

Министерство образования Российской Федерации  
Томский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Декан БПФ

\_\_\_\_\_ С.Н. Кириотин

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2001

## **МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭРОЗИИ ПОЧВ**

Методические указания

Томск – 2001

РАССМОТРЕНО И УТВЕРЖДЕНО методической комиссией биолого-  
почвенного факультета

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2001 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ В.В. Лукьянцев

В методических указаниях к лекционному курсу по «Эрозии и охране почв» излагаются современные методы изучения процессов эрозии почв и способы физического моделирования для установления закономерностей проявления эрозионных процессов, а также дается характеристика смывости почв.

Методические указания разработаны для студентов IV курса специальности «Почвоведение», а также студентов сельскохозяйственных, лесохозяйственных и гидромелиоративных специальностей.

Составители: к.б.н. Каллас Е.В.

д.б.н. Танзыбаев М.Г.

## Введение

На современном этапе развития науки убедительно показано, что почва является не только основным средством сельскохозяйственного производства, но и важнейшим компонентом наземных биогеоценозов, мощным аккумулятором энергии на Земле, регулятором состава атмосферы и гидросферы, надежным барьером на пути миграции загрязняющих веществ. В тоже время, почва, являясь незаменимым компонентом биосферы, претерпевает значительную деградацию, наиболее значительным видом которой является эрозия почв. При изучении эрозионных процессов используются методы почвоведения: сравнительно-географический, сравнительно-аналитический, стационарный и моделирование. Кроме того, применяются методы таких смежных наук, как гидрология, гидравлика, геоморфология, грунтоведение и др.

Наиболее полная информация в познании эрозионных процессов получена с помощью сравнительно-географического и стационарного методов. Перспективными в рамках сравнительно-географического метода являются дистанционные: аэро- и космическая эрозионная фотосъемка, наземная эрозионная съемка с использованием спутниковой системы глобальной навигации, которая позволяет очень точно оконтуривать на местности эрозионные объекты. В настоящее время наиболее быстрыми темпами развиваются методы моделирования. К сожалению, во многих учебных пособиях по эрозии и охране почв недостаточно уделяется внимания методам изучения эрозионных процессов, в то время как именно с их помощью можно понять причины и закономерности проявления эрозии почв. В зависимости от степени вмешательства исследователя в ход изучаемого процесса Д.Л. Арманд (1961) подразделяет всё многообразие применяемых в эрозиоведении экспериментальных методов на следующие три группы: 1) пассивный эксперимент в природе; 2) активный эксперимент в природе; 3) физическое моделирование (эксперимент в лаборатории). Указанные группы методов рассматриваются в настоящих методических указаниях.

## 1. ПАССИВНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ПРИРОДЕ.

Задачей пассивного эксперимента является определение объема потерь, переноса или накопления почвы в зависимости от факторов эрозии. В группу пассивного эксперимента отнесены методы наблюдения и измерения, которые не сопровождаются вмешательством в естественный ход процессов и не оказывают влияния на конечный результат этих процессов. Основными из них являются:

- 1) метод учета эрозии по объему водороев;
- 2) метод реперов для оценки смыва почвы;
- 3) метод повторного нивелирования для целей определения потерь почвы от эрозии;
- 4) метод измерения мутности воды в реках при снеготаянии; и др.

### 1.1. Метод учета эрозии по объему водороев.

Учет эрозии, или оценка смыва почвы, могут быть проведены путем замера объема струйчатых размывов, образовавшихся после весеннего снеготаяния или ливневых дождей. На склонах, подверженных смыву, определяют при помощи нивелира или эклиметра профили вдоль склонов под прямым углом к горизонталям. По этим профилям закладывают учётные площадки длиной 25-100 м и шириной 1 м. Их располагают длинными сторонами вдоль горизонталей, т.е. перпендикулярно к направлению профиля. На участках с небольшими уклонами расстояние между учётными площадками колеблется от 50 до 100 м, на крутых участках и перегибах склонов – 20-25 м. Если склон однороден, расстояние может быть увеличено до 150-200 м. Учётными площадками необходимо охватить все характерные участки склона.

На учётных площадках линейкой или мерной лентой измеряют с возможно большей точностью (до 0,5 см) глубину и ширину всех образовавшихся струйчатых размывов (водороев), а также отложений продуктов эрозии.

Данные записывают в виде дроби: в числителе указывают глубину промоин или мощность наносов, в знаменателе – ширину промоин или наносов. Затем полевые материалы обрабатывают, вычисляя суммарное сечение водороев.

Предположим, что на протяжении 100 м было зафиксировано и замерено 55 струйчатых размывов с суммарным сечением  $12750 \text{ см}^2$ . Считая, что это сечение водороев характерно для полосы склона шириной 10 м (5 м вниз и 5 м вверх), вычисляем объем смытой почвы на площади 0,1 га. Получаем цифру  $12,7 \text{ м}^3$ , в пересчете на гектар –  $127 \text{ м}^3$ . При средней плотности почвы 1,2, это будет 152 т/га. Суммарный объем водороев можно рассчитывать как для всего склона, так и для отдельных его частей.

Вместо учётных площадок на их месте можно закладывать учётные профили. В этом случае по ходу профиля определяют сечение каждой водороев и суммарную их площадь. Величину смыва рассчитывают по уравнению:

$$P = (10000 \cdot S) : L,$$

где  $P$  – вынос почвогрунта,  $\text{м}^3$ ;

$S$  – суммарная площадь сечения водороев,  $\text{м}^2$ .

$L$  – длина учётного профиля, м.

Распространение смыва показывают на плане хозяйства, где в горизонталях наносят сеть профилей с данными о смыве по учётным площадкам. Затем точки с одинаковым смывом соединяют изолиниями, в результате чего выделяются контуры участков разной степени эродированности.

Этим методом можно учесть смыв за любой промежуток времени, например за один ливень, за период выпадения дождей, за период снеготаяния и т.д. Учет количества смытой почвы по замеру объема водороев является приближенным. Причинами ошибок, как в сторону уменьшения, так и в сторону завышения количества смытой почвы могут быть следующие:

1) количество профилей, по которым учитывались струйчатые размывы. Так, если на склоне длиной 250 метров будет заложено 10 профилей, то мы полу-

чим один объем смытой почвы, а если 20 – то другой. При этом разница может составить 20% и более.

2) субъективный фактор, который в значительной мере проявляется при замере объема струйчатых размывов. Как показывает опыт, разница в суммарном замере объема струйчатых размывов, выполненном разными исследователями, иногда достигает 20-30%. Связано это с разной точностью замера сечений водороев и степени учета мельчайших размывов и намывов.

3) предположение линейности расположения водороев вниз по склону при замере сечения через 10 или 20 метров. Длина ручейков между учётными линиями принимается равной расстоянию между ними, тогда как в действительности ручейки из-за извилистости длиннее. Чем выше извилистость струйчатых размывов, тем выше ошибка в сторону занижения объема смытой почвы. Поэтому рекомендуется подсчет смытой почвы проводить с учетом коэффициента на извилистость водороев. Значение этого коэффициента в зависимости от крутизны, длины склона и других факторов может колебаться от 1,1 до 1,4.

4) при подсчете объема струйчатых размывов условно принимается их прямоугольное сечение, площадь которого определяют путем перемножения его ширины на максимальную глубину. В действительности русла имеют самые разнообразные формы: прямоугольные, треугольные, трапециевидные и другие.

5) при методе учета эрозии по объему водороев не учитываются очень мелкие размывы (глубиной менее 5 мм), а также смыв почвы с участков между струйчатыми размывами, который в той или иной мере всё же проявляется.

6) данные по количеству смытой почвы могут быть завышенными в том случае, когда при эрозии на склоне происходит не только смыв почвы, но и её отложение в виде тонких наносов, которые не всегда можно заметить.

7) особенности механизма процессов смыва таковы, что даже при одинаковых объемах ручейковой сети на склоне, потери почвы от эрозии будут раз-

ными в зависимости от вида стока – дождевого или талого. В.А. Фёдоров и Н.К. Шикула (1973) предложили поправочные коэффициенты к результатам определения смыва почвы по замеру объема русел временных водных потоков на паппе (табл. 1). Поправочный коэффициент представляет собой отношение фактической величины смыва почвы со склона, измеренной на стоковой площадке, к величине, найденной методом замера объема русел водотоков.

Таблица 1.

Поправочные коэффициенты к результатам определения смыва почвы по замеру объема русел (Фёдоров, Шикула, 1973)

Кругизна склона, градусы	При снеготаянии	При дождях
1–3	1,5	1,6
4–6	1,4	1,5
7–9	1,3	1,4
15–16	1,2	1,3
20	1,2	1,2

Как видно из таблицы 1, поправочный коэффициент уменьшается с увеличением склона в связи с уменьшением меандрирования русел. Наблюдаются также более высокие величины указанного коэффициента в случае дождей по сравнению со снеготаянием ввиду того, что при дождях вынос почвы наблюдается не только в руслах потоков, но и с микроводоразделов за счет разбрызгивания дождевыми каплями.

Несмотря на указанные причины, метод учета эрозии по объему водоросин позволяет без сложного оборудования на любом участке склона в первом приближении определять смыв почвы от стока талых вод, выпадения одного или нескольких ливней на различном агрофоне.

## 1.2. Методы измерения уровня почвенной поверхности.

Методы измерения эрозии почв, не оказывающие влияние на естественное течение процесса, основаны на учёте изменения уровня почвенной поверхности, которое происходит при эрозии почв: в зоне смыва уровень поверхности в целом понижается, в зоне транспорта наносов – не изменяется, а в зоне аккумуляции – повышается. Измерив уровни поверхности почвы до ливня и после него, можно рассчитать потери (или аккумуляцию) почвы. Существует много методов измерения уровня почвенной поверхности: метод шпильек, микронивелирования, стереофотограмметрический и другие.

Наиболее простым методом учета эрозии почв при поверхностном смыве является метод шпильек, который рекомендуется применять на многолетних хорошо развитых травостоях и на природных пастбищах с высоким проективным покрытием. Шпилька представляет собой тонкий металлический стержень с нанесенными на нём делениями, который погружают в почву до нулевой отметки. Роль шпильки может выполнять металлический шаблон, имеющий форму верхней части буквы «П», который изготавливается из прочной проволоки диаметром около 1 см.

Изменение уровня поверхности почвы возле шпильки позволяет судить о величине наноса почвы или о величине потерь. Этот метод используют для оценки интенсивности многолетней поверхностной эрозии. Он может применяться не только на малых площадках, но и для оценки интенсивности эрозии по всему склону. В последнем случае по продольному профилю склона закладывается ряд реперов, по которым ведут замеры изменения уровня почвы. Замеряя изменение уровня поверхности почвы за многолетний период нельзя относить всё удаление почвы только за счет эрозии. На обрабатываемых крутых склонах значительное количество почвы может перемещаться к подножию почвообрабатывающими машинами, кроме этого на склонах могут проявляться и другие процессы денудации.

Наиболее широко применяемым в силу своей простоты и доступности методом измерения уровня почвенной поверхности является метод микронивелирования. Он заключается в устройстве на исследуемой площадке жестко фиксированных опор, на которые, по мере наступления сроков измерений, устанавливают на постоянной высоте от поверхности почвы металлическую рейку, на которой свободно перемещается тележка с прикрепленной к ней мерной иглой. Мерная игла снабжена нониусом и позволяет измерять вертикальную координату точки на поверхности с точностью до 0,1 мм. Вертикальные промеры проводят через 2 см. Горизонтальную координату определяют с точностью до 1 мм (по линейке, укрепленной на направляющей рейке). Метод микронивелирования позволяет построить лишь профиль поверхности, а не саму поверхность. Имея два профиля поверхности почвы, полученные в одном створе в разное время, можно определить слой почвы, который утрачен вследствие эрозии за это время. Этот метод используют для работы с почвой, находящейся в состоянии, близком к равновесному, при котором плотность почвы приблизилась к некоторой постоянной для данного угодья и сезона величине. В случае рыхлой почвы возможны ошибки в определении величины смыва, обусловленные усадкой почвы.

Наиболее перспективным среди методов, основанных на учёте изменения уровня почвенной поверхности, М.С. Кузнецов и Г.П. Глазунов (1996) считают метод стереофотограмметрический. Этот метод применяется для детального изучения закономерностей и интенсивности эрозии на небольших площадках. Он позволяет точно определить объем смытой и намытой почвы путем учёта малейших изменений поверхности почвы после выпадения ливня. Стереофотограмметрический метод основан на сравнении вертикальных координат нескольких сотен точек на поверхности небольшого участка почвы, попавшего в кадр, по фотографиям, сделанным из фиксированной точки в два срока: до проявления процессов эрозии и после. Этот метод значительно точнее всех вышеописанных, поэтому он может быть использован при

моделировании процессов эрозии и дефляции. К недостаткам стереофотограмметрического метода относится высокая стоимость и сложность оборудования для извлечения из фотографий требуемой информации.

### 1.3. Изучение интенсивности роста оврагов.

Изучение интенсивности роста овражной сети обычно проводится с помощью установки постоянных реперов, на основе которых делают повторные вертикальные и горизонтальные съемки. Наблюдения начинают с составления детального плана водосборной площади, питающей овраг, на основе мензульной съемки. На план наносят рельеф водосбора в горизонталях, контуры оврага, границы сельскохозяйственных угодий, гидротехнические сооружения и лесомелиоративные насаждения, а также точки нахождения реперов. В натуре реперами отмечают края створов, в которых в дальнейшем будут производить измерения. Реперы располагают на ближе 3 м от бровки оврага и не менее 10 м от вершины оврага. Измерительными створами должны быть охвачены зоны размыва, транзита и аккумуляции. В зависимости от длины оврага назначается от 5 до 10 створов. Наблюдения ведут путем ежегодного измерения расстояний от постоянных реперов до вершины и бровок оврага, а также профиля оврага в каждом створе. По этим данным рассчитывают методом интерполяции все нужные характеристики интенсивности роста оврагов.

Рост оврагов (прирост их в длину, ширину, глубину, по площади и по объему) определяют также по материалам повторных аэросъемок территории в масштабе 1:10000 или 1:20000, проведенные в разные сроки. Снимок, сделанный раньше, увеличивают через проектор в 4-5 раз и на миллиметровку наносят контуры оврага. Затем на полученный контур наносят увеличенный в такое же число раз контур того же оврага, но взятый с более позднего снимка. Приведение обоих снимков к единому масштабу достигается совмещением их увеличенных проекций по трём фиксированным на местности

предметам. Сравнивая полученные контуры, можно судить о степени роста оврага и площади, разрушенной линейной эрозией, а зная изменение глубины оврага, можно подсчитать объем почвогрунта, вынесенного потоком.

Для получения динамики линейной эрозии пользуются и методом наземной стереоскопической съемки, путем сравнения результатов повторных съемок, выполняемых с постоянных пунктов. На основании повторных замеров, проводимых через определенный отрезок времени (5–10–20 лет) различными методами, могут быть составлены карты и картограммы интенсивности линейной эрозии на той или иной территории. Например, картограммы интенсивности линейной эрозии по увеличению протяженности промоин и оврагов ( $\text{км}/\text{км}^2$ ), по увеличению их плотности ( $\text{шт}/\text{га}$ ), по увеличению занимаемой ими площади ( $\text{м}^2/\text{га}$ ), по увеличению объема вынесенной почвы и подпочвы ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) и по другим морфометрическим показателям.

#### **1.4. Оценка интенсивности эрозии по заилению прудов и модулю стока наносов.**

В некоторых случаях объем твердого стока с водосбора за длительный период можно определить по объему наносов, отложенных в пруду или озере. При этом необходимо учитывать приход наносов за счет обрушения берегов, за счет внутренней жизни водоема и золовой аккумуляции, а также убыль наносов при изъятии воды на хозяйственные нужды.

Для характеристики современного проявления эрозии часто используют данные месячного, сезонного и годового твердого стока в речной сети. В этих целях используют модуль эрозии (модуль стока взвешенных наносов), который выражается в тоннах твердого стока, отнесенного к  $1 \text{ км}^2$  водосборной площади. Хотя данные модуля эрозии в определенной мере позволяют судить об интенсивности современного проявления эрозии на водосборном бассейне реки, однако они далеко не полно отражают действительное проявление эрозии, так как часть смытой почвы не достигает реки (она в виде на-

носов откладывается у подножий склонов, по дну балок, в прудах, в оросительной и дренажной сети), а часть продуктов эрозии, поступающая в речную сеть, быстро осаждается в виде русловых наносов. В районах, где в результате интенсивной овражной эрозии в речную сеть поступает из устьевой части оврагов щебень и крупный песок, быстро переходящие в донные наносы, показатели модуля эрозии могут быть в десятки раз меньше действительной величины проявления эрозии на водосборе. Часть продуктов эрозии могла в виде наносов отложиться на пойменных землях в период половодий. Кроме того, смытая почва при переносе водой постепенно теряет содержащиеся в ней легкорастворимые вещества. В разных условиях в зависимости от минералогического состава эродируемой почвы и подстилающих пород, интенсивности эрозии, общей протяженности водного потока отношение величины твердого стока к величине растворимых в воде продуктов эрозии может составлять 1:2, 1:5, 1:10, 1:100 и даже 1:1000. При эрозии почв, развитых на известняках, меле, доломитах и других легкорастворяемых породах, отношение растворимой части к твердому стоку взвешенных наносов может быть 5:1, 10:1 и более. Таким образом, данные модуля эрозии далеко не тождественны интенсивности смыва и размыва почвы. Исследования И.В. Старостиной (1972), проведенные на реках бассейна реки Оки, позволили установить, что около 60% смытой почвы откладывается в нижних частях склонов, 20% – в логах, балках, ручьях, 10% – в малых реках и только незначительная часть доходит до средних и больших рек. Как отмечает Р.С. Чалов (1979), в русла рек поступает от 3 до 20% смытой со склонов почвы. Вместе с тем следует иметь в виду, что в формировании твердого стока в речной сети участвует не только эрозия почв, но и другие почвозаразрушающие процессы, проявляющиеся на водосборном бассейне – это осыпи, обвалы, боковая речная эрозия, сели, дефляция и т.д. Поэтому следует очень осторожно использовать данные твердого стока для оценки интенсивности современного проявления эрозии на водосборном бассейне речной сети.

### 1.5. Измерение потоков твердой фазы в процессе эрозии.

Процессы эрозии сводятся, в конечном счете, к движению масс почвы под действием водных потоков. С целью выявления причин движения этих масс необходимо измерить это движение, т.е. измерить поток твердой фазы (т.е. почвы) в процессе эрозии. В настоящее время для этого используют батометры, ловушки донных наносов, фильтры, пьезометрические устройства для регистрации перемещения почвенных частиц и т.д. Все устройства делятся на две категории: одни предназначены для измерения суммарного переноса твердой фазы через всё живое сечение взвешенного потока, другие – для измерения потока твердой фазы через фиксированную площадку (равную площади отверстия прибора, помещенного в поток).

Весь взвешенный поток удается проанализировать при изучении смыва почвы с небольших водосборов размером от десятых долей гектара до нескольких гектаров. В этом случае весь объем поверхностного стока с водосбора пропускают через измерительный комплекс, где определяют расход жидкого стока, стока донных наносов, стока взвешенных наносов и стока растворенных веществ. Наблюдения начинают с составления детального плана водосборной площади на основе мензульной съемки. На план (М 1:200) наносят горизонтали через 0,1 м и определяют границы водосбора. После первого же ливня границы уточняют на местности. Верхней границей служит общий водораздел склона, а боковыми и нижними – микроводораздела. По нижним границам устраивают стоконаправляющие стенки из толя или рубероида. Основание стенки погружают в почву на глубину 15-20 см. Стенка должна выступать над поверхностью почвы примерно на 155 см, с внешней стороны её крепят колышками. Стенки сходятся к направляющему лотку, который сообщается со стокорприёмным баком, оборудованным для проведения измерений характеристик стока. Измерительное оборудование и методы проведения измерений аналогичны стандартным методам, применяемым на стационарных стокowych площадках, о чем будет сказано далее. Преимущест-

во этого метода заключается в том, что его можно использовать при проведении исследований в производственных условиях, т.к. измерительное оборудование является съемным и не мешает проведению полевых работ. Кроме того, отсутствует искажающее влияние боковых искусственных рубежей.

Анализ всего взвесенесущего потока используют при углубленном изучении эрозии почв во время снеготаяния. Для этого из русла временного потока периодически отбирают в мерную ёмкость пробу стока, определяют его расход, измеряют живое сечение потока и рассчитывают его среднюю скорость. Тут же в поле методом мокрого просеивания пробы стока на колонке сит определяют распределение по размерам частиц донных наносов. Мутность потока определяют методом фильтрования.

Аналогичный подход применяют при изучении эрозии при орошении напуском по бороздам. При этом необходимо учитывать особенности механизма смыва почвы в поливных бороздах, которые заключаются в следующем:

- 1) уменьшение расхода воды с удалением от головной части борозды;
- 2) наличие трех зон: а) смыв почвы, б) транспорта наносов, в) аккумуляции наносов;
- 3) наибольший смыв наблюдается в начальный период поступления воды в сухую борозду.

Всё это приводит к тому, что почва, смываемая в верхней части поливной борозды, часто не покидает пределов поля, а накапливается в нижней его части. Учитывая это, измерительные створы распределяют вдоль борозды таким образом, чтобы охватить измерениями все три зоны. Необходимо стремиться к тому, чтобы измерения не нарушали режим течения воды в борозде выше створа, в котором они проводятся. Для этого приходится организовывать створ соответствующим образом. В непосредственной близости к борозде выкапывают углубление для мерной ёмкости, которая сообщается с поливной бороздой водоотводной канавкой, через которую в нужный момент

поток воды из поливной борозды направляют в мерную ёмкость. Для этого в измерительном створе в начале опыта дно борозды выстилают листом полиэтиленовой пленки. Перекинув её нижний край из борозды в отводную канавку, поток направляют в мерную ёмкость и проводят весь комплекс измерений. После отбора пробы и возвращения потока в борозду измеряют живое сечение потока. Отбор проб описанным методом в установленные сроки производят последовательно во всех створах, начиная с замыкающего и заканчивая первым, расположенным в головной части борозды.

В начале полива отбор проб производят как можно чаще (через 10-15 мин), начиная со второго часа, пробы отбирают через 0,5-1 час.

Взятие пробы воды из глубоких потоков для определения её мутности производят с использованием бутылки-батометра. Пустую, закрытую пробкой бутылку-батометр, укрепленную на штанге, опускают в поток на требуемую глубину и приводят в действие затвор крышки. Крышка открывается и вода заполняет бутылку. После этого вновь приводят в действие затвор, крышка закрывается, и батометр извлекают из потока. Мутность определяют фильтрованием. Батометрами пробы отбирают вдали от дна, в области, где вертикальным градиентом концентрации наносов можно пренебречь.

При малых глубинах потока пробы на мутность целесообразно брать с помощью вакуумного батометра, устанавливаемого на берегу потока. Вакуумный батометр представляет собой бутылку, закупориваемую резиновой пробкой с двумя трубками, одна из которых служит для соединения бутылки с вакуумным насосом, другая снабжена наконечником и предназначена для забора проб воды. Наконечник крепят к штанге и опускают на заданную глубину. Заполнение бутылки водой осуществляется за счет разности давления в бутылке и атмосфере, создаваемой вакуумным насосом.

Измерений мутности, проводимых на разной глубине, достаточно только для расчета потока взвешенных наносов. Для определения суммарного потока почвенной фазы во взвешенном потоке необходимо добавить

измерение потока донных наносов. Измерение донных наносов производят с помощью донной ловушки, которая представляет собой открытую коробку, погружаемую в дно потока так, чтобы её края были вровень с дном. Сверху коробка накрывается решеткой, конструкция которой такова, что частичка почвы, катящаяся или скачущая по дну потока и попавшая на решетку, обязательно проваливается в коробку. Миновать уловитель донных наносов могут только те частички, длина скачка которых больше длины самого уловителя. Но, учитывая то обстоятельство, что наибольшая часть суммарного потока почвенной фазы переносится в придонном слое и, следовательно, характеризуется небольшой длиной скачка, можно ограничиться сравнительно небольшой длиной ловушки (в среднем 25 см).

#### 1.6. Изучение эрозии по морфометрическим картам.

Интенсивность и характер распространения эрозии можно изучать на основе картографического материала, что позволит установить степень горизонтального и вертикального расчленения территории и её уклоны. Количественные показатели рельефа называются, по П.С. Захарову (1971), морфологическими показателями, а карты, на которых отражены эти показатели – морфометрическими. Такие карты необходимы для составления схем противоэрозионных мероприятий. Существуют различные виды морфометрических карт. Например, карты поверхностного стока, стока талых вод, карты распространения ливней характеризуют один из существенных факторов эрозии – осадки. На топографических картах изображается другой фактор – рельеф местности. Изучая эти карты, вычисляют количественные характеристики некоторых элементов рельефа, а также распространение эрозии.

По картам с горизонталями определяют глубину местных базисов эрозии, средние уклоны местности, степень эродированности территории, характер оврагов, их уклоны, разветвленность.

Глубину местных базисов эрозии получают путём вычисления разности отметок водоразделов и устьевой части оврагов.

Степень эродированности территории характеризуется процентом площади, занятой оврагами, по отношению ко всей территории хозяйства или района. Площади, находящиеся под оврагами, определяют с помощью планиметра.

Уклон дна оврага является одним из факторов интенсивности размыва. Этот показатель получают делением разности отметок вершины и устья оврага на его протяженность, измеренную по основной оси оврага. Принято различать длину главного течения оврага (осевую длину) и общую длину, в которую кроме осевой длины включаются длины всех притоков и разветвлений оврага. По отношению общей длины оврага к его осевой длине характеризуют степень разветвленности оврага. На основании сопоставления количественных показателей разветвленности оврага и расположения притоков с рисунком ветвления делают вывод о типе эрозионного расчленения. Например, базис эрозии неглубокий, водоразделы слабо расчленены, ветвление оврага незначительно – это свидетельствует о ранних стадиях развития эрозии. Наоборот, на поздних стадиях развития эрозии водоразделы сильно расчленены, а ветвление оврагов значительное.

При проектировании противозерозионных мероприятий и для проведения почвенно-эрозионных обследований необходимо иметь крупномасштабный план крутизны склонов. Для этого используют план с горизонталями, на котором выделяют контуры с крутизной склонов до 2°; 2-3; 3-5; 5-9; 9-15; и более 15°. Для выделения на плане участков указанной крутизны строят шкалу заложений. Горизонтальную линию делят на равные промежутки, против делений подписывают цифры, означающие крутизну в градусах. Затем из нанесенных точек восстанавливают перпендикуляры и на них в масштабе плана откладывают отрезки, равные заложению. В зависимости от сечения гори-

горизонтальной величина заложений для различных углов наклона показана в таблице 2.

Таблица 2

Величина горизонтального заложения (в м)

(Захаров П.С., 1997)

Сечение горизонталей	Углы наклона							
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	9°	15°
0,5	28,7	14,4	9,6	7,2	5,8	4,8	3,2	1,9
1,0	57,3	28,7	19,1	14,3	11,5	9,5	6,3	3,8
2,5	143,3	71,8	47,1	35,8	28,8	23,8	15,8	9,5
5,0	286,5	143,5	95,5	71,5	57,6	47,5	31,5	19,0

Так, если масштаб плана 1:25000, а сечение горизонталей 5 м, то для крутизны 1° заложение будет равняться 286,5 м, а в масштабе 1:11,4 мм, для 2° – 143,5 м (5,77 мм) и т.д. Верхние концы перпендикуляров соединяют плавной кривой.

Если на плане надо найти площадь крутизной 2-3°, то взяв со шкалы заложений циркулем высоту перпендикуляра для 2°, находят на плане пункты, где расстояние между горизонталями будет соответствовать расстоянию между ножками циркуля. Эти пункты соединяют плавной кривой. Затем то же самое делают для крутизны 3°. На площади между проведенными линиями окажутся участки с крутизной 2-3°. То же проделывают для площадей с другими уклонами. Выделенные площади закрашивают в разные цвета.

Кроме карт крутизны склонов можно составлять картограммы экспозиции склонов и длины склона.

## 2. АКТИВНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ПРИРОДЕ.

Изучение эрозионных процессов в рамках активного эксперимента в природных условиях осуществляется с вмешательством исследователя в их естественное течение, что оказывает влияние на конечный результат. К этой группе отнесены методы наблюдения и измерения, предполагающие создание искусственных условий, благоприятных для хода процесса в природе или для видоизменения. Основным методом этой группы является метод стоковых площадок. Непременным условием изучения эрозии почв является тщательная крупномасштабная топографическая съемка участка, картографирование почв, установка пловниографа для измерения слоя и интенсивности дождей. При изучении эрозии от стока талых вод проводится снегомерная съемка, оцениваются запасы воды в снеге и ведутся наблюдения за температурным режимом, сезонным состоянием почв (промерзание, оттаивание, степень водонасыщенности почв и др.)

### 2.1. Метод стоковых площадок.

Метод стоковых площадок позволяет оценить противозэрозионную эффективность различных агротехнических мероприятий. Этот метод является комплексным методом. Он включает непрерывное измерение стока (твердого и жидкого), осадков, физических свойств почв, почвозащитной роли растительности на ограниченном участке склона в течение продолжительного времени.

Стоковой площадкой (рис. 1) называют огражденный по периметру окружающей местности участок склона, оборудованный устройствами для учёта стекающей с его поверхности воды и влекаемой ею почвы. Стоковые площадки могут иметь различную площадь. Чем больше её площадь, тем точнее результаты проведённых наблюдений. Ограждение представляет собой валик

из почвы высотой 25-30 см, шириной по низу 60 см и по верху 20 см. Иногда площадки изолируют досками, металлическими листами, поставленными на ребро. С внешней стороны верхнего оградительного вала делают борозды для отвода воды, движущейся в сторону стоковой площадки с вышележащей территории. С внутренней стороны нижнего вала устраивают водоприемную борозду для приема воды, стекающей со стоковой площадки, и направления её в измерительный павильон. Конструкция водоприёмной борозды зависит от расчетного стока использования стоковой площадки. На стационарных стоковых площадках, используемых в течение многих лет, водоприемный лоток делают из железобетона, на временных – из распиленных в продольном направлении асбоцементных труб.

При устройстве стоковых площадок необходимы мероприятия по предотвращению потерь воды на участке между собственно площадкой и измерительным павильоном и предупреждению размыва почвы в местах контакта между водоприемным лотком и почвой.

Размеры и форма стоковой площадки зависят от решаемых задач: при изучении эффективности террасирования склонов длина стоковой площадки равна ширине террасы (5-10 м); при изучении эрозии при снеготаянии на пологих длинных склонах, когда стоковая площадка должна охватить весь склон, её длина может превышать 600 м. По М.С. Кузнецову и Г.П. Глазунову (1996), оптимальные размеры стоковой площадки следующие: длина 100-150 м, ширина 20-25 м.

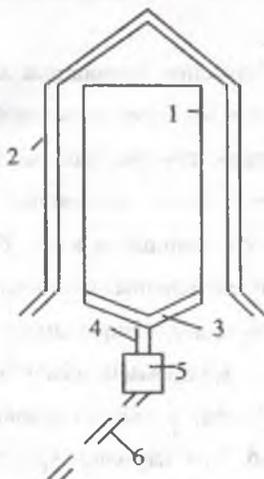


рис. 1. План участка стоковой площадки: 1 – бортик площадки; 2 – водоотводящие каналы; 3 – водоприемный лоток; 4 – водоподводящий лоток; 5 – измерительный павильон; 6 – канализационная труба.

Емкость измерительных устройств обычно рассчитывают на сток 130-150 т/га смытой почвы (т.е. сток обеспеченностью 1%). Измерение расхода жидкого стока производят с помощью водосливов с тонкой стенкой, гидрометрических лотков или мерных емкостей.

Часто используют не весь объем стока, а какую-то его долю. В этом случае в измерительную систему вводят один или несколько делителей стока, который представляет собой емкость с вертикально расположенными водовыпускными щелями. Независимо от уровня воды в делителе через каждую щель вытекает одинаковое количество воды. Вода, вытекающая из щели, оборудованной направляющим лотком, подается в измерительную емкость или во второй делитель, а вода из остальных щелей сбрасывается в канализационную сеть.

Твердый сток (смыв почвы) с территории стоковой площадки определяют путем суммирования стока взвешенных и донных наносов. Сток донных наносов, оседающих в стокоприемнике, определяют весовым методом, а сток взвешенных наносов – методом фильтрования проб, отбираемых на мутность в потоке на выходе из стокоприемника. Отбор проб на твердый сток во время весеннего снеготаяния проводится 2-3 раза в сутки. Частый отбор проб на мутность особенно необходим при выпадении ливней, когда твердый сток характеризуется большой пульсацией, связанной с частым изменением интенсивности выпадения осадков.

Для натуральных измерений смыва в условиях стационарных наблюдений разработаны рекомендации по учету поверхностного стока и смыва при изучении водной эрозии. Согласно этим рекомендациям, к участкам, на которых оборудуются стоковые площадки со стенками-ограничителями, предъявляются следующие требования:

- 1) типичность по отношению к склонам экспериментального водосбора;
- 2) наличие необходимых почвенно-растительных, агротехнических и других условий, обеспечивающих решение поставленной задачи;

- 3) отсутствие резких переломов рельефа и препятствий (канав, бугров, западин и др.), искажающих формирование стока на используемом склоне;
- 4) отсутствие выхода подземных вод на дневную поверхность;
- 5) возможность отвода воды от измерительных устройств.

На стоковых площадках с помощью дождевальных агрегатов может проводиться моделирование стока, вызываемого дождевыми осадками, а также моделирование эрозии от стока талых вод. В последнем случае на площадках создается снежный покров различной мощности и плотности, а также различные варианты промерзания, увлажнения и рыхлости почв.

## 2.2. Метод микролотков.

Для изучения эрозии от стока дождевых осадков на выровненных склонах применяются микролотки (рис. 2) без ограждения стокофильтрующей площади. Лотки из жести имеют длину 100 см. Лотку придается уклон к стороне, заканчивающейся трубкой с насаженным на неё резиновым шлангом. Попадающий в лоток сток через шланг поступает в стокоприемник, помещенный в углублении почвы.

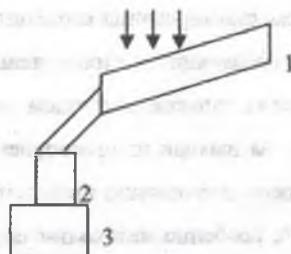


рис. 2. Схема микролотка

1 — лоток; 2 — шланг;

3 — стокоприемник.

С помощью микролотков можно изучать влияние длины склона на проявление эрозии. Для этого лотки по ступенчатой схеме устанавливают на различном расстоянии от водораздела, например на расстоянии 50, 100, 150, 200 м. В каждом створе размещают по 3-5 лотков. Чем их больше, тем более точны средние результаты.

Микролотки используются также для изучения влияния крутизны или экспозиции склонов. Такие лотки наиболее целесообразно применять на склонах с естественной растительностью и при незначительном объеме стока. Не-

достатком этого метода является ограниченный объем стока приемника, что не позволяет изучать эрозию в условиях большого стока.

Д.Я. Михайлов предлагает учитывать смыв почвы при поливах и на основании этого учета вычислять показатель ирригационной эрозии. Учет смыва при поливах проводится устройством приемника в конце поливных борозд или полос для сбрасывания поливных вод и последующего учета: количества поливной воды, содержания взвешенных частиц почвы, выносимых поливной водой с орошаемого участка за один полив.

Зная объемный вес почвы и вес вымытого материала, можно рассчитать мощность смытого слоя по формуле:

$$h = (b \cdot n) : L \cdot 100,$$

где  $h$  – мощность вымытого слоя за все поливы, см;

$L$  – объемный вес (удельный вес скелета почвы), г/см<sup>3</sup>;

$b$  – вес смытого материала за один полив, т/га;

$n$  – число поливов.

Отношение мощности смытого слоя ( $h$ ) к мощности эродируемого горизонта ( $E$ ) дает показатель эродированности (п.э.):

$$\text{п.э.} = h : E$$

### 3. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Моделирование эрозии ставит своей целью с помощью активного эксперимента ускорить изучение эрозии, выявить закономерности процесса, исследовать противозерозионную устойчивость почв, влияние слоя и интенсивности осадков, физического состояния почв и других отдельных факторов на проявление эрозии. Моделирование эрозионных процессов можно проводить в полевых условиях с помощью дождевальных агрегатов, а также в лабораторных условиях на дождевальных установках, гидрологических лотках и другими методами.

Физическое моделирование применяют с целью изучения в лабораторных условиях частично или полностью не изученных физических процессов. М.С. Кузнецов и Г.П. Глазунов (1996) указывают на преимущества и недостатки этих методов. Преимуществом методов физического моделирования является возможность углубленного изучения механизма процессов и роли отдельных факторов эрозии и дефляции почв. К недостаткам этих методов относится трудность перенесения результатов лабораторных опытов на натуру, которая может быть преодолена путем достижения максимально возможного подобия процессов в натуре и модели. Такое подобие достигается при соблюдении требований геометрического, кинематического и динамического подобия.

#### 3.1. Метод моделирования дождей и склонового стока.

Изучение эрозии, вызываемой дождями, а также изучение эффективности различных противозерозионных мероприятий проводится методом моделирования дождей и склонового стока с помощью различных установок с площадью полива от 0,25 до 1000-1500 м<sup>2</sup>.

При искусственном дождевании в принципе возможно имитировать дождь любой структуры с большим диапазоном как слоя, так и интенсивности выпадения осадков. Основное требование к дождевальным установкам заклю-

чается в обеспечении параметров искусственного дождя, соответствующих реальным ливням. При дождевании дождей используют серийные дождевальные машины или элементы их конструкции, а также специальные исследовательские установки. Моделирование дождей часто производят на стоковых площадках. Однако в большинстве случаев воспроизвести естественный дождь по всем его характеристикам (распределение капель по размерам, скорость их падения, интенсивность дождя, слой осадков, равномерность их распределения по площади) оказывается невозможным. В связи с этим моделирование обычно проводят по удельной мощности дождя ( $N$ , Вт/м<sup>2</sup>), рассчитываемой по формуле:

$$N = 0,0083 \cdot r \cdot V_k^2,$$

где  $r$  – интенсивность дождя, мм/мин;

$V_k$  – скорость падения капли, м/с.

В Методических указаниях по моделированию эрозионных процессов (1980) все дождеватели в зависимости от принципа получения дождя делятся на капельные и насадковые. В капельных дождевателях для образования капель используются сита с отверстиями, нити (фитили), выпускаемые из отверстия в дне сосуда с водой, иглы, вставляемые в отверстия в дне сосудов; капиллярные трубки. Среди насадковых дождевателей выделяются струйные, рефлекторные и центробежные. Они позволяют получать искусственный дождь высокой интенсивности, характеризующийся широким спектром размеров капель. Однако этот спектр отличается от природного. Капельные дождеватели обеспечивают равномерный однородный крупнокапельный дождь. Для уменьшения диаметра капель используется дополнительное дробление крупных капель (струй), полученных с помощью указанных установок, на специальной сетке, натягиваемой на высоте 0,5 м над поверхностью почвы. Это позволяет получить необходимую интенсивность при малом количестве каплеобразователей.

Дождь, создаваемый насадковыми дождевателями, характеризуется широким спектральным составом капель и высокой интенсивностью. Недос-

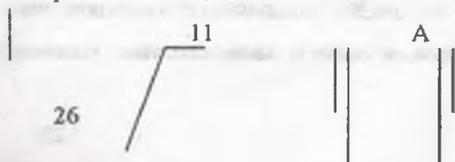
татов установок этого типа – неравномерность распределения по площади и несоответствие спектрального состава интенсивности дождя. Кроме того, скорость падения капель меньше скорости падения капель естественного дождя. Для снижения интенсивности дождевание делают прерывистым.

Наибольшее распространение в последнее время при проведении экспериментальных исследований по изучению эрозии в лабораторных условиях и на малых полевых площадках получили струйные насадки. Требуемый спектральный состав капель и высокая равномерность обеспечиваются чередованием групп насадок разного типа (например, струйные и дефлекторные) и диаметра, а также гидропульсацией или вибрацией в одной или двух плоскостях.

На больших стоковых площадках для создания искусственного дождя используют в основном насадки дефлекторного типа, которые при достаточно большом радиусе действия обеспечивают дождь высокой интенсивности при высокой равномерности распределения его по площади. Использование дополнительных стояков к насадкам позволяет увеличить высоту падения капель и улучшить тем самым энергетические характеристики дождя, а более частое расположение насадок – повысить равномерность распределения.

### 3.2. Метод моделирования с применением эрозионного лотка.

Для моделирования эрозионных процессов применяют эрозионные лотки. Средний эрозионный лоток (рис. 3), описанный М.С. Кузнецовым и Г.П. Глазуновым (1996), представляет собой устройство с замкнутым циклом водопотребления, предназначенное для определения величины смыва с поверхности почвенного образца при разных значениях характеристик водного потока. Устройство состоит из собственно лотка (1), имеющего в поперечном сечении форму прямоугольника, системы подачи в лоток чистой воды, системы отвода и очистки от примесей отработанной воды и вспомогательных



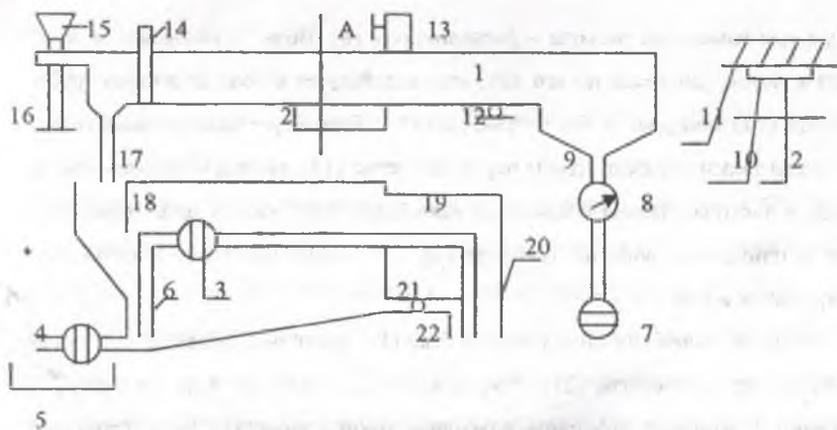


Рис. 3. Схема среднего эрозионного лотка (Кузнецов, Григорьев, 1996)

устройство для регулирования и измерения параметров водного потока в лотке и извлечения и учета смывтой с поверхности образца почвы.

Исследуемый образец почвы помещают в камеру (2) таким образом, чтобы его поверхность первоначально находилась в одной плоскости с дном лотка (11). Если образец имеет нарушенное сложение, то ванночку с ним опускают в камеру сверху вниз; если образец имеет ненарушенное сложение, то кассету с ним (10) задвигают в камеру (2) снизу вверх с помощью винтов. Затем, с помощью винтов, встроенных в дно приемной камеры (2), выдвигают монолит из кассеты так, чтобы его поверхность была выше плоскости дна лотка на величину примерно равную  $0,7d$ , где  $d$  – средний размер отрываемых потоком отдельных частей почвы. Плоскость поверхности образца должна оставаться параллельной плоскости дна лотка. Дно лотка может вращаться в вертикальной плоскости вокруг оси (12). Поскольку размер отрываемых потоком частиц почвы обычно неизвестен, превышение выбирают равным примерно 1-1,5 мм.

Вода в лоток подается из питающего бака с помощью насоса через трубопровод и успокоитель (9). Для изменения расхода воды пользуются краном

(7), а для измерения расхода – расходомером (8). Вода из успокоителя попадает в лоток, движется по его дну, взаимодействует с почвой и через трубопровод (17) попадает в бак-отстойник (18). Параметры бака-отстойника подобраны таким образом, чтобы через отверстие (19) из бака сливалась чистая вода, а частички почвы оседали на наклонную поверхность дна. Отработанная и очищенная вода по трубопроводу (20) снова поступает в питающий бак, а затем и в лоток.

После окончания опыта воде в баке (18) дают отстояться, а затем сливают её через отверстие (21), открыв кран (22). Остатки воды из бака (18) сливают с помощью сифонного водослива, открыв кран (3). Почву, смытую с поверхности образца и осевшую на дне бака-отстойника, смывают водой из шланга через отверстие (4) в ванночку (5), а из неё, с помощью промывалки, переносят в алюминиевый стаканчик.

Опыты ведут при постоянной глубине потока в рабочей части лотка, равной, примерно, 20 мм. Расход воды в лотке может изменяться от 0 до 5 л/с. Изменения глубины потока при заданном расходе добиваются путем изменения наклона лотка, достигаемого вращением штурвала (15) винтовой опоры лотка (16), а также открытием шторки (14). Шероховатость поверхности образца и глубину водного потока измеряют с помощью мерной иглы (13), имеющей три степени свободы. Эти величины необходимы для определения средней и донной скоростей водного потока.

Общее требование к эрозионным гидравлическим лоткам состоит в том, чтобы входная часть лотка была бы в 8-10 раз больше его ширины и в 40 раз больше глубины потока. Эти условия обеспечивают не изменяющийся во времени режим течения воды в лотке. Моделирование в лотке ведется в масштабе 1:1, поэтому коэффициент пересчета получаемой в результате моделирования размывающей скорости на натуральные условия равен 1.

Скорость потока в лотке вычисляют по формуле:

$$V = Q : w,$$

где  $V$  – скорость воды, м/с;

$Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$w$  – живое сечение потока глубиной 20 мм, равное  $0,02 \cdot 0,15 = 0,003 \text{ м}^2$ ,  
где 0,15 – ширина лотка.

Для определения величины  $Q$  при данном положении крана (7) измеряют время ( $T$ ) полного оборота стрелки расходомера (8) и рассчитывают расход по формуле:  $Q = 1/T$ , м<sup>3</sup>/с, т.к. полный оборот стрелки расходомера соответствует расходу в 1 м<sup>3</sup>. Результат измерений при разных значениях угла поворота маховика крана (7) заносят в таблицу, производят необходимые вычисления и получают значения скорости потока в лотке, соответствующие заданным величинам угла поворота маховика крана (7). Таким образом проводят тарирование лотка.

Уровень поверхности помещенного в камеру (2) почвенного образца измеряют мерной иглой (13) два раза: до опыта и после опыта, каждый раз в девяти точках. По результатам девяти измерений рассчитывают среднюю величину, которая служит основой для установления с помощью мерной иглы (13), крана (7), штorkи (14) и штурвала (15) требуемой скорости потока в каждом опыте.

После измерения уровня поверхности почвы мерную иглу устанавливают над серединой почвенного образца так, чтобы конец её был расположен на высоте 2 см от среднего уровня поверхности образца, полученного путем осреднения результатов замеров в девяти точках.

После этого включают мотор насоса, медленно открывают кран (7) и внимательно наблюдают за успокоителем (9). Как только в успокоителе появится вода, плавно прикрывают кран (7), снизив расход воды. Необходимо добиться медленного смачивания почвенного образца водой, поступающей по дну лотка из успокоителя. При быстром напуске воды образуется волна, которая может снести значительное количество почвы с образца и, тем самым, исказить результаты опыта. По мере заполнения лотка водой открыва-

ют кран (7) до заданной величины расхода, обеспечивающей требуемую в опыте скорость потока, и начинают с помощью шторки (14) и штурвала (15) снижать уровень в лотке, добиваясь глубины потока в 2 см. Эта глубина достигается тогда, когда зеркало воды сравняется с концом мерной иглы, которая заранее устанавливается на требуемую высоту. Этот момент считается началом опыта. В этот момент необходимо включить секундомер и снять отсчет с расходомера (8). После этого измеряют уровень воды в лотке над почвенным образцом аналогично измерению уровня почвы до начала опыта. Второе измерение уровня воды производят в конце опыта перед выключением мотора насоса. Все данные заносят в таблицу. После выключения мотора насоса сразу же закрывают кран (7).

После окончания опыта дают воде в баке (18) отстояться и только после этого открывают кран (22) и сливают через него часть воды. Остатки воды вместе с почвой, снесенной с образца и осевшей в баке, с помощью шланга с водой смывают в чистую ванночку (5) через отверстие (4). Из ванночки осадок с помощью промывалки переносят в фарфоровую чашку, а из неё в алюминиевый стаканчик. После отстаивания суспензии излишек прозрачной воды из стаканчика сливают, а остаток выпаривают на песчаной бане, после чего доводят стаканчик до постоянного веса и взвешивают. Результаты измерений заносят в таблицу. Имея площадь образца, продолжительность и количество смывной за время опыта почвы, рассчитывают интенсивность смыва почвы. Описанный эксперимент повторяют несколько раз с разными скоростями потока в лотке.

Анализ зависимости интенсивности смыва почвы от скорости потока в лотке проводят с помощью построения графика.

#### 4. ХАРАКТЕРИСТИКА СМЫТОСТИ ПОЧВ.

Почвы разной степени смывности отличаются химическим составом и физико-химическими свойствами, физическим состоянием, водно-

воздушным и тепловым режимом, количеством и составом мезофауны и микрофлоры, что обуславливает различный уровень их плодородия. Поэтому при решении многих вопросов рационального использования земель, защиты почв от эрозии, восстановления плодородия смытых почв должна учитываться степень смытости почв.

Разработка системы мероприятий, направленных на борьбу с эрозией, невозможна без крупномасштабных почвенно-эрозионных карт, отражающих состояние почвы, подвергшейся эрозии. Очень сложным вопросом методики почвенно-эрозионного картографирования является выбор эталона для установления степени смытости (эродированности) почв.

#### 4.1. Эталон для оценки степени смытости почв.

Идеальным вариантом эталона для оценки степени смытости почв является островок совершенно несмытой почвы на склоне со смытым почвенным покровом. Но такой случай встречается очень редко, такой эталон подобрать практически невозможно.

Некоторые исследователи предлагают использовать в качестве эталона почвы пологих водоразделов. Сторонники этой точки зрения приводят многочисленные примеры, показывающие, что несмытые почвы на склонах имеют такую же морфологию, как и почвы на водоразделах. Исследования Г.П. Сурмача, Л.А. Моряковой и З.В. Пацукевича, З.П. Кирюхина, Г.А. Ларионова и Л.С. Самодуровой показали, что мощность горизонтов на целинных участках на плоских водоразделах и склонах крутизной до 10° (вариативность составляет 5-12%) практически одинакова. Поэтому авторы считают возможным использовать почвы на водоразделах как эталоны для оценки смытости почв на склонах.

Другие исследователи (Лидов, Дидушенко, Преснякова) указывают на невозможность использования равнинных эталонов для установления степе-

ни смытости из-за того, что даже при отсутствии эрозионных процессов почвенный профиль склонов отличается от почвенного профиля водоразделов.

М.Н. Заславский предложил использовать почвы равнинных водораздельных участков в качестве условного эталона при определении степеней смытости склоновых почв. Такой эталон показывает степень изменения плодородия смытых почв склонов по сравнению с несмытыми почвами водораздельных участков. Однако далеко не всегда почвы водоразделов могут служить даже как условные эталоны. Во-первых, нередко водоразделы склонов сложены другими почвообразующими породами. Во-вторых, в горных районах на водоразделах из-за различия многих факторов почвообразования, почвы имеют другой генетический тип, чем на склонах. В-третьих, часто водоразделы имеют гребневидную или куполообразную островершинную форму и почвенный покров на них бывает значительно эродирован.

Для подбора эталона несмытой почвы её генетический тип и подтип должны быть такими же, как и на участке, для которого устанавливается степень смытости почв.

Некоторые исследователи считают, что эталоном следует брать участок под лесом и его сравнивать с эродированной пашней, с чем трудно согласиться. Во-первых, после того как участок вышел из-под леса, изменились условия почвообразования, что, несомненно, отразилось на почвах; во-вторых, на содержание гумуса и других элементов плодородия большое влияние оказывает длительность распашки, степень выпаханности почв. Поэтому, эталонный участок, как указывал М.Н. Заславский, должен находиться под таким же угодьем, как и участок, для которого устанавливается степень смытости почв.

В настоящее время почвоведы собрали огромный материал, характеризующий морфологическое строение, гранулометрический и химический состав всех генетических типов и подтипов почв. На основе статистического анализа этого материала можно выявить эталоны несмытых почв для всех ге-

нетических типов и подтипов, в том числе и для сельскохозяйственных угодий, и составлены таблицы количественных выражений тех диагностических признаков, по которым предполагается устанавливать степень смытости почв, например мощность генетических горизонтов, содержание гумуса в слоях 0-30 или 0-50 см и т.д. По таким эталонным таблицам можно устанавливать степень смытости почв на любом участке без того, чтобы каждый раз подбирать для него эталонный разрез. Такие эталонные таблицы составлены для многих регионов страны.

#### 4.2. Диагностические признаки для выделения эродированных почв.

На современном этапе существует три группы классификаций почв по степени смытости. К первой группе относятся классификации, где основным диагностическим признаком смытости почв является доля потерянного в результате смыва гумусового горизонта, другие признаки (цвет пахотного горизонта, вовлечение в него того или иного нижележащего горизонта, наличие на поверхности почвы русел временных потоков и др.) являются вспомогательными. К этой группе принадлежат классификации С.С. Соболева, Г.П. Сурмача.

Ко второй группе относятся классификации, в основе которых лежит уменьшение запасов гумуса в почве. Это классификации М.Н. Заславского и других авторов.

В третью группу включены классификации коллектива авторов, опубликованные в «Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования» (Носин, Федорин, Фрисв, 1973) и позднее в работе «Классификация и диагностика почв СССР» (Егоров, Фридланд, Иванова и др., 1974), в которых используются оба диагностических признака.

Согласно классификации С.С. Соболева эродированные почвы делят на слабосмытые, среднесмытые, сильносмытые и очень сильно смытые.

Слабосмытые почвы – почвы, у которых смыто не более 1/2 горизонта  $A_1$ . Распахивается нижняя часть горизонта  $A_1$ . По цвету пахотного слоя почва не отличается от несмытой. В случае дерново-подзолистых почв подпахивается горизонт  $A_2$ , в связи с чем пашня приобретает белёсый оттенок.

Среднесмытые почвы – почвы, у которых смыт частично (более половины) или полностью горизонт  $A_1$ ; припахивается или распахивается горизонт  $B_1$ . Поверхность пашни имеет буроватый оттенок. Дерново-подзолистая и светло-серая лесная почвы считаются среднесмытыми, если они частично или полностью утратили горизонт  $A_2$ .

Сильносмытые почвы – почвы, у которых смыт горизонт  $B_1$ , распахивается горизонт  $B_2$ . Пашня имеет бурый цвет.

Очень сильно смытые почвы – почвы, у которых смыт полностью горизонт  $B$ , распахивается материнская порода (горизонт  $C$ ). Пахотный слой бурого цвета характеризуется глыбистой структурой.

При использовании классификации С.С. Соболева возникает проблемы различий между смытыми и несмытыми маломощными почвами. В этом случае необходимо анализировать набор и соотношение мощностей сохранившихся ниже горизонтов почвы. В отличие от смытой почвы маломощная несмытая почва имеет весь набор генетических горизонтов небольшой мощности. Кроме того, в каменистых почвах количество камней в пахотном слое увеличивается с увеличением степени смытости почвы.

Несмытые почвы классифицируют по мощности наносов:

- слабонамытые – до 20 см;
- средненамытые – от 20 до 40 см;
- сильнонамытые – более 40 см.

При глубокой (до 30-35 см) обработке средне- и маломощных почв, когда в пахотный слой включается не только гумусированный горизонт  $A_1$ , но и нижележащий, и граница между ними уже не может служить ориентиром при

выделении почв по степени смытости, целесообразно использовать классификацию Г.П. Сурмача, которая основана на потере суммарной мощности гумусовых горизонтов  $A_1$  и  $B_1$  (или  $A_1$ ,  $A_2$  и  $B_1$ ). Автор выделил пять категорий почв по степени смытости:

–слабосмытые – смытость гумусовых горизонтов до 25%;

–среднесмытые – от 25 до 50%;

–сильносмытые – от 50 до 75%;

–весьма сильно смытые – от 75 до 100%;

–чрезмерно (или полностью) смытые – смыт частично или полностью переходный горизонт  $B_2$ , распаивается нижняя часть  $B_2$  или горизонт  $B_3$  материнской породы.

Рассмотренные классификации С.С. Соболева и Г.П. Сурмача позволяют определить степень смытости в поле при почвенно-эрозионном картографировании. Иногда используют дополнительные признаки смытых почв. Например, вскипание с поверхности. Если каштановая почва вскипает с поверхности, её можно отнести к категории среднесмытых почв; в случае с черноземом обыкновенным его относят к сильносмытым или даже очень сильносмытым почвам. Для сероземов хорошим диагностическим признаком смытости может быть глубина залегания гипса.

Наряду с достоинствами эти классификации имеют и недостатки. Так, например, по цвету нельзя выделять слабосмытые почвы (кроме дерново-подзолистых), не все почвы с увеличением степени смытости приобретают бурую окраску (например, сероземы с увеличением эродированности приобретают всё более светлую окраску).

В качестве альтернативы были предложены классификации, основанные на количественной оценке запасов гумуса в верхнем 25-см слое и во всем почвенном профиле (Наумов, 1955) и в слое 0-30 см для почв с маломощным гумусовым горизонтом и в слое 0-50 см для серых лесных почв и черноземов

(табл. 3) Недостаток этих классификаций заключается в невозможности применять их в полевых условиях

Таблица 3.

Классификация почв по степени смытости

(Заславский, 1972)

Категория почв по степени смытости	Потеря гумуса (относительно несмытой почвы), %
Слабосмытые	10-20
Среднесмытые	20-50
Сильносмытые	50-70
Очень сильно смытые	Больше 70

Классификация почв по степени смытости, отнесенная к третьей группе (табл. 4), является компиляцией классификаций, предложенных ранее. Для пахотных почв они практически полностью повторяют классификацию С.С. Соболева, а для пахотных почв включают помимо неё элементы классификаций Г.П. Сурмача и М.Н. Заславского.

Для дерново-подзолистых и серых лесных почв в рассматриваемую классификацию введен новый диагностический признак – вовлеченность в пахотный слой горизонта A2B1. Недостатком этой классификации, по мнению М.С. Кузнецова и Г.П. Глазунова (1996), является отсутствие четкого указания на то, что следует понимать под термином «гумусовый горизонт» в разных почвах. Не ясно, к какой категории эродированности относятся мощные и среднемощные черноземы, потерявшие от одной трети до половины гумусо-аккумулятивного горизонта А.

Таблица 4.

Классификация почв по степени эродированности

Таблица 4.

Классификация почв по степени эродированности  
(Носин, Федорин, Фриев, 1973)

Почвы	Слабосмытые	Среднесмытые	Сильносмытые
1	2	3	4
Дерново-подзолистые и серые лесные почвы с глубиной вспашки не менее 18-20 см.	Затронута вспашкой верхняя часть горизонта $A_2B_1$ , пахотный слой заметно осветлен и имеет буроватый оттенок. Запас гумуса в верхнем (30 см) слое обычно на 20-25% ниже, чем в несмытой.	Распаханы целиком или частично горизонты $A_2B_1$ , $B_1$ и $B_2$ . Морфологические признаки признаки подзолистых почв почти исчезают. Цвет пашни бурый и сильно пятнистый.	Распахана средняя или нижняя часть горизонта $B_2$ . Генетические признаки первоначальной почвы отсутствуют.
Серые и темносерые лесные почвы с установившейся глубиной вспашки не менее 20-22 см при первоначальной мощности гумусовых горизонтов 30-40 см.	Гумусовые горизонты смыты не более, чем на одну треть первоначальной мощности. Горизонт $A_2B_1$ в пашню не вовлекается совсем или едва захватывается по верхней границе.	Гумусовый горизонт смыт более, чем на одну треть. В пашню вовлекается верхняя часть горизонта $A_2B_1$ . Пахотный слой отличается буроватым оттенком.	Гумусовый горизонт смыт полностью. Пахотный слой образован в основном из горизонта $B$ и имеет бурый цвет. Определение подтипа исходной почвы (серая или темносерая) практически невозможно.
Мощные и среднечерноземы всех подтипов с установившейся глубиной вспашки не менее 22 см при первоначальной мощности гумусовых горизонтов более 50 см.	Смыто до одной трети горизонта $A$ , пахотный слой не отличается по цвету от несмытых участков пашни. Мощность подпахотного гумусового слоя уменьшена до 25%, запас гумуса в нем на 10% меньше по сравнению с незэродированной пашней.	Смыт более чем наполовину горизонт $A$ . Пахотный слой отличается незначительным буроватым оттенком. Отмечается сокращение подпахотного слоя и запасов гумуса в нем до 50% по сравнению с незэродированной почвой.	Смыт полностью горизонт $A$ и частично горизонт $B_2$ . Пахотный слой отличается буроватым цветом, сильно выраженной глыбистостью и склонностью образовывать корку. Мощность подпахотного гумусового слоя и запасы гумуса в нем сокращаются до 75% по сравнению с несмытой почвой.

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
<p>Типичные, обыкновенные и южные черноземы, каштановые и коричневые почвы с установившейся глубиной вспашки не менее 20 см при мощности гумусовых горизонтов до 50 см.</p>	<p>Смыто до одной трети гумусовых горизонтов А и В<sub>1</sub>. В пашню вовлекается небольшая, самая верхняя темноокрашенная часть горизонта В<sub>1</sub>.</p>	<p>Смыто от одной трети до половины горизонтов А и В<sub>1</sub>. При вспашке значительная часть горизонта В<sub>1</sub> вовлекается в пахотный слой, подстилаемый слабогумусированным и языковатым горизонтом В<sub>2</sub>.</p>	<p>Смыта большая часть гумусовых горизонтов. Пашня имеет окраску, близкую к цвету почвообразующей породы, под пахотным слоем находятся нижние горизонты почвенного профиля.</p>
<p>Сероземы с глубиной вспашки более 25 см и горизонтом А мощностью до 40 см.</p>	<p>Смыто не более половины горизонта А.</p>	<p>Смыт более, чем наполовину или полностью горизонт А. Распахивается горизонт В.</p>	<p>Смыт частично или полностью горизонт В. Распахивается нижняя часть горизонта В или верхняя часть горизонта С.</p>

## Литература.

1. Арманд Д.Л. Физико-географические основы проектирования сети полевых защитных лесных полос. – М., 1962, 367 с.
2. Владыченский С.А. Сельскохозяйственная мелиорация почв. – М.: Изд-во МГУ, 1972.– 398 с.
3. Заславский М.Н. Эрозия почв. – М.: Мысль, 1979.– 245 с.
4. Заславский М.Н. Эрозиоведение. Основы противозерозионного земледелия. – М., 1987.– 376 с.
5. Захаров П.С. Эрозия почв и меры борьбы с ней. – М.: Колос, 1971.– 191 с.
6. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П., Григорьев В.Я. Методы изучения эрозионных процессов. – М.: Изд-во МГУ, 1986.– 104 с.
7. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв.– М.: Изд-во МГУ, 1996.– 335 с.
8. 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. Пассивный эксперимент в природе.	4
1.1. Методы учета эрозии по объему водоросей.	4
1.2. Методы измерения уровня почвенной поверхности.	8
1.3. Изучение интенсивности роста оврагов.	10
1.4. Оценка интенсивности эрозии по заилению прудов и модулю стока наносов.	11
1.5. Измерение потоков твердой фазы в процессе эрозии.	13
1.6. Изучение эрозии по морфометрическим картам.	16
2. Активный эксперимент в природе.	19
2.1. Метод стоковых площадок.	19
2.2. Метод микролотков.	22
3. Физическое моделирование.	24
3.1. Метод моделирования дождей и склонового стока.	24
3.2. Метод моделирования с применением эрозионного лотка.	26
4. Характеристика смытости почв.	31
4.1. Эталон для оценки степени смытости почв.	31
4.2. Диагностические признаки для выделения эродированных почв.	33
Литература.	39

