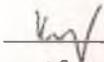


Министерство образования Российской Федерации  
Томский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Декан БПФ

 С.Н. Кирпотин  
« 28 » февраля 2001

**МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВ**

Методические указания

Томск – 2001

РАССМОТРЕНО И УТВЕРЖДЕНО методической комиссией биолого-почвенного факультета

«28» февраля 2001 года

Председатель комиссии В.В. Лукьянцев В.В. Лукьянцев

В методических указаниях к лекционному курсу по «Эрозии и охране почв» содержится описание способов изменения важнейших характеристик воздушных потоков, определяющих эрозию почв, и методов их изучения. Изложено также описание методов к оценке взаимодействия воздушных потоков с почвой.

Методические указания предназначены для студентов специальности «Почвоведение» университетов сельскохозяйственных, лесохозяйственных и гидротехнических, работающих в области охраны почв.

Методы изучения деградации почв.  
(методы чл. 1.1.1)

Составители: к.б.н. Каллас Е.В.

д.б.н. Танзыбаев М.

№1

каф. почвоведения и экологии почв №1

## Введение

Объектом науки о дефляции почв является совокупность явлений и процессов в биосфере, связанных с механическим движением почвенной массы под действием воздушных потоков. Одним из основных методов исследования дефляции почв является аэромеханический, который заключается в изучении противодефляционной стойкости почв, потоков воздуха, эродирующих почвы, и процессов отрыва и переноса почвенных частиц.

При изучении механизма дефляции почв центральное место занимает анализ соотношения эродирующей способности воздушного потока и способности почвы противостоять разрушению этим потоком. Для этой цели М.С. Кузнецовым, Г.П. Глазуновым и В.Я. Григорьевым (1986) предложен метод оценки противодефляционной стойкости почв.

Для количественной оценки ветровой эрозии почв в полевых условиях применяются различные способы и специальные приборы, при помощи которых определяют величину выноса почвы, количество переносимых ветром почвенных частиц, измеряют мощность наносов мелкозема.

Вопросы изучения дефляционных процессов, масштабы которых постоянно увеличиваются, освещены в имеющихся учебных пособиях, недостаточно. Это явилось основанием для составления настоящих методических указаний, в которых рассматривается оценка устойчивости почв к разрушающему действию воздушных потоков, различные методы учета дефляции почв, а также особенности полевых опытов по изучению эрозионных и дефляционных процессов.

## 1. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ К РАЗРУШАЮЩЕМУ ДЕЙСТВИЮ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ.

Под противодефляционной стойкостью почвы понимают её способность противостоять разрушению и перемещению ветром, т.е. противостоять сдувающему действию воздушного потока. В качестве меры противодефляционной стойкости используют множество разных показателей. Физически наиболее обоснованным показателем является так называемая «критическая» скорость воздушного потока, при превышении которой начинается дефляция почвы. Существует целый ряд критических скоростей, которые тесно связаны между собой. Наибольшее теоретическое значение имеют «скорость начала массового движения частиц почвы» и «несдвигающая» скорость. Если скорость воздушного потока меньше несдвигающей, то интенсивность сдувания равна нулю. Величина скорости начала массового движения частиц определяется размером, плотностью и сцеплением агрегатов и комков. Остальные свойства почв влияют на противодефляционную стойкость опосредованно через эти показатели.

Согласно многочисленным опытам с разными сыпучими материалами материалами, наименьшей сдвигающей скоростью характеризуются частички размером порядка 0,1 мм. В поверхностном слое пахотных почв, который и является объектом воздействия воздушного потока в процессе дефляции, всегда присутствуют несвязные частички почвы такого размера. Именно эти частички и будут определять величину несдвигающей скорости, характерную для данной почвы. А критическая скорость (несдвигающая) для таких частиц в воздушно-сухом состоянии будет близка к 1 м/с (на высоте выступов шероховатости). Следовательно, при таком подходе все пахотные почвы будут характеризоваться одинаковой несдвигающей критической скоростью ветра. Между тем, почвы сильно различаются между собой по противодефляционной устойчивости. Более того, противо

дефляционная устойчивость одной и той же почвы сильно изменяется в течение года. Поэтому пользоваться величиной несдвигающей скорости ветра для оценки противодефляционной стойкости почв практически невозможно.

В наибольшей степени требованиям к критической скорости как таковой, т.е. характеризующей переход количественных изменений в качественные, отвечает скорость начала массового движения частиц. Для её нахождения анализируют зависимость интенсивности потерь почвы с единицы площади в единицу времени ( $q$ , г/м<sup>2</sup>·мин) от скорости воздушного потока ( $V$ ). Кривая зависимости  $q$  от  $V$  имеет вид параболы (рис. 1). Левая часть кривой пологая, а правая – крутая.

Характер кривой позволяет сделать предположение, что качественное изменение динамики процесса происходит при скорости, соответствующей переходу от пологого участка кривой к крутому.

Для нахождения критической скорости используют разные методы анализа зависимости интенсивности потерь почвы от скорости потока.

Интенсивность потерь почвы под действием потока с постоянной средней скоростью изменяется во времени, что может оказать влияние на результат определения скорости начала массового движения частиц. В начале процесса происходит резкое уменьшение интенсивности потерь, обусловленное тем, что воздушный поток уносит несвязные частицы. Затем наступает непродолжительная стабилизация процесса выноса, после которой наблюдается увеличение интенсивности потерь почвы с течением времени. Это увеличение связано с пульсационным характером воздействия потока на почву, в результате которого происходит постепенное ослабление межагрегатных связей в поверхностном слое. После выноса потоком агрегатов, потеряв

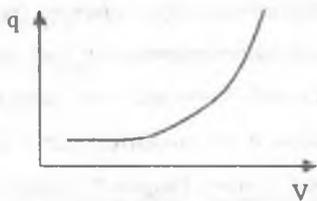


рис. 1. Зависимость интенсивности потерь почвы ( $q$ ) от скорости воздушного потока ( $V$ ).

них связь с почвой, снова наступает стабилизация процесса, которую сменяет новый цикл увеличения интенсивности потерь и так далее. Измерение и расчет противодефляционной стойкости почв проводят с помощью аэродинамической установки, о чем будет сказано ниже.

Для оценки способности почвы противостоять сдуванию ветром используют показатель дефлируемости. Дефлируемость (или эродируемость ветром) широко используется в экспериментальных исследованиях по ветровой эрозии в связи с относительной простотой её определения. Количественно она выражается величиной потерь почвы под действием воздушного потока с единицы площади за произвольно выбранное время опыта. Дефлируемость характеризует скорее податливость почв ветровой эрозии, чем их сопротивляемость. Дефлируемость не является однозначной характеристикой, поскольку она зависит не только от свойств почвы, но и от скорости и продолжительности ветра, а также от площади исследуемого образца почвы. Ветровой эрозии обычно подвергаются несвязные почвы, обладающие свойством сыпучести. Связные почвы, не обладающие сыпучестью, весьма редко подвергаются ветровой эрозии, так как характеризуются высокой противодефляционной стойкостью. Для качественной оценки противодефляционной стойкости почв по результатам определения критической скорости ветра предложена шкала (табл. 1). Противодефляционная стойкость считается достаточной, если скорость начала массового движения частиц почвы на высоте флюгера метеостанции  $V_{mf}$  превышает характерную для данной территории скорость ветра  $V_f$  требуемой обеспеченности (при расчете противодефляционных мероприятий, например, систем полезащитных лесных полос, основываются на максимальных во время пыльных бурь скоростях ветра 20%-ной обеспеченности). В противном случае противодефляционная стойкость почвы считается недостаточной, что указывает на необходимость противодефляционных мероприятий.

Шкала противодефляционной стойкости почв  
(Глазунов, Лим, 1989)

Условие	Противодефляционная стойкость
$V_{тф} \leq 9$ м/с	Пониженная
$9 < V_{тф} \leq 14$ м/с	Умеренная
$14 < V_{тф} \leq 24$ м/с	Высокая
$24 < V_{тф}$	Повышенная
$V_{ф} < V_{тф}$	Достаточная
$V_{тф} \leq V_{ф}$	Недостаточная

Противодефляционная стойкость почв, не обладающих межагрегатным сцеплением, изменяется в широком диапазоне скоростей. Очень низкую противодефляционную стойкость отмечал И.Б. Годунов (1961) на паровом поле тяжелосуглинистого чернозема в распыленном состоянии: начало дефляции наблюдалось при скорости ветра 2,5-3,5 м/с (на высоте 100 см от поверхности почвы). По данным А.Е. Дьяченко и Л.Т. Зсмяницкого (1944), старопахотные карбонатные черноземы Башкирии начинали разрушаться ветром при скорости 5,5 – 7,0 м/с (на высоте 15 см). Передвижение частиц предкавказского чернозема (Жопкин, Грицик, 1973) начиналось при скоростях 4,5 – 7,5 м/с (на высоте 20 см). По наблюдениям Е.И. Рябова (1973) на Ставропольской возвышенности перекачивание отдельных частиц черноземной почвы начиналось при средней скорости ветра 9 м/с (на высоте 100 см).

Вновь распашанные почвы при прочих равных условиях теряют устойчивость к ветру при более высоких скоростях ветра, чем старопахот-

ные. Пониженной противодефляционной стойкостью характеризуются пересушенные органоминеральные почвы.

Большинство известных из литературы величин пороговых скоростей начала дефляции почв получено с использованием различных, мало сопоставимых методик. Трудность сопоставления материалов разных авторов по критическим скоростям ветра обусловлена следующими причинами: разной высотой и методикой измерения критической скорости, отсутствием данных о шероховатости поверхности почвы и о физических характеристиках почвы в момент измерения.

## 2. УЧЕТ ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВ.

### 2.1. Методы количественного учета интенсивности дефляции почв.

С.С. Соболевым было предложено два метода количественного учета интенсивности дефляции. Один метод основан на измерении микрорельефа пашни, второй (применяемый на щебнистых почвах) – на учете количества щебенки на поверхности поля и в толще пахотного горизонта.

По первому методу о количестве выдутой почвы судят по глубинам заделки семян и образовавшихся впадин между рядками растений. Глубина заделки семян известна, и по разности глубин можно судить о величине потерянного слоя почвы. Почва на посевах выдувается в первую очередь из междурядий, а в рядках, где она защищена растениями, задерживается, поэтому уровень почвы в междурядье постепенно по мере разрушения ветром понижается. Борозды, оставленные сошниками сеялок, напротив, сначала сглаживаются, а затем выделяются в виде невысокого гребня.

Кроме того, на поверхности поля часто остаются земляные глыбы – останцы, высота которых также указывает на величину выдутого слоя почвы. Останцы дефляции сохраняются в тех местах, где рыхлая почва почему-либо уплотнена, например, если она сверху прикрыта камнем. Уплотненный участок лучше противостоит ветровой эрозии и сохраняется в виде останца. По высоте останца и площади, подверженной ветровой эрозии, можно судить о количестве вынесенного ветром материала.

Второй метод С.С. Соболева основан на определении среднего веса щебенки, находящейся на  $1 \text{ дм}^2$  поверхности, подвергшейся выдуванию, и сопоставлении его с весом щебенки, находящейся в  $1 \text{ дм}^2$  пахотного горизонта. По этим данным можно вычислить, какой слой почвы был выдут для образования на поверхности того или иного количества щебенки. Зная

время, прошедшее с момента вспашки до момента измерений, можно вычислить скорость дефляции.

Согласно этому методу, М.И. Долгилевич предлагает с учетных площадок размером  $0,5 \times 0,5 \text{ м}^2$  собрать двухсантиметровый слой почвы и, с помощью сита с размером ячеек 2 мм, отделить мелкозем от камней и взвесить его. Затем необходимо определить концепцию камней в пахотном слое почвы с помощью того же сита. Зная концентрацию камней в почве и количество камней, накопившихся на учетной площадке, можно, составив пропорцию, рассчитать количество мелкозема, вмещавшего это количество камней до начала дефляции. М.И. Долгилевич рекомендует применять эту методику в стационарных условиях путем закладки искусственных учетных площадок. На опытном поле на площадке размером  $1,5 \times 1,5 \text{ м}$  вынимают слой почвы на глубину 30–40 см. Вынутую почву перемешивают с отсортированным щебнем или галькой из расчета 3–4% веса почвы. Затем почву укладывают в ту же выемку. Такие учетные площадки не являются помехой для сельскохозяйственных работ и дают возможность вести систематические наблюдения за процессами ветровой эрозии.

Количественные методы (например, геодезические методы с использованием нивелира и рейки) применяют также при определении объема эоловых наносов, которые могут иметь размер от нескольких сантиметров (эоловая рябь на пашне) до единиц метров (отложения в лесополосах) и даже десятков метров (барханы, дюны, песчаные гряды). Определив плотность наноса и размер пылесборной площади можно рассчитать слой сдутой почвы. Точность такого рода расчетов обычно невелика, что объясняется трудностью определения пылесборной площади, соответствующей изучаемому отложению, а также тем обстоятельством, что не вся почва, сдутая с поверхности поля, откладывается у ближайшего препятствия ветру. Часть почвы, представленная мелкими несвязными частичками, количество которых в процессе ветровой эрозии возрастает вследствие абразии,

уносится на большие расстояния и может выпасть на поверхность в десятках и даже сотнях километров от места, где она поднялась в воздух.

Другим методом учета дефляции почв является метод учета по металлическим стержням, который позволяет определить интенсивность выдувания, а также количество выдутой или накопившейся почвы. Стержни устанавливают по профилям, проходящим перпендикулярно к преобладающим ветрам, вызывающим дефляцию почв. На металлические стержни наносят деления от нулевой отметки вверх и вниз через каждые 5 мм. Стержни забивают в почву до нулевой отметки. По изменению уровня поверхности судят о величине наноса или выноса почвы ветром. Точность этих измерений невелика. Этот метод применяется при длительных стационарных исследованиях.

## 2.2. Измерение потока почвенной массы с помощью пыле- и пескоуловителей.

При измерении потока почвенной фазы возникает ряд трудностей, главная из которых – большая толщина потока, несущего почвенные частички: сплошной пылевой фронт во время пыльных бурь может иметь толщину несколько сотен метров. Однако, согласно результатам обобщения данных множества исследований, основная масса почвы переносится в слое 0-1 м, что открывает возможности для измерения переноса почвы ветром с помощью простых и доступных методов. Наиболее широко при дефляционных исследованиях используют пыле- и пескоуловители, представляющие собой коробку в форме параллелепипеда, одна из граней которого служит приемным отверстием. Её устанавливают на поверхности почвы так, чтобы приемная грань была перпендикулярна потоку. Для уменьшения сопротивления воздушному потоку коробку делают плоской. Так, приемная щель пескоуловителя Бэгнольда имеет высоту 110 см, а ширину 1 см. Пылеуловитель крепится на вращающейся оси и снабжается

флюгером, что обеспечивает оптимальное положение приемного отверстия относительно потока – плоскость приемного отверстия располагается перпендикулярно направлению ветра. Частицы почвы, попавшие в створ пылеуловителя, оседают в приемный сосуд, который расположен под приемной коробкой ниже уровня поверхности почвы. Часто входную щель пылеуловителя снабжают перегородками, что позволяет раздельно учитывать перенос почвы в разных слоях. Пылеуловители описываемого типа имеют недостаток – они не пропускают воздушный поток сквозь себя. Это приводит к тому, что значительная доля частиц (особенно мелких) минует пылеуловитель. Поэтому пылеуловители такого типа тарируют.

Существует другая разновидность пылеуловителей, которые отличаются от выше описанных наличием в тыльной части накопительной емкости выходного отверстия. Запыленный поток, попадая в накопительную емкость через приемное отверстие, освобождается от пыли и выходит очищенным через отверстие в её тыльной части. Примером простого устройства такого рода может служить стеклянная колба с резиновой пробкой, в которую вставлены две Г-образные стеклянные трубки. Колба крепится к штанге на фиксированной высоте от поверхности почвы таким образом, чтобы конец одной из стеклянных трубок был открыт навстречу потоку. Почвенные частицы, попавшие в створ отверстия этой трубки, скапливаются в колбу.

Для большей эффективности пылеуловителя необходимо, чтобы он отвечал следующим требованиям: во-первых, скорость потока во входной его части должна быть равна скорости потока в его отсутствие в данной точке; во-вторых, поток, попавший в уловитель, должен полностью очищаться от почвенной фазы. Таким требованиям удовлетворяют приборы с принудительным забором воздуха наподобие бытовых пылесосов. Приборы с принудительным забором воздуха снабжаются датчиками для измерения скорости потока в носике заборного отверстия и в свободном потоке

на такой же высоте от поверхности, на которую установлено измерительное устройство. Датчики позволяют добиваться равенства скоростей в заборном отверстии и в свободном потоке.

### 2.3. Метод ловушек

Метод ловушек применяется для учета количества частиц почвы, перекатывающихся по поверхности почвы. Ловушки представляют собой ящики определенного размера. Ящики-ловушки заглубляют в почву таким образом, чтобы верхние края их находились на одном уровне с поверхностью почвы. Почвенные частицы, передвигающиеся по поверхности, попадают в ловушки и оседают в них. После прекращения пыльной бури задержанную пыль взвешивают и количество выдутой почвы пересчитывают на гектар.

### 3. МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ.

С целью измерения воздушного потока, определения интенсивности сдувания почвы при заданных значениях скорости потока, скорости начала массового движения частиц почвы под действием ветра для почвенного образца используется аэродинамическая установка. Аэродинамическая установка замкнутого типа с закрытой рабочей частью, снабженная центробежным вентилятором, заглушкой для регулирования скорости воздушного потока и циклоном-пылеуловителем, позволяет точно определить количество почвы, сдуваемой с почвенного образца в единицу времени при заданной скорости воздушного потока.

#### 3.1. Устройство и принцип работы аэродинамической установки.

Аэродинамическая установка (рис. 2) состоит из рабочей части (1), воздухопроводов (6), вентилятора (9), циклона-пылеуловителя (7) и выключателя (12) мотора вентилятора. Направление движения воздушного потока в установке показано стрелками. Воздушный поток взаимодействует с образцом почвы, расположенным в рабочей камере (2). При этом, если скорость его достаточна, происходит отрыв отдельных частиц почвы. Оторванные от поверхности частички подхватываются потоком и уносятся по воздухопроводу в циклон (7). В циклоне воздух движется по спирали с большой скоростью. При этом частички почвы, влекаемые потоком, испытывают действие центробежной силы. Под действием этой силы они отжимаются к стенкам циклона. Одновременно на них действует сила тяжести, направленная вертикально вниз. В результате частички почвы движутся в циклоне по спирали вблизи его стенок и накладываются в поддоне (8). Поток, лишенный частиц почвы, по воздухопроводам попадает в вентилятор, а

оттуда через систему воздуховодов и входную камеру (5) – снова в рабочую камеру.

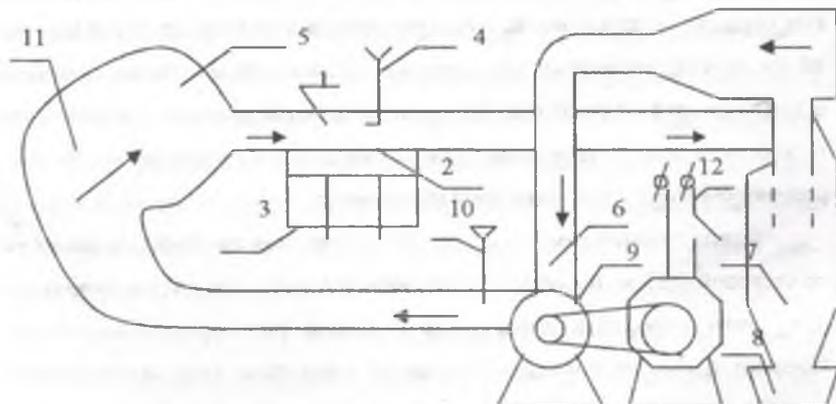


Рис. 2. Схема аэродинамической установки: 1– рабочая камера; 2– ванночка с образцом почвы в рабочей камере; 3– устройство для подачи образца почвы в рабочую камеру; 4– трубка Пито-Прандтля; 5– входная камера рабочей части; 6– воздуховоды установки; 7– циклон-пылеуловитель; 8– съемный поддон циклона; 9– центробежный вентилятор; 10– задвижка; 11– поворотные лопатки; 12– выключатель мотора вентилятора.

Таким образом, воздушный поток циркулирует в установке. Единственной движущей силой в установке является центробежный вентилятор (9), приводимый в движение электромотором мощностью 10 кВт. Скорость воздушного потока в установке прямо пропорциональна разности давлений за задвижкой (10), установленной на выхлопной трубе вентилятора, и перед входом в вентилятор:  $\Delta P = P_2 - P_1$ . И мотор, и вентилятор работают с постоянными угловыми скоростями, поэтому скорость воздушного потока регулируют с помощью задвижки (10), снабженной штурвалом. Макси-

мальная скорость воздушного потока на оси рабочей камеры установки равна 24 м/с.

Входная камера установки имеет сложную форму, позволяющую таким образом изменить поток, что в рабочей камере скорость в каждом сечении, перпендикулярном оси установки, практически постоянна. И только в пристеночной области она уменьшается с приближением к стенке или поверхности почвы. При этом степень уменьшения пропорциональна шероховатости стенки или почвенной поверхности.

Длина рабочей камеры 2,25 м. В сечении она имеет форму квадрата со стороной 0,25 м. Боковые стенки рабочей камеры прозрачны, что позволяет вести визуальные наблюдения и фиксировать процесс на пленку. Почвенный образец помещается в камеру с помощью подъемного устройства (3) вручную, снизу вверх, в прорезь в дне рабочей камеры. При этом его поверхность устанавливается на уровне с дном рабочей камеры. Соединение ванночки, содержащей почву, с краями прорези в дне рабочей камеры герметично, что исключает возможность искажения результатов опыта вследствие попадания пыли через щели.

Образцы исследуемой почвы нарушенного сложения помещают в ванночки размером 0,625 x 0,175, глубиной 0,025 м. Подъемное устройство позволяет вести работу и с монолитными образцами в том случае, если образцы в поле взяты в специальные металлические кассеты. Аэродинамическая установка дает возможность изучать влияние физических свойств почвы на её противодефляционную стойкость.

Скорость потока измеряют с помощью микроманометра типа ММН и зонда, представляющего собой комбинированную трубку Пито-Прандтля (4). Зонд можно перемещать в плоскости перпендикулярной потоку в двух направлениях, что позволяет измерять поле скоростей вблизи почвенной поверхности. Точность измерения положения зонда на горизонтальной оси – 0,5 мм, на вертикальной – 0,1 мм. Зонд и микроманометр позволяют из-

мерить разность между так называемым статическим давлением в точке и полным напором потока. По этой разности можно рассчитать среднюю скорость воздушного потока в точке размещения носика зонда. Для этого надо знать плотность жидкости в микроманометре при данной температуре, плотность воздуха при данных температуре, атмосферном давлении и влажности воздуха и эмпирические коэффициенты зонда и макронометра, которые устанавливаются в ходе тарирования, если их нет в техническом паспорте изделия. Плотность жидкости измеряют ареометрами, влажность воздуха определяют с помощью психрометра Ассмана, атмосферное давление – ртутным барометром.

Скорость потока регулируется задвижкой (10). Устройство задвижки позволяет регулировать скорость путем вращения штурвала. При этом на каждый оборот штурвала происходит перемещение задвижки примерно на 1,5 мм. Увеличение скорости с увеличением зазора между задвижкой и стенкой описывается криволинейной зависимостью, поэтому перед началом работы задвижку тарируют и строят кривую зависимости скорости от числа оборотов штурвала задвижки. Устройство задвижки позволяет также одним движением штурвала в вертикальной плоскости установить максимальную скорость на оси трубы.

Почва, сдутая с поверхности образца, осаждается в поддоне циклона (8). Для её извлечения необходимо отвернуть гайки, прижимающие поддон к торцевому фланцу циклона, и аккуратно ссыпать на лист кальки, разложенной на столе. С кальки почву ссыпают в алюминиевый бокс, в котором переносят в лабораторию, и взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г.

### 3.2. Подготовка почвы к опыту.

От подготовки почвы к эксперименту во многом зависит результат опыта. Образец исследуемой почвы, взятый из пахотного слоя, высыпают из ящика на чистый брезент. Затем его тщательно перемешивают и берут образец для анализа методов квартования массой примерно 4 кг. Из этого образца отбирают пробу массой около 1 кг для определения агрегатного состава и плотности агрегатов, а остальные примерно 3 кг почвы используют для проведения опыта. Почву ссыпают в ванночку, распределяя равномерно. Комки крупнее 2,5 см отбрасывают, а оставшуюся почву разравнивают широкой металлической линейкой или ножом с длинным широким лезвием методом «срезания» излишка почвы так, чтобы она была вровень с бортами ванночки. Затем очищают торцы ванночки от остатков почвы, переносят ванночку с почвой на технические весы и взвешивают с точностью до 0,5 г. Одновременно в металлический бюкс берут пробу на влажность из почвы, не поместившейся в ванночку, определяют её влажность весовым методом. Рассчитывают плотность сложения почвы в пересчете на абсолютно сухую почву.

При подготовке образцов почвы необходимо воздерживаться от её уплотнения постукиванием, так как в результате этого происходит переупаковка агрегатов и накопление на поверхности образца крупных агрегатов. Подготовленную таким способом ванночку с почвой помещают в рабочую камеру аэродинамической установки, экспонируют в ней при требуемой скорости воздушного потока (методика описана ниже), затем вынимают из рабочей камеры и высыпают почву из ванночки на брезент, на котором находятся остатки почвы, не поместившиеся в ванночку, после чего повторяют операции по подготовке образца к экспонированию в аэродинамической установке. Эти операции повторяют каждый раз после экспонирования ванночки с почвой в воздушном потоке при возрастающих скоростях.

Агрегатный состав почвы из образца массой примерно 1 кг определяют путем просеивания на колонке сит в несколько приемов, после чего рассчитывают процентное содержание агрегатов разных фракций.

По результатам анализа агрегатного состава и плотности агрегатов рассчитывают критическую скорость ветра и только после этого приступают к определению скорости начала массового движения частиц экспериментальным путем с помощью аэродинамической установки.

### 3.3. Определение зависимости сдувания почвы от скорости воздушного потока.

Определение зависимости интенсивности сдувания почвы  $q$  от скорости воздушного потока  $V$  позволяет определить скорость начала массового движения почвенных частиц. Ванночку с образцом почвы помещают с помощью винтового подъемного механизма в рабочую камеру. После этого производят замеры физических свойств атмосферы в аэродинамической установке, необходимые для расчета скорости. По этим данным и константам приборов находят постоянную для данных условий величину «с» в формуле для расчета скорости  $V$  по длине спиртового столба в трубке микроманометра ( $\Delta h$ ):  $V = c \cdot \sqrt{\Delta h}$ .

Для того, чтобы правильно спланировать опыт, необходимо оценить ожидаемую величину скорости начала массового движения частиц и запланировать опыт так, чтобы при скоростях меньших определенной величины  $V_m$ , но больших, чем  $0,5 V_m$  получить не меньше 5-7 опытных точек, а при скоростях больших, чем  $V_m$  — не менее 3-5. Следует запланировать получение девяти экспериментальных точек (для чего проводят девять опытов). Ожидаемую величину скорости начала массового движения частиц почвы ( $V_{m1}$ ), отнесенную к высоте 1 см от поверхности, получают расчетным методом по результатам анализа агрегатного состава и плотности агрегатов. Для пересчета на ось трубы её необходимо увеличить в 1,1

раза. При  $V_m = 10$  м/с опыт необходимо начинать со скорости  $V_m = 0,5 \cdot 10 = 5$  м/с, а остальные точки получать при скоростях в диапазоне от 5 до 10 м/с. Каждый последующий опыт удобно проводить при скорости на 0,5 м/с больше предыдущей. Во время опыта наблюдают за образцом почвы через прозрачные стенки рабочей камеры. При малых скоростях, близких к  $0,5 V_m$ , перемещений почвенных частиц обычно не наблюдается. Видно лишь, как колеблются отдельные корешки или другие части растений, выступающие над почвой. Через 0,5 минуты после начала опыта берут первый отсчет показаний микроманометра. Для того, чтобы увеличить точность отсчета, микроманометр отключают от трубки Пито-Прандтля. Операции по снятию показаний микроманометра в ходе опыта производят шесть раз с интервалом в одну минуту.

Через 6 минут после начала опыта нажатием красной кнопки на пульте управления установкой отключают мотор вентилятора от сети и после его полной остановки отвинчивают зажимы поддона циклона-пылеуловителя. Содержимое поддона высыпают на кальку, а с неё в алюминиевый бокс. Образец почвы из ванночки, вынутой из рабочей камеры, высыпают на брезент, перемешивают и снова ссыпают в ванночку, повторяя эксперименты при наращивании скорости от опыта к опыту. При скоростях, превышающих  $V_m$ , интенсивность потерь почвы в условиях аэродинамической установки пропорциональна скорости, возведенной в степень 6-8. Поэтому, даже небольшое приращение скорости может сопровождаться очень большими потерями почвы с образца. Опыт следует прекращать при той скорости, при которой количество почвы, сдутой с образца за 6 минут, достигает величины порядка 20-50 г.

После завершения работы с аэродинамической установкой алюминиевые боксы с материалом, извлеченным из поддона в ходе опытов, взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г. По полученным материалам рассчитывают массу почвы, снесенной воздушным пото-

ком с образца при данной скорости за 6 минут. Затем рассчитывают интенсивность потерь почвы при данной скорости:

$$q = P : (S \cdot T),$$

где  $P$  – масса почвы, г;

$S$  – площадь образца, равная  $0,10625 \text{ м}^2$ ;

$T$  – длительность экспозиции в минутах ( $T = 6$  минут).

Параллельно рассчитывают скорости  $V$ , при которых производились опыты. В результате получают ряд значений  $V$  и соответствующих им величин  $q$ , по которым строят графики  $q = f(V)$ . Затем анализируют зависимость интенсивности сдувания почвы от скорости воздушного потока. За  $V_0$  принимают наименьшую из исследованных в опытах скоростей потока, при которой интенсивность сдувания почвы отличалась от нуля, а соответствующую ей интенсивность потерь почвы – за  $q_0$ . По результатам девяти опытов рассчитывают значения  $V - V_0$ ,  $q - q_0$  и их десятичные логарифмы. По полученным данным строят график зависимости  $\lg(q - q_0) = f[\lg(V - V_0)]$ , который представляет собой две пересекающиеся прямые (рис. 3). По этому графику находят абсциссы и ординаты точки пересечения этих прямых, по которым определяют скорость начала массового движения частиц почвы ( $V_m$ ) и соответствующую ей интенсивность сдувания почвы ( $q_m$ ).

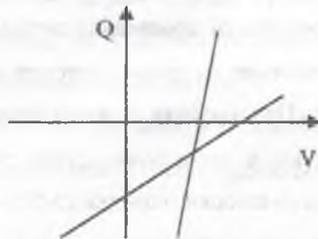


рис. 3. Зависимость интенсивности сдувания почвы от скорости воздушного потока.

Моделирование в аэродинамической трубе ведется в масштабе 1:1, поэтому коэффициент пересчета получаемой в результате моделирования скорости начала на натурные условия равен 1.

#### 4. ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕВОГО ОПЫТА ПО ИЗУЧЕНИЮ ЭРОЗИИ И ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВ.

При проведении полевых опытов для изучения закономерностей в развитии дефляционных и эрозионных процессов в разных зонах и для выявления наиболее эффективных в местных условиях отдельных приемов и систем противоэрозионных мероприятий полностью сохраняются требования, предъявляемые к этим опытам в сельскохозяйственном опытном деле, а также добавляется ряд особенностей, вследствие своеобразия дефляционных и эрозионных процессов.

Перед закладкой стационарных многолетних опытов проводится разведочный (рекогносцировочный) учет поверхностного стока и смыва или выдувания почвы. Такой разведочный учет ведется круглогодично, включая периоды снеготаяния и ливней, периоды ранне-весенних, летних, осенних и зимних черных бурь. Он производится на сплошном посеве одной культуры или на чистом пару. Цель разведочного учета заключается в установлении однородности проявления ветровой и водной эрозии на площади опыта до применения изучаемых приемов или их сочетаний.

При закладке полевых опытов по борьбе с ветровой эрозией на ровных участках в два и более ярусов, защитные полосы делянок должны быть достаточно широки (порядка 25-50 м), чтобы защищать варианты от воздействия ветровой эрозии (переноса мелкозема) на соседней делянке. Иногда такая защита делянок обеспечивается созданием буферных полос из многолетних трав.

Особого внимания требует закладка полевых опытов по изучению почв различной степени эродированности на склонах в два и более яруса. При таком расположении опытов струи и потоки воды переносят почву с делянок верхнего яруса на делянки нижерасположенного яруса. При этом разрушительное действие потоков воды изменяется (усиливается или ослабляется в

зависимости от формы склона) по мере удаления от водораздела. Изменяется соответственно и степень смывости почв. Поэтому при закладке таких многофакторных опытов приходится изолировать один ярус опыта от другого водоотводными канавами, валунами и другими заграждениями.

#### 4.1. Условия проведения опытов.

На всех делянках полевого опыта должно соблюдаться полное тождество всех природных и агротехнических условий, кроме изучаемых. Выбор и подготовка участка, на котором закладывается опыт, должна обеспечивать типичность опыта и достоверность его результатов. В целях выбора типичного участка, однородного по почвенному покрову и плодородию, а также для правильного размещения делянок для любого опыта обязательны:

1. Характеристика почв участка по единой классификации.
2. Агрохимическая характеристика пахотных и подпахотных горизонтов.
3. Установление хозяйственной истории участка за последние 3 года.

При закладке стационарных опытов должна быть проведена специальная подготовка участка, которая включает следующие мероприятия:

- а) почвенно-эрозионное и агротехническое обследование в масштабе не менее 1:5000, горизонтальная съемка в масштабе 1:1000 и нивелировка с сечением горизонталей через 10 см.
- б) одногодичный разведочный (рекогносцировочный) посев.
- в) одногодичный разведочный учет поверхностного стока, смыва, выдувания почв.
- г) при необходимости проводится уравнильный посев (посев одной культуры на всей площади опыта в целях повышения однородности почвенного плодородия).

Общее для всех вариантов сельскохозяйственные работы должны проводиться одновременно и одинаково на всех делянках опыта.

#### 4.2. Размер, форма и размещение делянок в опыте.

В любом полевом опыте, величина делянок должна быть одинакова для всех вариантов. Размер делянок устанавливается в зависимости от назначения опыта, свойств опытного растения, применяемой агротехники и изучаемых в опыте вопросов, габаритов сельскохозяйственных машин и орудий. В сельскохозяйственном опытном деле рекомендуется иметь возможно меньшую площадь под опытом, в связи с чем выбирают и меньшие размеры делянок, что позволяет проводить одновременно и быстро все работы на всех делянках опыта. При проведении же опытов по изучению дефляции и эрозии почв эти требования в корне изменяются. Учитывая закономерности процессов выдувания почвы, размер делянок опыта изменяется в зависимости от гранулометрического состава почвы и засушливости климата. В нашей стране накоплен опыт по применению полосного земледелия для защиты почв от дефляции. Теоретической основой полосного земледелия является прерывание нарастающего лавинного эффекта на распаханых землях полосами многолетних трав или целинной травянистой растительности.

Защита от дефляции на песчаных и супесчаных почвах в зависимости от засушливости климата обеспечивается при следующей ширине обрабатываемой полосы: – в зоне светло-каштановых и бурых почв – 10-15 м,

– в зоне южных и обыкновенных чернозёмов – 30-50 м;

В Канаде и США в зависимости от гранулометрического состава почв установлена следующая допустимая эрозионно-устойчивая при полосном земледелии максимальная ширина распахиваемых полос (при ветре 18 м/сек на высоте 15,2 м):

на песчаных почвах – 6 м;

на глинистых песках – 8 м;

на песчанистых суглинках – 30 м;

на средних суглинках – 75 м;

на тяжелых суглинках – 85-100 м;

Полосы различной ширины закладываются в перпендикулярном к господствующим эрозионно-опасным ветрам. Количество изучаемых полос должно быть не менее 3-4. Контроль (делянка с обычной обработкой без защитных эрозионно-устойчивых полос) размещается вдоль направления эрозионно-опасных ветров, то есть перпендикулярно к направлению защитных (из многолетних трав) и обрабатываемых полос. Характерной особенностью полевых опытов по изучению методов борьбы с дефляцией и эрозией почв является то, что мелкие делянки для изучения процессов ветровой эрозии и разработки противоэрозионных мероприятий не должна быть меньше 50-100 м для песчаных почв, 150-300 м для супесчаных почв и 400-750 м для суглинистых почв.

В районах с неустойчивым направлением эрозионно-опасных ветров делянка по форме должна приближаться к квадрату. При закладке полевых опытов по изучению методов борьбы с водной эрозией почв, учитывая теорию процессов смыва и размыва почв, размер делянок изменяется в зависимости от крутизны склона и водно-физических свойств почвы (противоэрозионной устойчивости почв). На основании многочисленных материалов установлено, что для защиты почв от водной эрозии ширина обрабатываемых полос не должна превышать 16-50 м, в исключительных случаях 10-20 м. Длина делянок для изучения в полевом опыте процессов водной эрозии и разработки противоэрозионных мероприятий должна быть не менее 80-150 м на склонах круче 6° и 150-250 м на склонах с крутизной менее 6°.

В полевых опытах по изучению дефляции и эрозии почв для выяснения отдельных вопросов применяются и мелкоделяночные опыты и даже микроделянки с искусственным дождеванием, с использованием переносных аэродинамических труб и других экспериментальных установок.

#### 4.3. Повторность вариантов, защитные полосы и наблюдения в опыте.

Повторность вариантов в опыте является обязательным условием при постановке каждого полевого опыта по изучению дефляции и эрозии почв. Повторность вариантов в опыте является основным способом учета ошибок, протекающих из неправильности и неточности действий экспериментатора, пестроты плодородия участка, изменчивости рельефа, свойств опытного растения и т.д. Рекомендуется иметь не менее 3-кратной повторности, что позволяет применять математическую обработку данных.

При установлении размера и формы делянок предусматривается необходимость выделения защитных полос по краям делянок, ширина которых должна быть не менее 1 м с каждой стороны. Защитные полосы исключают: 1) перенос почвы с делянки на делянку при обработке, 2) перенос почвенных частиц водой и ветром, 3) использование корнями растений влаги и питательных веществ с соседней делянки. Защитные полосы обрабатываются, удобряются и засеваются вместе с учетной площадью.

В целях изучения факторов, обуславливающих результаты опыта и для установления типичности опыта проводятся следующие наблюдения и учет:

- 1) учет осадков и других метеорологических показателей;
- 2) учет поверхностного стока, смыва и выдувания почвы;
- 3) фенологические наблюдения (по вариантам опыта и по элементам рельефа);
- 4) учет густоты стояния растений и определение полевой всхожести;
- 5) учет засоренности, повреждения растений болезнями и вредителями;
- 6) учет влажности почвы по генетическим горизонтам;
- 7) характеристика структуры урожая (у злаковых: число растений на единице площади, высота растений, продуктивная кустистость, чис-

ло зерен в колосе или метёлке, отношение веса зерна к соломе, абсолютный вес 100 зерен);

8) показатели качества урожая: белковость, крахмалистость, сахаристость и др.

Обязательным приемом учета урожая является взвешивание всей массы урожая и отдельно его хозяйственно-ценной части (зерна, клубней, корней и т.п.) со всей площади учетной делянки для каждой делянки в отдельности. Учет урожая производится одинаковым способом и одновременно или в одинаковой фазе спелости для всех вариантов опыта.

#### 4.4. Учет эрозии и дефляции почв в условиях полевого опыта.

При проведении полевых опытов для разработки противозерозионных и противодефляционных мероприятий и изучения процессов водной и ветровой эрозии необходим учет эрозии и дефляции почв, по возможности 2-3 методами.

Ветровую эрозию учитывают количественными методами, предложенными С.С. Соболевым (см. главу II). Для учета сноса и наноса почвы ветровой и водной эрозией очень наглядно и удобно зафиксировать в начале полевых работ часть поверхности пашни (площадки) каким-либо клеем. Наилучшие результаты дает раствор целлулоида в ацетоне или резиновый клей, кроме этого используют крилиумы (полиакриламид), а также битум, растворимое стекло и др. После воздействия ветровой или водной эрозии надписи или цифры, сделанные на поверхности пашни каким-либо клеем, рельефно выступают. По высоте этих надписей или цифр можно определить, сколько почвы смыто или унесено ветровой эрозией или (если на участке отлагались продукты эрозии) сколько почвы нанесено на фиксированную клеем поверхность.

Для учета дефляции почв используют методы шпилек, металлических стержней, используют пыле- и пескоуловители разных конструкций. Для ко-

личественного определения тонкой пыли и ила, переносимых на различной высоте над почвой, можно применять марлевые сачки, смазанные глицерином, патокой или другими веществами, к которому прилипает проносящиеся в воздухе пыль (способ А.М. Панкова). В определенные сроки сачки, установленные на разной высоте над поверхностью почвы, снимают, промывают в воде и определяют количество, а также гранулометрический и химический состав пыли, переносимой ветрами различной силы на разных высотах. Для учета водной эрозии почв каждая делянка оборудуется приборами для учета стока и смыва как стоковая площадка, кроме того для количественного учета процессов смыва закладываются вдоль склона нивелировочные профили, пересекающие горизонталь по возможности под прямым углом. По этим нивелировочным профилям закладывается система узких (1 м) и длинных (25-100 м) учетных площадок, расположенных длинными сторонами вдоль горизонталей, то есть перпендикулярно направлению основного нивелировочного профиля. На учетных площадках применяется метод учета эрозии по объему водороя. Смыв почвы можно изучить и количественно учитывать путем измерения твердого стока на стоковых площадках и в тальвегах малых водосборов. Наиболее надежные данные получают на стоковых площадках при многолетних наблюдениях.

#### **4.5. Обработка результатов опыта.**

В случае обнаружения на делянках погрешностей в проведении опыта или незамеченных при закладке резких местных изменений почвенного покрова (западины, промоины, пятна резко отличающихся почвенных разностей) производится исключение этих частей делянок (выключки) или отдельных делянок целиком из учета эрозии и дефляции почв. Выключки должны убираться непосредственно перед уборкой урожая, одновременно с защитными полосами. Если площадь выключки превышает половину учетной площади делянки, то исключается из учета вся делянка.

По окончании проведения опыта производится обработка полученных результатов, обязательными элементами которой являются следующие:

- 1) пересчет урожаев, полученных с учетных делянок на единицу площади (гектар);
- 2) выведение средних урожаев для каждого варианта по повторностям;
- 3) пересчет данных учета стока и смыва, выдувания почв, полученных с учетных делянок на единицу площади (гектар);
- 4) выведение средних данных по поверхностному стоку и смыву, выдуванию почв для каждого варианта по повторностям.

Статистическая обработка цифрового материала, которая может производиться любым методом, должна дать, по крайней мере, две статистические характеристики – точность опыта и показатель достоверности различий между вариантами, которые позволяют объективно оценить достоверность сделанных выводов.

## Литература.

1. Владыченский С.А. Сельскохозяйственная мелиорация почв.— М.: Изд-во МГУ.— 1972.— 398 с.
2. Захаров П.С. Эрозия почв и меры борьбы с ней.— М.: Колос.— 1971.— 191 с.
3. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П., Григорьев В.Я. Методы изучения эрозионных процессов.— М.: Изд-во МГУ.— 1986.— 104 с.
4. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв.— М.: Изд-во МГУ.— 1996.— 335 с.
5. Лобанов Д.А., Танзыбаев М.Г. Эрозия почв и меры борьбы с ней.— Томск: Изд-во Том. ун-та.— 1986.— 143 с.

## Содержание.

Введение.	3
1. Оценка устойчивости почв к разрушающему действию воздушных потоков.	4
2. Учет дефляции почв.	9
2.1. Методы количественного учета интенсивности дефляции.	9
2.2. Измерение потока почвенной массы с помощью пыле- и пескоуловителей.	11
2.3. Метод ловушек.	13
3. Метод моделирования с применением аэродинамической установки.	14
3.1. Устройство и принцип работы аэродинамической установки.	14
3.2. Подготовка почвы к анализу.	18
3.3. Определение зависимости интенсивности сдувания почвы от скорости воздушного потока.	19
4. Особенности полевого опыта по изучению эрозии и дефляции почв.	22
4.1. Условия проведения опытов.	23
4.2. Размер, форма и размещение делянок в опыте.	24
4.3. Повторность вариантов, защитные полосы и наблюдения в опыте.	26
4.4. Учет эрозии и дефляции почв в условиях полевого опыта.	27
4.5. Обработка результатов опыта.	28
Литература.	30