

На правах рукописи

ВОЛКОВА Юлия Валерьевна

**СКОРОСТЬ НАЧАЛА ТРОГАНИЯ И ТРАНСПОРТ ЧАСТИЦ
ГРУНТА ПРИ ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВ**

Специальность 06.01.02-"Мелиорация, рекультивация и охрана земель"

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Допущено к сдаче в печать
на заседании диссертационного совета №7
от 23.04.2002г.

Санкт – Петербург - 2002

Диссертация выполнена на кафедре инженерных мелиораций,
гидрологии и охраны окружающей среды Санкт-Петербургского
государственного политехнического университета.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Михалев Михаил Андреевич

Официальные оппоненты: Чл.-корр. РАСХН, д.т.н., проф. Штыков
Валерий Иванович;
директор Государственного унитарного научно-
проектного центра "СевНИИГиМ" к.т.н. Гинц
Андрей Владиславович.

Ведущая организация - Государственный унитарный научно-
проектный центр "Ленводпроект"

Защита состоится "11" июня 2002г. в 10 часов
на заседании диссертационного совета Д 212.229.17
в Санкт - Петербургском государственном политехническом
университете по адресу: 195251, Санкт - Петербург, Политехническая
ул., д. 29, гидрокорпус-2 (ПГК), ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке
Санкт - Петербургского государственного политехнического
университета

Автореферат разослан " 6 " мая 2002г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Орлов В.Т.

1. Общая характеристика работы.

Актуальность проблемы. Ветровая эрозия почв (дефляция) наносит огромный урон сельскому хозяйству. Дефляции в России подвержены многие регионы: в первую очередь это Краснодарский и Ставропольский края, Кабардино-Балкария, Дагестан. В последние годы стали часто наблюдаться такие катастрофические явления как пыльные бури, причиняющие ущерб всему народному хозяйству и несущие страдания людям. Исследованиям явления ветровой эрозии почв посвящен ряд отечественных и зарубежных работ. Однако, имеющиеся результаты пока не дают полного представления о всех процессах, связанных с проблемой дефляции, и перед наукой стоит еще ряд задач, которые необходимо решить.

Настоящее исследование выполнено в рамках целевой научно - технической программы "Экология и охрана природы Российской Федерации", а также программы РАСХН "Разработать научные основы оптимизации агроландшафтов и создать адаптивно - ландшафтные системы земледелия".

Основной целью данных исследований является разработка метода определения скорости ветра, при которой начинается процесс дефляции; изучение способности воздушного потока транспортировать твердые частицы; создание методики расчета ветровой эрозии.

Исходя из поставленной цели, были сформулированы следующие задачи исследования.

1. Создать экспериментальную установку для физического моделирования процесса ветровой эрозии.
2. Разработать методику определения скорости начала трогания и транспорта частиц песчаного грунта под действием ветра.
3. Получить зависимости для скорости начала трогания песчаного грунта различной крупности и транспортирующей способности воздушного потока.

4. Разработать методику расчета ветровой эрозии почвогрунтов, используя основные положения диффузионной теории переноса мелких частиц турбулентным потоком.

Объектом исследования для изучения процесса ветровой эрозии почв в работе выбран сухой песок пяти различных фракций, которые охватывают все области сопротивления. Выбор объекта не случаен, так как именно песчаные почвы, наиболее сильно подвержены ветровой эрозии. Чаще всего дефляция происходит в весеннее время, когда почвы еще не защищены растениями, а влажность воздуха минимальна, что способствует иссушению верхнего слоя почв и выдуванию его при сильном ветре.

Методика исследования. Исследования проводились на лабораторной аэродинамической установке. Постановка опытов и обработка их результатов производились в соответствии с методами физического моделирования явлений и теории подобия. Для построения критериальных уравнений использовался метод комбинации чисел подобия. При обработке результатов исследований применялся регрессионный анализ, определялись случайные погрешности измерений. Проведены сопоставления полученных данных с результатами в смежных областях (скорость начала трогания частиц грунта и транспорт наносов водным потоком) и с имеющимися данными натурных наблюдений.

Научная новизна работы. На основании выполненных экспериментальных исследований доказано, что распределение скорости воздушного потока по высоте в слое, непосредственно прилегающем к поверхности грунта, на аэродинамической модели подчиняется логарифмическому закону. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено использование в качестве основного параметра, определяющего условия начала трогания частиц грунта и их транспорт, касательного напряжения (динамической скорости) на границе между воздушной средой и грунтом. Найдена зависимость динамической скорости потока, отвечающей началу трогания частиц грунта от критерия Архимеда.

Установлена связь между транспортирующей способностью потока и отношением действующей динамической скоростью к той, которой соответствуют условия начала трогания. Теоретически обосновано и подтверждено данными натурных наблюдений использование методов турбулентной диффузии при определении степени насыщения воздушного потока в штормовых условиях мелкими частицами, уносимыми с земной поверхности. Впервые доказано образование самоотмоксти на поверхности почвогрунтов, подверженных дефляции. Разработана методика расчета дефляции.

Личный вклад автора: проведение экспериментальных исследований, разработка методики расчета дефляции, апробация методики путем сопоставления полученных результатов с данными натурных наблюдений и исследований других авторов.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов подтверждается использованием современных методов анализа и обобщения данных экспериментальных исследований, оценкой погрешностей измерений, привлечением теоретических разработок в области гидромеханики однофазной и двухфазной жидкостей, сопоставлением полученных данных с результатами, имеющимися в смежных областях, и натурных наблюдений.

Практическое значение работы. Разработанная методика позволяет определять дефляционную устойчивость почв и количество перемещаемого грунта при штормовом ветре. Выполненные исследования могут способствовать разработке противодефляционных мероприятий, заключающихся, прежде всего, в своевременной оценке дефляционной опасности и рациональном землеустройстве.

Внедрение работы. Предложенная методика принята на географическом факультете С.-ПбГУ для исследований в прикладных науках и при подготовке специалистов высшей квалификации.

На защиту выносятся следующие положения.

1. Зависимости для определения касательных напряжений на границе воздушного потока и земной поверхности, соответствующие началу трогания частиц, и методы их определения.
 2. Методика проведения опытов при изучении распределения скоростей воздушного потока на модели в непосредственной близости от поверхности грунта.
 3. Критериальное уравнение транспортирующей способности воздушного потока.
 4. Методика, дающая возможность в рамках диффузионной теории определять содержание достаточно мелких твердых частиц (пыль, ил) в воздушном потоке на различном расстоянии от земной поверхности.
 5. Зависимости, позволяющие определять толщину слоя уносимого с поверхности земли грунта с учетом самоотмостки крупных частиц.
- Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и 3 приложений, изложена на 135 страницах машинописного текста, содержит 7 рисунков и 5 таблиц. Библиографический список использованной литературы включает 72 наименования.

2. Основное содержание работы.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы основные цели и задачи исследований.

Первая глава посвящена описанию общих сведений о процессе ветровой эрозии почвогрунтов, которое включает в себя анализ причин, приводящих к дефляции, описанию этого явления на основе литературных источников, а также подробный анализ важнейших характеристик этого процесса. Рассмотрены меры борьбы с ветровой эрозией почв.

Важнейшими характеристиками процесса ветровой эрозии являются скорость начала трогания частиц грунта и транспортирующая способность воздушного потока. По данным литературных источников, в нашей стране и за рубежом проведено большое количество исследований явления дефляции.

Наиболее известными из отечественных являются исследования Глазунова Г.П., Долгилевича М.И., Васильева Ю.И., Дьяченко А.Е., Макарычева Н.Т, Куртенера Д.А., Звонкова В.В., Кальянова К.С., Ларионова Г.А., Смирновой Л.Ф., Ускова И.Б., Сохрокова А.Х. и др. Из зарубежных работ можно отметить исследования Багнольда, Чепила и Вудрофа и других.

Наибольшее число исследований посвящено определению скорости начала трогания частиц грунта под действием ветра. Большинство из них пыталось получить скорость начала трогания, рассматривая различные условия предельного равновесия сил, действующих на частицу. Такой подход был заранее обречен на неудачу из-за большого количества неизвестных параметров, от которых зависит явление. Не ясно также, что понимается под “скоростью начала трогания частиц”, так как скорость потока, непосредственно воздействующая на частицу, отличается от скорости в слоях воздуха, расположенных на разном удалении от поверхности почвы. Имеется группа авторов, которые определяли скорость начала трогания по результатам натурных наблюдений, а так же данных, полученных в аэродинамических трубах. Основной недостаток этих работ заключается в отсутствии строгой трактовки такого понятия как “скорость начала трогания”: расстояния от поверхности земли, на которых она измеряется, каждый автор трактует по-своему; при измерениях в аэродинамической трубе чаще всего предлагается принимать среднюю по сечению трубы скорость. Большинство исследований не учитывало распределение скорости в приземном слое атмосферы, которое, как известно, подчиняется логарифмическому закону, а также не определяло касательные напряжения, действующие на границе между воздушным потоком и землей.

Существует несколько типов зависимостей для транспортирующей способности воздушного потока. Во многих из них транспортирующая способность принята пропорциональной кубу скорости воздушного потока. Такие зависимости нельзя признать правильными, так как они дают величину транспортирующей способности при скорости потока, меньшей скорости

начала трогания частиц. В формулах, предлагаемых другими авторами, этот недостаток устранен: транспортирующая способность зависит от разности скорости воздушного потока и скорости, при которой начинается движение частиц почвы. Но в связи с тем, что у каждого автора имеется свое мнение относительно величины скорости начала трогания частиц грунта и методах ее определения, то, естественно, формулы для транспортирующей способности воздушного потока получаются разными и результаты расчета по ним существенно отличаются друг от друга. Большинство зависимостей такого рода не удовлетворяют принципу размерностей.

Наиболее близкой по постановке к нашим исследованиям является работа, выполненная Сохроковым А.Х., в которой динамическая скорость, отвечающая началу трогания, была впервые увязана с размерами частиц и физическими константами сред. Автор при установлении транспортирующей способности потока правильно определил критерии, от которых она зависит. Им была предложена методика расчета деформации поверхности почвы вследствие ветровой эрозии. Однако, не все положения, высказанные автором, были проверены результатами экспериментальных исследований. В том числе не было доказано подобие потоков в натуре и на модели, так как распределение скорости на модели не изучалось. Не были получены динамическая скорость, отвечающая началу трогания для мелких частиц; а в расчетах деформации поверхности земли не учитывалось явление самоотмостки.

По результатам обзора основных работ о дефляции был сделан вывод о необходимости продолжения дальнейших исследований этого явления. Прежде всего, они должны опираться на результаты изучения скорости начала трогания частиц в воздушном потоке и быть основой этих исследований. Необходимо в рамках диффузионной теории продолжить изучение возможности воздушного потока переносить мельчайшие частицы грунта. Следует разработать методику определения толщины унесенного ветром грунта с учетом образования самоотмостки.

Вторая глава посвящена постановке задачи исследований и выбору расчетной схемы при определении скорости начала трогания частиц и транспортирующей способности воздушного потока путем физического моделирования явления, в основу которого положены методы теории подобия и размерностей. Характерной скоростью в рассматриваемой задаче является динамическая скорость, соответствующая началу трогания частиц, которая выражается через касательные напряжения, возникающие на границе воздушного потока и грунта. Не менее важной задачей является установление закона распределения скорости вблизи поверхности грунта на аэродинамической модели. Подобие потоков на аэродинамической установке и в натуре будет обеспечено, если будет доказано, что на модели распределение скоростей по вертикали соответствует этому же закону. Тогда, используя его, можно определить скорость на любом расстоянии от поверхности грунта. В основу изучения транспортирующей способности воздушного потока должны быть положены соответствующие методы, принятые при изучении движения твердых частиц в водном потоке.

При определении транспортирующей способности воздушного потока разнозернистых грунтов, прежде всего, находится размер частиц, которые при заданной динамической скорости, передвигаться воздушным потоком не будут. Транспортирующая способность потока по фракциям меньших размеров находится как сумма транспортирующих способностей каждой фракции, умноженная на ее относительное содержание в соответствии с кривой грансостава.

Необходимо также изучить распределение взвешенных частиц по вертикали в турбулентном воздушном потоке, используя методы диффузионной теории.

Итогом исследований должна стать методика расчета дефляции, позволяющая рассчитать толщину слоя грунта, унесенного с участка заданных размеров за определенное время, в течение которого наблюдался штормовой ветер. Для этого необходимо составить уравнение деформации

земной поверхности при дефляции, которое позволяло бы учесть образование самоотмокки из крупных частиц.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям процесса дефляции на аэродинамической установке. Экспериментальная аэродинамическая установки состояла из прямолинейных лотков. На дно каждого из лотков укладывался несвязный материал определенной крупности. Сверху лотки закрывались стеклами, стыки которых промазывались пластилином. Измерения проводились в двух створах, расстояние первого от начала лотка было не менее 25-30 глубин. В поток через отверстия в деревянных планках, находящихся в стыках стекол, вводилась гидродинамическая трубка для измерения скоростей воздушного потока на трех вертикалях. Установка подключалась к вентилятору, работающему на всасывание, с помощью переходного устройства, которое также выполняло роль сборника унесенного с модели песка. Расход воздуха на модели изменялся при помощи регулировочной задвижки. Для измерения скоростей воздушного потока использовалась измерительная трубка ЦАГИ. Измерения скоростей на каждой вертикали производились через каждые 2,5мм. Глубина воздушного потока изменялась от 5,5 до 2 см.

Для опытов использовался сухой песчаный материал пяти различных крупностей: фракция 1 (2-3мм), фракция 2 (1-2мм), фракция 3 (0,5-1мм), фракция 4 (0,25-0,5мм), фракция 5 (0,1-0,21мм). В опытах визуально фиксировался момент, когда частицы начинали шевелиться; при малейшем увеличении скорости, начиналось их массовое движение. В расчетах принималась во внимание только та часть потока, которая непосредственно примыкала к дну (до максимальной скорости на вертикали). С учетом сопротивления поверхности грунта определялась расчетом соответствующая динамическая скорость, которая принималась в качестве динамической скорости, отвечающей началу трогания частиц грунта U_{*0} , находящихся на дне. Далее вычислялись критерии Архимеда Ar и число Рейнольдса Re_* .

Затем по полученным данным с помощью регрессионного анализа определялись параметры a и n в критериальном уравнении:

$$Re_* = aAr^n, \quad (1)$$

где $Re_* = U_* d / \nu$, $Ar = gd^3[(\rho_1/\rho) - 1]/\nu^2$, d - средний диаметр частиц, ν - кинематический коэффициент вязкости, ρ_1 и ρ - плотность материала частиц и воздуха соответственно, g - ускорение силы тяжести. Анализ показал, что параметры данного критериального уравнения практически не отличаются от параметров аналогичного уравнения для системы вода - наносы: в зоне квадратичного сопротивления: $a=0.154$, $n=0.5$; в переходной области: $a=0.311$, $n=0.432$; в зоне гидравлически гладкого русла: $a=0.503$, $n=0.35$. Наибольшая относительная погрешность не превышает 13%.

Для установления закона распределения скорости U на разных удалениях z от поверхности грунта до максимальной скорости на вертикали, были выполнены измерения в нескольких точках (от 5 до 12). Расчетом определялась динамическая скорость у дна потока U_* . Затем в системе координат U/U_* , $\lg z/d$ были нанесены опытные точки. Методом регрессионного анализа было получено следующее уравнение:

$$\frac{U}{U_*} = 5.75 \lg \frac{z}{d} + 7.7. \quad (2)$$

Уравнение отличается от аналогичного, полученного Никурадзе для распределения скоростей в шероховатой трубе, только величиной свободного члена, который равен 8,5. Возможно это объясняется существенным различием величины относительной гладкости поверхностей. У Никурадзе она изменялась от 15 до 507, а в наших опытах относительная гладкость была меньше 10, что соответствует высокой шероховатости земной поверхности по данным натуральных измерений. Кроме того, по данным исследований других авторов величина свободного члена в (2) изменяется от 5 до 11.

Определение транспортирующей способности воздушного потока производилось для трех фракций: 0,75; 0,37 и 0,16 мм. Соответствующее критериальное уравнение было представлено в виде степенного одночлена,

параметры которого находились методом выравнивания с последующей обработкой данных по методу наименьших квадратов. В результате было получено следующее уравнение (коэффициент корреляции $R=0.91$):

$$\varphi_0 = \frac{P}{\rho_1 U_{\Delta} d} = 0,013 \left\{ \left(\frac{U_*}{U_{0*}} \right)^3 \left(\frac{U_*}{U_{0*}} - 1 \right) \right\}^{0,79}, \quad (4)$$

где φ_0 - относительное погонное объемное содержание твердой фазы в воздушной среде; P - погонный массовый расход твердой фазы в воздухе, выраженный в г/с см; U_{Δ} - скорость на высоте выступов шероховатости, равная $7,7U_*$ (в см/с); размерности ρ_1 и d соответственно в г/см³ и в см.

Обычно в сводках метеостанций скорости даются на высоте 10м над поверхностью земли. Можно зависимость (4) записать в форме, более удобной для практического применения, произведя в ней следующую замену $U_*/U_{0*} = U_{10}/U_{010}$, где U_{10} и U_{010} - скорости на высоте 10м, соответствующие динамическим скоростям U_* и U_{0*} . Вместо $z=10$ м может быть выбрано любое иное расстояние от поверхности земли в пределах приземного слоя атмосферы.

Рассмотрим изменение концентрации взвешенных частиц в воздушном потоке с высотой в рамках диффузионной теории. Найдем среднее объемное содержание твердой фазы $\bar{\varphi}_{\Pi}$ в пределах от земной поверхности до высоты z_{Π} . Для этого воспользуемся известной зависимостью распределения взвеси по высоте, полученной Х.Раузом, которую проинтегрируем в пределах от Δ до z_{Π} , получим:

$$\frac{\bar{\varphi}_{\Pi}}{\varphi_0} = \left[1 - \left(\frac{z_{\Pi}}{\Delta} \right)^{1 - \frac{\omega_0}{\alpha U_*}} \right] : \left[\left(\frac{z_{\Pi}}{\Delta} - 1 \right) \left(\frac{\omega_0}{\alpha U_*} - 1 \right) \right], \quad (5)$$

где $\alpha = 0,4$ - постоянная Кармана, ω_0 - гидравлическая крупность частиц.

Найдем связь между массовым расходом твердой фазы P_n и средним объемным содержанием ее $\bar{\varphi}_n$ в пределах слоя z_n на ширине 1 см:

$$P_n = \bar{\varphi}_n (z_n - \Delta) \bar{U}_n \rho_1, \quad (6)$$

где \bar{U}_n - средняя скорость воздушного потока в пределах высоты z_n . Найдем ее величину проинтегрировав уравнение (2):

$$\frac{\bar{U}_n}{U_*} = 5,2 + \frac{7,7 z_n}{z_n - \Delta} \ln \frac{z_n}{\Delta} \quad (7)$$

Высота z_n определяется из упомянутой формулы Х.Рауза, задаваясь концентрацией взвеси φ_n на этом уровне над земной поверхностью. Тогда при известном отношении φ_n/φ_0 из упомянутой формулы Х.Рауза, найдем после потенцирования:

$$\frac{z_n}{\Delta} = \exp \left[- \left(\ln \frac{\varphi_n}{\varphi_0} \right) \frac{U_*}{\omega_0} \right] \quad (8)$$

Выше было отмечено, что транспортирующая способность потока должна определяться для каждой фракции грунта с учетом ее содержания в соответствии с кривой гранулометрического состава. Далее путем суммирования находится общая транспортирующая способность потока P_T .

Слой унесенного ветром грунта вследствие дефляции, как было отмечено в главе 2, может быть найден из уравнения деформации земной поверхности, вытекающего из закона сохранения вещества. Принимается, что скорость деформации и транспортирующая способность воздушного потока остаются постоянными при стационарном ветре в пределах длины x поверхности, подверженной дефляции. Тогда за время t , в течение которого наблюдался штормовой ветер, получим:

$$z_3 = \frac{P_T - P_0}{x \rho_3}, \quad x > x_0, \quad (9)$$

где z_3 - слой унесенного ветром грунта, x_0 - длина начального участка, в пределах которой образуется слой самоотмоксти, P_0 - содержание взвеси в

воздухе до вступления на участок, подверженный ветровой эрозии, ρ_3 -плотность грунта в рыхлом теле.

В литературных источниках указывается, что деформация грунта прекращается, когда образуется слой отмостки, толщина которого равна одному ряду крупных частиц. В соответствии со сказанным выше, отмостку образуют частицы d_n , не перемещаемые ветром. Для ее образования необходимо "просеять" слой грунта z_{30} , определяемый зависимостью: $z = d_n / F_n$ (на ширине 1см), где F_n -содержание частиц, размер которых больше d_n по кривой грансостава. Принимая в (9) $P_0=0$ и $z_3=z_{30}$, получим длину начального участка:

$$x_0 = \frac{P_T t}{\rho_3 z_{30}} = \frac{P_T F_n t}{d_n (1 - F_n) \rho_3},$$

где: P_T – суммарная транспортирующая способность всех фракций грунта, размер которых удовлетворяет условию: $d < d_n$. Если размерности P_T – в г/см·с, ρ_3 - в г/см³, t – в с, d_n – в см, то размерность x_0 -в см.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет поставить задачу расчета дефляции и решить ее с точностью, необходимой для использования в практических целях.

Четвертая глава посвящена апробации предложенной методики расчета дефляции. Произведены сопоставления экспериментальных данных, полученных в настоящей работе, с данными других авторов, полученными в результате натурных исследований и испытаниях в аэродинамических трубах. Показано, что материалы о дефляции почв, содержащиеся в рассмотренных работах, в целом не противоречат выполненным в настоящей работе исследованиям. Выполненные здесь в качестве примера расчеты дефляции темно-каштановых почв характерного для них гранулометрического состава полностью согласовываются с этими выводами.

Пятая глава содержит общие выводы и заключение.

Выполненный в работе обзор литературных источников свидетельствует о том, что многие вопросы, которые касаются проблемы дефляции, еще далеки от разрешения.

В частности, данные о скорости начала трогания частиц грунтов, определенные в натуральных условиях, часто не содержат информации о высоте, на которой измерялась скорость. Что касается измерений в аэродинамической трубе, то обычно речь идет либо о средней скорости по сечению трубы, либо о скорости, измеряемой на какой-то произвольной высоте от поверхности грунта. Нет единого мнения о транспортирующей способности воздушного потока. Соответствующие зависимости, чаще всего, не соответствуют принципу размерностей. Не доказано, что при измерениях в аэродинамической трубе распределение скорости вблизи поверхности грунта подчиняется логарифмическому закону. В абсолютном большинстве работ вопрос о распределении взвешенных частиц на различном удалении от земной поверхности вообще не рассматривался. Не увязаны транспортирующая способность потока с возможностями деформации земной поверхности вследствие дефляции. Ни в одной из рассмотренных работ не рассматривался вопрос образования самоотмокки на поверхности почвы при ветровой эрозии из-за уноса мелких фракций и накопления крупных.

Предлагаемое в данной работе решение базируется на тех достижениях, которые были получены при решении аналогичных задач переноса грунтов водным потоком. Прежде всего, анализируются условия начала трогания частиц несвязных грунтов с позиций методов теории подобия и размерностей. Составлены критериальные уравнения, в которых динамическая скорость, отвечающая началу трогания, рассматривается как функция критерия Архимеда. Транспортирующая способность потока определяется как функция отношения динамической скорости, наблюдаемой

в условиях штормовой погоды, к динамической скорости, отвечающей началу трогания частиц грунта.

Целью исследований была разработка методики расчета ветровой эрозии почв, которая предполагала для решения всех сформулированных выше вопросов проведение исследований на лабораторных условиях. Для этого была создана лабораторная установка и разработана специальная методика проведения опытов.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Определены условия, позволяющие определять касательные напряжения на границе воздушного потока и земной поверхности, соответствующие началу трогания частиц. Доказано, что число Рейнольдса, в котором в качестве характерной входит динамическая скорость, отвечающая началу трогания частиц, является функцией критерия Архимеда. При этом обнаружено, что полученные критериальные уравнения с точностью до постоянных совпадают с соответствующими уравнениями для системы вода+твердые частицы.
2. По результатам выполненных измерений установлено, что распределение скорости по вертикали в слое, примыкающем к поверхности грунта в аэродинамической установке, соответствует логарифмическому закону, которому подчиняется движение воздуха в приземном слое атмосферы. Тем самым доказано подобие потоков в аэродинамической установке и в природе. Кроме того, стало возможным по динамической скорости, отвечающей началу трогания частиц определенной крупности, находить соответствующую скорость на любом расстоянии от земной поверхности, например, на высоте установки флюгера. Можно решить и обратную задачу: по известной скорости ветра на высоте установки флюгера в штормовую погоду найти соответствующую динамическую скорость, а по ней - размер частиц, которые уносятся ветром не будут. Остальные частицы будут транспортироваться воздушным потоком.

3. В результате обработки данных измерений в лабораторных условиях на аэродинамической модели обнаружено, что транспортирующая способность воздушного потока зависит от отношения динамической скорости, соответствующей штормовым условиям, к динамической скорости, отвечающей началу трогания частиц данной крупности. Доказано, что в критериальной форме это уравнение отличается от аналогичного для системы вода+твердые частицы только постоянными. В воздушном потоке отношение двух указанных выше динамических скоростей может быть заменено, используя логарифмический профиль распределения скорости, отношением скорости на высоте установке флюгера к скорости на той же высоте, соответствующей началу трогания частиц заданной крупности.
4. Предложена методика, дающая возможность в рамках диффузионной теории определять содержание достаточно мелких твердых частиц (пыль, ил) в воздушном потоке на различном расстоянии от земной поверхности.
5. Разработана методика, позволяющая найти количество мелких частиц, переносимых воздушным потоком, в зависимости от их содержания в соответствии с кривой грансостава, в верхнем слое почвогрунтов.
6. Получена зависимость для определения толщины слоя уносимого с поверхности земли грунта как функция транспортирующей способности воздушного потока, продолжительности штормовой погоды и протяженности поля, подверженного ветровой эрозии.
7. Впервые предложена методика расчета слоя самоотмостки, образующейся на земной поверхности при дефляции из-за уноса ветром мелких частиц и накоплением более крупных, которые не транспортируются воздушным потоком.

Расчеты дефляции, выполненные по предложенной методике для конкретных грунтов, подверженных ветровой эрозии, показали, что их результаты находятся в удовлетворительном соответствии с данными натуральных наблюдений и результатами исследований других авторов.

В заключении следует отметить, что предложенная лабораторная установка, разработанная методика проведения опытов и обобщение их результатов могут быть использованы при решении других вопросов, связанных с проблемой дефляции. В частности, можно исследовать влияние влажности почвы на величину скорости начала трогания и транспортирующую способность воздушного потока. Представляется целесообразным продолжить исследования процесса образования самоотмокки и определения числа слоев частиц, ее образующих, для грунтов различного гранулометрического состава, с большим диапазоном изменения коэффициента неоднородности. Необходимо также определить скорость начала трогания частиц в таких грунтах. Нужно также исследовать влияние на дефляционные процессы наличия всходов сельскохозяйственных культур, которые могут быть на земной поверхности в весеннее время.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Скорость начала трогания частиц грунта при ветровой эрозии почв // Проблемы гидравлики гидротехнических сооружений и потоков в открытых руслах: материалы научно-технической конференции. С.-Пб. 2000г. С. 90-91.
2. Определение скорости начала трогания частиц песчаного грунта при ветровой эрозии почв//XXIX неделя науки СПбГТУ: материалы межвузовской научной конференции. Часть 1. С.-Пб.: Изд-во СПбГТУ 2001г. С.41-42.
3. Изучение скорости начала трогания частиц грунта при ветровой эрозии почв//Пятая Санкт-Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов: тезисы докладов. С.10. С.-Пб. 2000г.
4. Условия начала трогания частиц несвязного грунта в воде и в воздухе в зависимости от свойств среды//IV Международная конференция “Акватерра”: тезисы докладов. С.-Пб. 2001. С.49-50.
5. Изучение дефляции в лабораторных условиях//XXX неделя науки СПбГТУ: материалы межвузовской научной конференции. С.-Пб.: Изд-во СПбГТУ 2002г. С.28-29.

