А. А. Пыльные бури на юге Русской равнины. — В кн.: Пыльные бури и их предупреждение. М., Изд. АН ССР, 1963.
- Дьяченко А. Е., Земляницкий Л. Т. Пыльные бури и борьба с ними. — Доклады ВАСХНИЛ, вып. 10, 1944.
- Дьяченко А. Е., Земляницкий Л. Т. Дефляция почв в Башкирии и меры борьбы с ней. — «Почвоведение», 1946, № 8.
- Дьяченко А. Е. Изучение дефляции (ветровой эрозии) почв. — «Вестник сельскохозяйственной науки» (Алма-Ата), 1958, № 3.
- Дьяченко А. Е., Макарычев Н. Т. Дефляция почв и агролесомелиоративные мероприятия в Северном Казахстане. М., Изд. АН ССР, 1959.
- Дюнин А. К. Механика метелей. Новосибирск, 1963.
- Егиазаров И. В. Расход влекомых потоком наносов. — В сб.: Теория подвода и моделирование. М., 1951.

- Фримл А. П. Влияние некоторых агротехнических приемов на эрозию почв. — «Земледелие», 1958, № 2.
- Жуковский Н. Е. Полное собрание сочинений, т. V. М.—Л., 1937.
- Жуков М. М. Оценка золового фактора образования лесса в свете изучения черных бурь. Условия образования четвертичных отложений. — «Труды Института геологии и геофизики» (СО АН СССР), вып. 24, 1964.
- Зайцева А. А. Борьба с ветровой эрозией почв. М., «Колос», 1970.
- Заломанов В. Н. Пыльные бури. — «Климат и погода», 1928, № 2.
- Захаров П. С. Распространение пыльных бурь на Северном Кавказе и роль лесных полос в борьбе с ними. — «Труды Новочеркасского инженерно-мелиоративного института», т. 7, 1961.
- Захаров П. С. Пыльные бури. Л., Гидрометеоиздат, 1965.
- Зиников В. В. Водная и ветровая эрозия земли. М., Изд. АН СССР, 1963.
- Земляницкий Л. Т. Почвенные образования на курганах у Петрова Бала в Камышинском районе. — «Почвоведение», 1949, № 5.
- Земляницкий Л. Т. Почвенные исследования в районе целинных и залежных земель Западной Сибири и Северного Казахстана. Научный отчет ЗИАИЛМи за 1957 г. Стalingрад, 1960.
- Зиаменский А. Н. О механизме образования некоторых форм золового рельефа песчаных пустынь и защита сооружений от песков. — «Известия Туркменского филиала АН СССР», 1950, № 1.
- Зональные рекомендации по защите почв от ветровой и водной эрозии на юге Украины. Харьков, 1969.
- Иванов А. П. Отрыв песчаной частицы от поверхности и ее движение в воздушном потоке. — «Известия АН Туркменской ССР», сер. биолог., 1963, № 2.
- Иванов А. П. Вращение песчаных частиц в воздушном потоке. — «Известия АН Туркменской ССР», сер. биолог., 1964, № 4.
- Иванов А. П. Физические основы дефляции песков пустыни. Ашхабад, «Ысым», 1972.
- Исенев Г. Факторы почвообразования. М., Издательство иностранной литературы, 1948.
- Извеков А. С. Рыбакин П. И. Ветровая эрозия почв. М., «Колос», 1975.
- Новенко Н. Г. Водно-физические свойства и водный режим почв УССР. Л., Гидрометеоиздат, 1960.
- Новзевич Л. К вопросу о возрасте и эволюции гидрогенных почв. — «Почвоведение», 1931, № 2.
- Несаева Н. М. Эффективность почвозащитной технологии возделывания кукурузы в северо-восточных районах Краснодарского края, подверженных ветровой эрозии. — В кн.: Сборник научных трудов молодых ученых, т. IV (Краснодарский н.-и. институт сельского хозяйства), 1974.
- Карасев Г. М. Бороздовой посев озимых в засушливых и малоснежных районах. — В кн.: Достижения науки и передового опыта в сельском хозяйстве, 1953, № 1.
- Карасев Г. М., Блинова Н. П. Бороздовой посев озимой пшеницы как мера борьбы с ветровой эрозией почв в засушливых степях УССР (Аскания-Нова). — В сб.: Эрозия почв и борьба с ней. М., Сельхозгиз, 1957.
- Кленчилла Н. Н. Эрозия и урожай. — В сб.: Эрозия почв и борьба с ней. М., Л., 1937.
- Киселев А. П. Ветровая эрозия и методы борьбы с ней. — «Вестник сельскохозяйственной науки» (Алма-Ата), 1958, № 3.
- Киятилев М. И. Белок в зерне пшеницы Советского Союза. — «Известия АН СССР», сер. биолог., 1939, № 6.
- Козда В. А., Самойлова Е. М. О возможности определения возраста гидроморфных почв по содержанию  $\text{CaCO}_3$ . — «Доклад АН СССР», т. 182, 1968, № 5.
- Козда В. А. Действительно ли современные почвы не имеют истории? — «Почвоведение», 1969, № 6.

- Колясев Ф. Е., Бельская М. И. Применение катков в земледелии. Л., Лениздат, 1955.
- Комаров А. А. Повышение эффективности снегозащитных средств на железных дорогах Сибири. Новосибирск, 1959.
- Конке Г., Берtrand A. Охрана почв. М., Сельхозиздат, 1962.
- Кононова М. М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М., Изд. АН СССР, 1963.
- Константинов А. Р. Влияние лесных полос на ветер и турбулентный обмен в приземном слое воздуха. — В кн.: Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесораспределения. Л., Гидрометеоиздат, 1950.
- Константинов А. Р. Расчет скоростей ветра в системе полезащитных лесосаждений. — «Метеорология и гидрология», 1951, № 12.
- Константинов А. Р. Непрерыв в природе. Издание I, Л., Гидрометеоиздат, 1963; издание II, Л., 1968.
- Костычев П. А. Почвы черноземной области России. М., Сельхозиздат, 1949.
- Коцкін М. А. Методика дослідження і обліку еродированих ґрунтів. Методика крупномасштабного дослідження ґрунтів колгоспів радгоспів Української РСР, частина I. Харків, 1958.
- Крашенинников Н. Н. Прикатывание почвы и урожай. М., Сельхозиздат, 1963.
- Криштофович А. Исследование почвы под курганами Харьковской губернии. — «Почвоведение», 1914, № 1, 2.
- Крупский Н. К. Проблемы изучения смытых почв. — В сб.: Повышение плодородия еродированных почв (Труды Украинского н.-и. института почвоведения), т. VI. Киев, 1963.
- Кузнецова Н. В. К вопросу о механической прочности почвенной структуры. — «Почвоведение», 1967, № 8.
- Лазарев М. М., Савичев В. Д. Эффективность систем лесных полос в борьбе с пыльными бурями в Краснодарском крае. — В сб.: Полезащитные лесные полосы в борьбе с пыльными бурями. Волгоград, 1969.
- Левин Н. Н. Моделирование гидравлических явлений. М.—Л., 1960.
- Левченко В. К. Почвозащитная (плоскорезная) технология возделывания зерновых культур в сети лесных полос на юго-востоке Ростовской области. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук. Новочеркаск, 1973.
- Лосинский А. Н. Лабораторные исследования движения почвенных паносов. — «Труды Центрального н.-и. института водного транспорта», вып. 121. Л., 1934.
- Лысак Г. Н. Ветровая эрозия почв. — «Земледелие», 1958, № 2.
- Ляхов А. И. Удобрения на еродированных землях. М., Россельхозиздат, 1975.
- Маданов П. В., Войкин Л. М. Погребенные почвы под оборонительными сооружениями Русского государства XVI—XVII вв. — «Почвоведение», 1966, № 9.
- Маданов П. В., Тюременко А. В. Вопросы наследственности и эволюции почв каштановой зоны Казахстана. — «Почвоведение», 1968, № 9.
- Матвеев Н. А., Лобанов М. И. Почвозащитные приемы возделывания люцерны на межполосных полях. «Бюллетень ВИГАИМи», вып. 12 (66), 1973.
- Матусевич С. П. Почвы северных областей Казахстана, подверженных ветровой эрозии. — «Вестник сельскохозяйственной науки» (Алма-Ата), 1958, № 3.
- Матякин Г. И. Полезащитные полосы в зоне полупустынь, их влияние на микроклимат межполосных пространств. ВАСХНИЛ, вып. VIII, 1937.
- Матякин Г. И. Лесные почвозащитные полосы и микроклимат. М., Географгиз, 1952.
- Мерперт П. Я., Смаглов А. Н. Археология и некоторые вопросы почвоведения. — «Советская археология», 1960, № 4.

- Милосердов Н. М. Роль лесных полос разных конструкций в период черных бурь. — «Вестник сельскохозяйственной науки», 1961, № 11.
- Милосердов Н. М. О некоторых особенностях развития озимой пшеницы при повреждениях ее пыльными бурями. — «Лесоводство и лесомелиорация», вып. 4, 1965.
- Милосердов Н. М. Лесные полосы против зимних пыльных бурь. — «Лесное хозяйство», 1970, № 3.
- Милосердов М. М. Эффективность полезащитных лесовых смуг. Киев, 1971.
- Милосердов Н. Противозорожонные приемы применять в комплексе. — «Земледелие», 1973, № 11.
- Милосердов Н. М. Агрономическая эффективность лесных полос в борьбе с ветровой эрозией и засухой на юге Украины. Автографат диссертации на соискание ученой степени доктора с.-х. наук. Харьков, 1975.
- Миронов В. В. Защитная роль лесных полос в борьбе с пыльными бурями в районах Северного Кавказа (научный отчет ВНИИАЛМИ с. 1957 г.). Ставрополь, 1960.
- Мирончеко Ф. А., Ивонин В. М. Борьба с эрозией почв и повышение плодородия эродированных земель в Ростовской области. — В сб.: Ветровая эрозия и плодородие почв. М., «Колос», 1976.
- Михайленко М. М., Левченко А. М. Пылевые бури на Украине в синоптическом аспекте. — «Вестник сельскохозяйственной науки», 1970, № 3.
- Морозова Т. Д. Строение древних почв и закономерности их географического распространения в различные эпохи почвообразования верхнего палеогена. — «Почвоведение», 1963, № 12.
- Мотузов Я. Я. Влияние мороза на структуру и эрозионную стойкость почвы в зависимости от ее влажности. — «Почвоведение», 1960, № 3.
- Орловский Н. В. Формирование и свойства перевезенных почв. М., 1967.
- Островский Н. М. Перенос пыли во взвешенном состоянии. — В сб.: Пыльные бури и их предотвращение. М., Изд. АН СССР, 1963.
- Пакудин З. А. Результаты работ по изучению обработки почвы под озимую пшеницу. — «Труды Краснодарского с.-х. института сельского хозяйства», вып. II, 1966.
- Паневский Н. П. Изучение глубокой безотвальной вспашки на колхозной опытной станции. — «Труды Крымской с.-х. опытной станции», т. III, 1957.
- Панфилов Я. Д. Полезащитные полосы на водораздельном плато степной зоны Поволжья. ВАСХНИЛ, вып. VIII, 1937.
- Поздняков Ю. Плоскорезная обработка. — «Земледелие», 1975, № 7.
- Половницкий П. Я. К вопросу об оценке сельскохозяйственных угодий. — В сб.: Учет и оценка сельскохозяйственных земель. М., Изд. МГУ, 1963.
- Попруженко С. Г. Материалы к изучению пылевого тумана и песчаных бурь (выигры), господствовавших на юго-западе России в апреле и мае 1892 г. Литературное обозрение. — «Труды метеорологической сети юго-запада России», вып. IV. Одесса, 1893.
- Прандтль Л. Гидроаэромеханика. М., 1949.
- Преснякова Г. А. Влияние «сезонной» эрозии на урожай сельскохозяйственных культур. — «Почвоведение», 1946, № 7.
- Прянишников Д. Н. Избранные сочинения, т. I и II. М., Сельхозгиз, 1956.
- Раков А. Ю. Противодефляционная роль лесных полос основных конструкций на Тереко-Кумских песках. — «Бюллетень ВНИИАЛМИ», вып. 7 (59), 1970.
- Ревут И. Б. Новое в технологии обработки почв. — «Вестник сельскохозяйственной науки», 1969, № 7.
- Родомакин А. Ф. Эрозия почв и меры борьбы с ней. Алма-Ата, 1967.
- Родомакин А. Ф. К вопросу о систематике и картировании дефилированных почв. — «Почвоведение», 1963, № 2.
- Рупрехт Ф. П. Геоботанические исследования о черноземе. — «Записки Академии наук», 1866, № 6.
- Рыжиков Д. П. Черные или пыльные бури на Украине. Научный отчет УкрНИИЛХА за 1946 г. Киев — Харьков, 1948.
- Рыжиков Д. П. О мероприятиях по борьбе с черными бурами. — Труды УкрНИИЛХА, вып. 17, 1955.
- Рыжиков Д. П. Пыльные (черные) бури в Украинской ССР и борьба с ними. — В сб.: Эрозия почв и борьба с ней. М., 1957.
- Рыжиков Д. П. и др. Зимние пыльные бури на Украине. — В сб.: Полезащитные лесные полосы в борьбе с пыльными бурами. Волгоград, 1969.
- Рыжиков Д. П. и др. Почвозащитное земледелие в Донбассе. — «Вестник сельскохозяйственной науки», 1975, № 7.
- Самоедов А. Почвозащитная технология. — «Земледелие», 1975, № 6.
- Сазонов П. Н. Защита почвы и посевов от пыльных бурь лесными полосами. — В сб.: Полезащитные лесные полосы в борьбе с пыльными бурами. Волгоград, 1969.
- Сарадинаки Н. К вопросу о выдувании посевов на юге России. — «Метеорологический вестник», 1894, № 6.
- Святский Д. О. Пыльные бури и черные туманы 26—27 апреля 1928 г. — «Мироведение», т. 17, 5, 1928.
- Сдобников С. С., Полопинский Н. Я. Программа и методика исследований по ветровой эрозии почвы. — «Вестник сельскохозяйственной науки» (Алма-Ата), 1958, № 3.
- Сеттон О. Г. Микрометеорология. М., Гидрометеогизтат, 1958.
- Сибирцев Н. М. Почва как геофизическое образование. Центр. согр., т. 1. М., Сельхозгиз, 1951.
- Сирин А. А. Эффективность полезащитного лесоракопления на Приазовской возвышенности. — В сб.: Лесоводство и агролесомелиорация, вып. 39. Киев, 1974.
- Скородумов А. С. Земледелие на склонах. Киев, 1970.
- Смалько Я. А. Ветрозащитные особенности лесных полос разных конструкций. Киев, 1963.
- Сметанин Н. С. Защита почв от эрозии. Новосибирск, 1969.
- Смирнова Л. Ф. О ветровой эрозии легких почв в Навоцкой области. — «Почвоведение», 1960, № 2.
- Соболев С. С. Эрозия почв на территории Украинской ССР и борьба с ней в период восстановления сельского хозяйства после немецкой оккупации. — «Почвоведение», 1945, № 3, 4.
- Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними, т. I. М.—Л., Изд. АН СССР, 1948.
- Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними, т. II. М., Изд. АН СССР, 1960.
- Соколенко И. и др. Почвозащитная обработка ослабляет действие суховеев. — «Земледелие», 1976, № 11.
- Соколов Н. А. Дюны, их образование, развитие и внутреннее строение. Спб., 1884.
- Соколов Н. Н. О возрасте и эволюции почв в связи с возрастом пород и рельфа. — «Труды Почвенного института имени В. В. Докучаева», вып. 6. Л., 1932.
- Соколовский Д. Л. Речной сток (основы теории и методики расчетов). Л., Гидрометеогизтат, 1959.
- Сосновская В. Н. Исследование структуры некоторых типов почв Таджикистана. — В кн.: Труды конференции молодых ученых Таджикистана. Душанбе, «Ирфон», 1966.
- Спирин А. П. Агротехнические основы разработки почвозащитных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. — «Труды Всесоюзного научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства», т. 63. М., 1973.
- Спирин А. П., Грицик М. И. Некоторые результаты изучения почвозащитных приемов возделывания сельскохозяйственных культур в Краснодарском крае. — В сб.: Ветровая эрозия и плодородие почв. М., «Колос», 1976.
- Степанов А. М. Некоторые аэродинамические особенности ветровозделываемых и плотных механических защит. — «Ученые записки Научно-исследовательского института сельскохозяйственного механизации и автоматизации», 1975, № 1.

- валенского института лесного хозяйства Академии с.-х. наук Узбекской ССР», вып. I, 1959.
- Степанов А. М., Смертина Е. М. Лесные полосы в борьбе с пыльными бурями на орошаемых землях. — В сб.: Полезащитные лесные полосы в борьбе с пыльными бурями. Волгоград, 1969.
- Степа У., Лехей и Дж. Влияние полезащитных полос на скорость ветра, влажность почвы и урожай культуры. — В сб.: Уход за лесом и лесные полосы. М., Издательство иностранной литературы, 1957.
- Тайчинов С. Н. Особенности проявления ветровой эрозии и меры борьбы с ней в юго-западных районах Башкирии. — В сб.: Эрозия почв и борьба с ней. М., Сельхозгиз, 1957.
- Тарасенко Б., Донцов Т. Почвозащитная обработка под кукурузу. — «Земледелие», 1975, № 8.
- Толешек Ю. К. Противодесфляционный вспаш к лесовых смуг. — «Вестник с.-х. науки», Киев, 1960, № 9.
- Тюрина П. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М., «Наука», 1965.
- Тюрина Н. В., Тюрина Е. Н. О составе гумуса в исколпаемых почвах. — «Почвоведение», 1940, № 2.
- Уильямс Г. К вопросу о влиянии золового переноса песка на разных высотах на его гранулометрический состав. — «Доклады АН СССР», т. 149, 1963, № 2.
- Фатъянов А. С. Опыт анализа истории развития почвенного покрова Горьковской области. — В сб.: Почвенно-географические исследования и использование аэрофотосъемки в картировании почв. М., 1959.
- Федоров П. С. Содержание белка в зерне пшеницы в зависимости от сорта и условий возделывания и его роль в повышении урожайных качеств семян. Автореферат диссертации на соискание ученоей степени кандидата биологических наук. Фрунзе, 1956.
- Фекотова Н. Н. Эффективность системы защитных лесных полос в условиях Ставропольского края. — В сб.: Повышение эффективности лесных полос в борьбе с засухой и эрозией почв. М., 1967.
- Хан Д. В. Органо-минеральные соединения и структура почвы. М., «Наука», 1969.
- Хачатрян А. Г. Транспортирующая способность потока и динамика осаждения наносов в отстойнике. — «Труды Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации», т. 32. М., 1953.
- Химина Н. Т. Противодесфляционная эффективность систем лесных полос на песчаных землях. — Бюллетень Всесоюзного и.и. института агролесомелиорации, вып. 12 (66), 1973.
- Хоупъяк К. Л., Чоні Г. Н. Відкладання продуктів вітрової ерозії на схилах ярів та балок. — «Труды УкрНИИЛХА», вып. 22. Київ, 1960.
- Холуйк К. Л., Шикунова Н. К. Эрозия почв в Украинской ССР и рекомендации мероприятия для борьбы с ней. — В сб.: Защита почв от эрозии. М., «Колос», 1964.
- Чакветадзе Е. А. Ветровая эрозия темно-каштановых супесчаных почв Северного Казахстана. М., Изд. АН ССР, 1967.
- Чичагова О. А., Левитан Л. Г. Опыт применения радиоутлеродного метода для определения возраста почв. — «Известия АН ССР», сер. геогр., 1966, № 2.
- Шенберг Г. Г. Сухие туманы и помоха как один из видов их. Часть I. Обзор и классификация сухих туманов. — «Труды по сельскохозяйственной метеорологии», вып. XV, 1915.
- Щербак И. Е. Почвозащитная обработка полей в южных районах. М., «Колос», 1974.
- Щербак И. Е., Парфенов М. А. Почвозащитная обработка на юге Украины. — «Земледелие», 1975, № 12.
- Щербак И. Е., Парфенов М. А. Плоскорезная обработка почвы в южных районах Николаевской области. — В сб.: Ветровая эрозия и плодородие почв. М., «Колос», 1976.

- Шикунова Н. К. Влияние степени эродированности почв Донбасса на урожай сельскохозяйственных культур. — В сб.: Борьба с эрозией и повышение плодородия эродированных почв Украины. Киев, 1962.
- Шикунова Н. К. Физико-химические свойства и пищевой режим эродированных почв Донбасса. — В сб.: Повышение плодородия эродированных почв. Киев, 1963.
- Шикунова Н. К. Борьба с эрозией и приемы земледелия на склоновых землях Донбасса. Автореферат диссертации на соискание ученоей степени доктора с.-х. наук. Харьков, 1968.
- Шиятый Е. И. Эродируемость южных карбонатных черноземов в зависимости от шероховатости поверхности почвы. — «Вестник сельскохозяйственной науки» (Алма-Ата), 1965, № 12.
- Шиятый Е. И. Почвозащитная роль элементов шероховатости поверхности почвы и их изменение при различных способах ее обработки. — В сб.: Земледелие, почвоведение, агрономия и здравоохранение растений, вып. I. М., «Колос», 1968.
- Штрафель М. А. Ветрозащитные и почвозащитные свойства лесных волос разных конструкций. — «Лесное хозяйство», 1973, № 7.
- Юдин М. И. Влияние лесных полос на турбулентный обмен и оптимальная ширина полос. — «Доклады АН ССР», 1950, № 4.
- Якубов Т. Ф. Ветровая эрозия и борьба с ней. М., Сельхозгиз, 1946.
- Якубов Т. Ф. Ветровая эрозия почвы и борьба с ней. М., Сельхозгиз, 1955.
- Якубов Т. Ф. Новые данные по изучению ветровой эрозии почв и борьбе с ней. — «Почвоведение», 1959, № 7.
- Якубов Т. Ф. Ветровая эрозия и борьба с ней. — «Колхозное производство», 1960, № 8.
- Якубов Т. Ф. Некоторые закономерности развития процессов ветровой эрозии почв. — «Известия АН ССР», сер. геогр., 1962, № 2.
- Anderson S. H., Wenhardt A. Soil erodibility, Fall and spring. — Canad. J. soil sci., 46, N 3, 1966.
- Anderson C. H., Bisal F. Snow-cover effect on the erodible soil fraction. — Canad. J. soil sci., 49, N 3, 1969.
- Bagnold R. A. The transport of sand by wind. — The Geog. J., v. 89, 1937, N 5.
- Bagnold R. A. The physics of blown sand and desert dunes. 1954.
- Van Varen I. Properties and constitution of a volcanic soil, built in 50 years in East-Indian Archipelago. Comm. Geol. Inst. Agric. Univ. Wageningen, Holland, 17, 1931.
- Beppett H. H. Elements of soil conservation. 1955.
- Boekel P. The effect of organic matter on the structure of clay soils. — Neth. J. Agric. sci.; v. 11, N 4, 1963.
- Bisal F., Hsich J. Influence of moisture on erodibility of soil by wind. — Soil sci., v. 102, N 3, 1966.
- Chepil W. S., Meline R. A. Comparative study of soil drifting in the field and a wind tunnel. — Scientific Agr., v. 19, N 5, 1939.
- Chepil W. A. Wind erosion of soil in relation to size and nature of the exposed area. — Sci. Agr., v. 21, N 8, 1941.
- Chepil W. S., Meline R. A. Wind erosion of soil in relation to roughness of surface. — Soil sci., v. 52, N 6, 1941.
- Chepil W. S. Relation of wind erosion to the water stable and dry clod structure of soil. — Soil sci., v. 55, N 4, 1943.
- Chepil W. S. Dynamics of wind erosion. V. Cumulative intensity of soil drifting across eroding fields. Soil sci., v. 61, N 3, 1946.
- Chepil W. S. Properties of soil influence wind erosion. II. Dry aggregate structure as an index of erodibility. — Soil sci., v. 69, N 5, 1950.
- Chepil W. S. Field structure of cultivated soils with special reference to erodibility by wind. — Soil sci. soc. Amer. Proc., v. 17, N 3, 1953.
- Chepil W. S. Influence of moisture on erodibility of soil by wind. — Soil sci. soc. Amer. Proc., v. 20, N 2, 1956.

- Chepil W. S. The use spheres to measure lift and drag of wind eroded soil grains. "Soil sci. soc. Amer. Proc.", v. 25, N 5, 1961.
- Devitt E. K., Newstein H. L. The variation of gust factors with mean wind speed and with height.—"Appl. meteorol.", 7, N 3, 1968.
- Fuglehorn C. L., Zingg A. W., Woodruff N. P. The effect of plant residue cover and clod structure on soil losses by wind.—"Soil sci. soc. Amer. Proc.", v. 16, N 1, 1952.
- Gross H. Das Gottweiger Interstadial, ein zweiter Leithorizont der letzten Vereisung. Eiszeitalterung Gegenwart, Ed. 7, 1966.
- Hardy F. Soil erosion in St. Vincent. BWI Trop. Agr. (Trinidad), 16, 1939.
- Lorenz H. O. Porywistost wiatru w Warszawie. Wiadom.—"Sluzby hydroi. i meteorol.", 4, N 3, 1968.
- Paul E. A., Campbell C. A., Rennie D. A., and Mc Callum K. K. Investigation of the dynamics of soil humus utilizing Carbon dating techniques. Univ. of Saskatchewan, Canada, 1964.
- Pasak V. Fyzikalni priciny vetrne eroze pudy.—"Rostl. uverba", 8, N 5, 1962.
- Rogowski A. S., Moldenhauer W. C., Kirham D. Rupture parameters of soil aggregates.—"Soil sci. soc. Amer. Proc.", v. 32, N 5, 1968.
- Ruhe R. V. and Scholten W. H. Ages and development of soil landscapes in relation to climatic and vegetational changes in Iowa.—"Soil sci. soc. Amer. Proc.", v. 20, N 2, 1956.
- Siddoway F. H., Chepil W. S. and Armbrust D. V. Effect of kind, amount and placement of residue on wind erosion control.—"Trans. ASAE", v. 8, N 3, 1965.
- Smith D. D. and Whitt D. M. Estimation soil losses from field areas of claypan soil.—"Soil sci. soc. Amer. Proc.", v. 12, 1948.
- Smith R. M. Determining the Range of tolerable erosion.—"Soil sci.", v. 100 N 6, 1966.
- Stallings J. H. Soil conservation, 1957.
- Sundborg A. The river Klaralven. A study of fluvial processes. "Geografiska Annaler", 38, hæfte 2—3, 1956.
- Tamm C. O., Östlund H. G. Radiocarbon dating of soil humus.—"Nature", N 4714, v. 185, 1960.
- Turell I. W. Wind erosion control guides.—"Soil Conserv.", v. 30, N 5, 1964.
- Uggela H., Nosynsky A. Zastosowanie nowego przyzadu, tzw. deflametru do badan nad etozja wietrana. Zeszytu problemowe posterow nauk Rolniczych, Zeszyt 21, 1960.
- White E. M. Soil age and texture factors in subsoil structure genesis.—"Soil sci.", v. 103, N 4, 1967.
- Woodruff N. P., Zingg A. W. A comparative analysis of wind-tunnel and atmospheric air-flow patterns about single and successive barriers. Trans. Amer. Geoph. Union, 36, 1955.
- Woodruff N. P. Wind-blown soil abrasive injuries to winter wheat plants. —"Agronomy journal", v. 48, N 11, 1956.
- Woodruff N. P., Siddoway F. H. A wind erosion equation.—"Soil sci. soc. Amer. Proc.", v. 29, N 5, 1965.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Природа податливости почв ветру	7
Критические скорости ветра	7
Эродируемость почв ветром	18
Свойства почвы, влияющие на развитие ветровой эрозии	29
Влияние ветра на почву и сельскохозяйственные растения	41
Влияние ветра на почву	41
Влияние ветра на сельскохозяйственные растения	47
Воздействие сезонной ветровой эрозии на сельскохозяйственные растения	49
Ветровая эрозия на территории Украины	54
Классификация ветровой эрозии	54
Пыльные бури, их периодичность, продолжительность и распространение	56
Районирование ветровой эрозии	68
Потери почвы от ветровой эрозии и их допустимый предел	74
Классификация почв, эродируемых ветром	82
Использование методов защиты почв от ветровой эрозии	94
Влияние шероховатости поверхности, растительного покрова и покинутых остатков на изменение скорости ветра в приземном слое атмосферы	95
Почвозащитная обработка почвы	98
Захист зяблей от ветровой эрозии	109
Эффективность систем лесных полос в борьбе с пыльными бурями	111
Влияние систем полезащитных лесных полос на скорость ветра	112
Почвозащитные свойства одиночных лесных полос и их систем	126
Принципы расчета межполосных расстояний в системе ажурных лесных полос на различных землях, подверженных ветровой эрозии	133
Почвозащитная эффективность систем лесных полос во время пыльных бурь	135
Эффективность комплекса почвозащитных агротехнических и лесомелиоративных приемов	142
Заключение	145
Указатель литературы	148

*Марат Носифович Долгилевич*

**ПЫЛЬНЫЕ БУРИ И АГРОЛЕСОМЕЛIORАТИВНЫЕ  
МЕРОПРИЯТИЯ**

Редактор Р. А. Антилина

Художественный редактор З. П. Зубрилина

Технический редактор Л. А. Воронова

Корректор А. М. Ушакова.

**ИБ № 844**

Сдано в набор 21.10.77 Подписано к печати 28.02.78 Т 61096.  
Формат 60×90 $\frac{1}{16}$ . Бумага тиц. № 2. Гарнитура литературная.  
Печать высокая. Усл.печ. л. 10; Уч.-изд. л. 11,85. Изд. № 17.  
Тираж 2340 экз. Заказ № 5741. Цена 95 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос».  
103716, ГСП, Москва, К-31, ул. Дзержинского, д. 1/19

г. Орел, типография «Труд».