

Лекция 1. Понятие об эрозии почв, эрозиоведение, распространение эрозии почв

Вопрос 1. Определение понятия «эрозия» и задачи эрозиоведения.

Слово «эрозия» происходит от латинского «erosio» – разъедание. Понятие «эрозия» многозначно и используется в почвоведении, геологии, медицине, технике и т.д. Под *эрозией почвы* понимают совокупность взаимосвязанных процессов отрыва, переноса и отложения почвы (иногда материнской или подстилающей пород) поверхностным стоком временных водных потоков (водная эрозия) или ветром (ветровая эрозия). Ветровую эрозию часто называют дефляцией почвы. Слово «дефляция» происходит от французского «de» – прочь и латинского «flare» – дуть.

Кроме эрозии почв существуют другие формы их деструкции: дефляция, суффозия, карст, солифлюкция, техногенное разрушение и др.

Дефляция – это разрушение почвы и перенос мелкозема ветром. Необходимое условие проявления дефляции – наличие ветра со скоростью, достаточной для переноса почвенных частиц. Максимальное проявление дефляции наблюдается во время ураганных ветров, когда в воздух поднимается большая масса пылеватых частиц. Дефляция – это второе по величине после эрозии негативное воздействие на почвенный покров, приводящее к уничтожению плодородных почв на огромных территориях. Дефляция часто сопровождает эрозию. В связи с этим дефлекцию обычно изучают как один из видов эрозии.

Суффозия – разрушение почвенного покрова в результате просадок, возникающих в процессе растворения и выноса из почвы и подстилающей породы гипса и карбонатов. Вследствие локальности просадок при суффозии на поверхности почвы образуются микропонижения глубиной от 10-20 до 100 см.

Карст – разрушение почвенного покрова в результате просадок, возникающих при выщелачивании подстилающих почву известняков с образованием в них пустот. Карстование известняков приводит к образованию на поверхности почв карстовых воронок глубиной до 1-5 м, что сопровождается разрушением почвенного покрова.

Солифлюкция – сползание переувлажненного слоя почв по мерзлому слою, служащему водоупором. Этот вид деструкции свойственен в наибольшей степени почвам тундры, лесотундры

исеверной тайги и наблюдается в период оттаивания почвы. В этот момент поступающие на склоны более повышенных участков талые воды про-

сачиваются через оттаявшую часть почвы и задерживаются на мерзлом слое, являющемся водоупором. На контакте с мерзлым слоем почва перенасыщается водой, переходит в тестообразное состояние и, как по смазке, начинает по этому слою сползать по склону. Вследствие солифлюкции на почвах, покрывающих склоны долин и разного рода увалов, образуются разрывы дернины и наплывы. Такие почвы часто приобретают вид слоеного пирога.

Оползни – скользящее смещение почвы и подпочвенной толщи горных пород на склонах по водоупорному горизонту, представленному более плотными породами. Чаще всего оползни возникают в период появления верховодки.

Обвалы – отрыв и опрокидывание почвы вместе с массой горной породы с крутых склонов под влиянием силы тяжести.

Селевая деструкция – разрушение почвы селем – кратковременным грязевым потоком, возникающим на склонах гор и горных долин.

Абразия – разрушение энергией волн берегов морей, озер и водохранилищ.

Речная боковая деструкция – процесс подмыва берегов рек. *Техногенная деструкция* – разрушение и смещение гумусового горизонта почв сельскохозяйственной обрабатывающей техникой. Она чаще всего наблюдается в районах развития микрорельефа. В этом случае с микроповышений высотой 0,3-0,5 м и диаметром 10-20 м во время пахоты и боронования тракторные прицепные орудия стаскивают гумусированную часть почвы в микропонижения. К техногенной деструкции почв и грунтов относятся также все виды разрушения почв и подпочвенной толщи, обусловленные строительными работами, добычей полезных ископаемых открытым способом и др.

Наибольший ущерб сельскому хозяйству наносят эрозия, дефляция и техногенная деструкция. Остальные формы деструкции почвенного покрова носят локальный характер. Они развиваются на крутых склонах, в районах, сложенных засоленными или карбонатными породами, на горнодобывающих промышленных объектах, имеющих малое значение для сельского хозяйства.

По темпам развития эрозия бывает естественной и ускоренной. Естественная – протекает без вмешательства человека, ускоренная – под влиянием нерационального использования почв человеком. Как правило, при ускоренной эрозии темпы разрушения почвы превосходят темпы естественного её формирования.

Геологическая (нормальная) эрозия протекает в естественных условиях в результате процессов выветривания и денудации. При этом почвенный профиль восстанавливается в ходе почвообразования.

Антропогенная эрозия связана с деятельностью человека. Ее называют также *ускоренной*, в связи с повышенной интенсивностью, приводящей к частичному нарушению или полному уничтожению почвенного профиля.

Количественная характеристика процесса эрозии выражается интенсивностью смыва (сдувания) в т/га в год либо мощностью утраченного слоя почвы в мм/год. Если интенсивность эрозии меньше скорости почвообразования, ее считают нормальной, если больше – ускоренной. Скорость почвообразования определяют делением мощности гумусового горизонта на время его образования (по радиоуглеродному датированию).

Для различных почв эта величина с известной долей условности составляет от 0,1–0,2 мм/год для подзолистых почв, до 0,4– 0,45 мм/год для более плодородных почв с мощным гумусовым горизонтом (черноземы). Для антропогенного почвообразовательного процесса подобных данных нет. Поэтому вопрос о величинах допустимых потерь почвы при проектировании противоэрозионных мероприятий не имеет четко обоснованного решения с этих позиций. Наиболее признаны в данном отношении нормативы, разработанные Г. П. Сурмачем (1992): 0,5–2 т/га в год (0,05– 0,2 мм/год) в зависимости от типа почвы, степени смытости и плотности.

Необходимым условием возникновения водной эрозии почвы является сток поверхностных вод или поверхностный сток. Различают три основных вида поверхностного стока: сток талых вод, сток дождевых вод (дождевой сток), сток поливной воды. Им соответствуют три вида эрозии почв:

1. Эрозия при снеготаянии;
2. Ливневая эрозия;
3. Ирригационная эрозия (при орошении).

По морфологическим признакам эрозионных форм различают: 1) поверхностную эрозию, или смыв почвы; 2) линейную эрозию, или размыв почвы.

Противоэрозионные мероприятия, противоэрозионная стойкость – водная эрозия, противодефляционные мероприятия, потиводефляционная стойкость – ветровая.

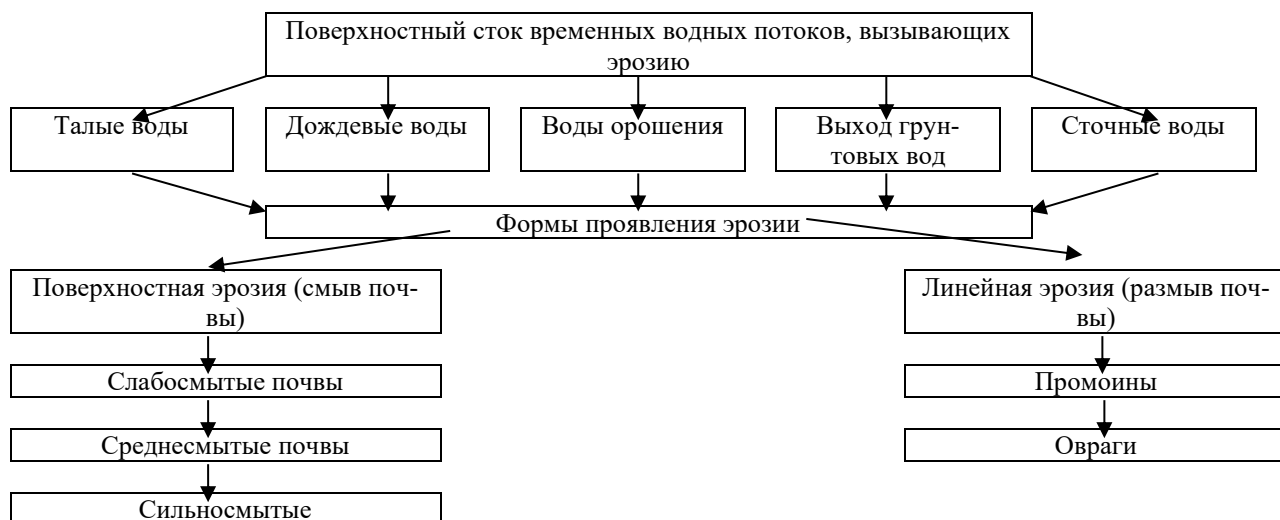
Проблема охраны почвы от эрозии в настоящий период весьма актуальна в связи с все возрастающей потребностью в продукции растениеводства и животноводства, для производства которой требуется сохранение и повышение плодородия не только на равнинных территориях, но и склонах, так как на них расположено около половины пашни.

В задачи эрозиоведения входит:

1. Изучение механизмов и причин распространения эрозионных процессов и слагаемых ущерба;

2. Проектирование оптимальных почвозащитных комплексов, способствующих стабилизации разрушительного действия эрозии и восстановлению утраченного плодородия почвы.

Всю классификацию водной эрозии можно представить в виде следующей схемы:



Вопрос 2. Распространение эрозии почв в мире и на территории Республики Беларусь. Вред, причиняемый эрозией.

Сильное разрушение земель в результате эрозионных процессов наблюдается в Канаде, Индии, Китае, Австралии, большинстве стран Африки, Европы и Азии. В США в настоящее время полностью разрушено или серьезно повреждено около 115 млн. га пахотной земли, а 313 млн. га в различной степени подвержено эрозии. В целом за последние 200 лет по подсчетам ученых эрозия уничтожила около 2 млрд. га пашни – это больше чем сейчас обрабатывается земель на планете (около 1,5 млрд. га). В мире эрозия уносит от 25 до 40 млрд. тонн верхнего слоя почвы ежегодно, что значительно снижает урожайность сельхозкультур. Ежегодные потери производства зерновых культур из-за эрозии составляют до 8 млн. тонн. Без принятия мер по снижению эрозии к 2050 году потери зерна могут составлять более 253 млн. тонн.

Проблема эрозии почв актуальна для Беларуси, так как особенности рельефа, геоморфологии, характер почвообразующих пород и интенсивная антропогенная нагрузка на почвенный покров обусловили значительное ее развитие. Эродированные почвы на пашне занимают в республике 480 тыс. га (9,4 % от общей площади). Кроме этого, 2108 тыс. га или 41,2 % пахотных земель относятся к эрозионоопасным землям, которые при неправильном использовании могут быть подвержены эрозии. При этом в ряде районов

вполне отчетливо прослеживается тенденция расширения ареалов действия эрозионных процессов.

На территории Беларуси А.Г. Медведев и В.В. Жидко выделили по степени эродированности следующие почвенно-эрозионные районы.

- 1. Район водной линейной и сильной плоскостной эрозии. Охватывает большую часть Минской, Новогрудской, Оршанской, Мозырской возвышенностей и Оршанско-Могилёвского плато. Занимает 6,1 % территории. Для района характерны длинные склоны с дерново-подзолистыми пылевато-суглинистыми почвами на лёссах и лёссовидных суглинках, большое количество дождей летом и много талых вод весной.
- 2. Район сильной плоскостной эрозии — расчлененный рельеф Невельско-Городокской, Витебской и Латгальской возвышенностей Белорусского Поозерья и Свенцянской гряды. Для него характерны короткие склоны, волнистый рельеф, пестрый гранулометрический состав, небольшой снежный покров при обилии осадков. Он занимает 6,7 % территории Беларуси.
- 3. Район средней плоскостной и слабой линейной эрозии. Охватывает сглаженные слабохолмистые и волнистые части Ошмянской, северную часть Минской, Гродненской, Волковысской возвышенностей, Копыльскую гряду и часть Оршанско-Могилёвского плато. Занимает 17 % территории.
- 4. Район средней плоскостной эрозии. Занимает 5,6 % площади Беларуси с менее расчлененным рельефом в полосе Мядель – Докшицы – Глубокое – Ушачи – Чашники – Шумилино – Сенно. Для него характерен холмистый рельеф с короткими склонами, супесчаными и суглинистыми почвами.
- 5. Район слабой водной эрозии. Охватывает 28,8% территории и занимает волнистые равнины с суглинистыми песчаными и супесчаными почвами.
- 6. Район возможного проявления ветровой эрозии. Занимает 40,8 % территории республики. Кроме того, в южных районах имеет место ветровая эрозия органогенных (торфяных) почв.

В дальнейшем эти районы были объединены в три почвенно-эрозионные зоны: северную, центральную и южную, отличающиеся преобладанием того или иного вида эрозии. Для холмисто-моренного сильно расчлененного рельефа северной зоны характерна водная плоскостная эрозия. Помимо водной, на вершинах и верхних частях коротких крутых склонов проявляется механическая эрозия – сдвиг почвы вниз по склону во время обработки. В цен-

тральной зоне, на территории Минской, Оршанской, Новогрудской возвышенностей и на Оршанско-Могилёвском плато, на длинных склонах большой крутизны, сложенных лёссовидными отложениями, кроме плоскостной, проявляется и линейная (овражная) эрозия. В южной (Полесской) зоне расположены песчано-болотные равнины, с преобладанием песчаных и торфяных почв, подверженных ветровой эрозии.

В пределах Беларуси эрозионно опасных земель более 30% общей площади. Только в зоне Полесья около 400 тыс. га пашни подвержено ветровой эрозии, ежегодно отчуждается до 13 т/га почвенно-эолового материала. За последние 30 лет вследствие ветровой эрозии и минерализации торфа при биологической эрозии исчезло 270 тыс. га торфяников, на месте которых образовались торфяно-минеральные и минеральные почвы с содержанием менее 50% органического вещества.

Наиболее опасной в эрозионном отношении является северная и центральная части республики, имеющие возвышенный и пересеченный рельеф, где распространены моренные и лёссовидные суглинки. На таких почвах, особенно на наиболее плодородных лёссах и лёссовидных суглинках, атмосферные осадки медленно проникают в глубь почвы, в основной массе стекают по поверхности, вызывая смывы и размывы.

Почвы более легкого гранулометрического состава, имеющие большую водопроницаемость, способные поглощать даже обильные осадки и переводить их во внутрипочвенный сток, менее подвержены водной эрозии. В засушливые периоды они могут подвергаться ветровой эрозии. Однако вышеперечисленные факторы являются только фоном или предпосылкой для возникновения эрозионных процессов. Непосредственной причиной возникновения последних является производственная деятельность человека, сопровождающаяся уничтожением естественной растительности и распашкой. Высокий уровень распаханности территории является одной из причин возникновения эрозии почв.

На севере Беларуси, где в основном распространены суглинистые почвы на морене с короткими склонами, развитие эрозионных процессов происходит в виде плоскостного смыва. В центральной части республики, где распространены почвы на пылеватых суглинках с более длинными склонами, развитие эрозионных процессов происходит в виде поверхностного смыва и глубинного размыва (образование оврагов). В южной части Белоруссии (Полесье), где в основном распространены почвы на мелкозернистых рыхлых песках, характеризующихся малой влагоемкостью, наблюдается развитие ветровой эрозии.

Для ландшафтов Полесья характерно наличие большого количества эоловых рыхлопесчаных гряд, островков, дюн, а также всхолмленных и слабо-приподнятых равнин. Почвы на этих элементах рельефа при уничтожении древесной и травянистой растительности в результате мелиорации, прогона и пастьбы скота в периоды с малым количеством осадков быстро просыхают и уже при скорости ветра 3–4 м/сек часто подвергаются ветровой эрозии.

Эрозионная опасность усугубляется еще и тем, что значительная часть территории Полесья представлена маломощными торфяно-болотными почвами, подстилаемыми рыхлыми песками, которые после осушения оседают, торф частично минерализуется.

Подстилаемые рыхлые пески постепенно обнажаются и развеиваются ветром. Возникновение и развитие эрозионных процессов на торфяно-болотных почвах происходит при сильном подсыхании верхнего слоя почвы и скорости ветра 7–8 м/сек. Это совпадает с весенним и весенне-летним периодом, когда почва слабо или вовсе не покрыта растительностью.

Таким образом, природные условия республики (относительно большое количество осадков, их интенсивность, неравномерное распределение по сезонам года, ветры, расчлененный рельеф), большая распаханность приводят к проявлению эрозионных процессов.

В процессе развития эрозионных процессов смываются водой и разрушаются ветром в основном верхние горизонты почв, в результате формируются почвы с иными свойствами – эродированные. В зависимости от того, какие горизонты разрушены и на каких горизонтах или почвообразующих породах образуются новые почвы, свойства их будут разными.

Эрозия наносит большой ущерб не только сельскому, но и всему народному хозяйству, а также окружающей среде:

1. Эрозия почв наносит большой урон в первую очередь земельным ресурсам – происходит снижение плодородия почв и сокращение площади обрабатываемых земель.

Проведенные исследования в Беларуси показывают, что на пахотных землях ежегодно с одного гектара водосборной площади с поверхностным стоком смывается или выносится ветром в среднем до 10-15 т твердой фазы почвы, 150-180 кг гумусовых веществ, что равнозначно 4 т/га органических удобрений, безвозвратно теряется до 10 кг азота, 4-5 кг фосфора и калия, 5-6 кг кальция и магния. Непосредственным результатом эрозии является снижение продуктивности полей. Водой и ветром разрушаются верхние горизонты почв, из-за чего происходят большие изменения в агрофизических и агрохимических свойствах. Эродированные почвы в результате потерь верхнего гумусового горизонта обедняются в первую очередь азотом и другими пита-

тельными элементами. Из-за вымывания илистых частиц почва облегчается по гранулометрическому составу, но так как при этом распашке подлежит иллювиальный, более плотный горизонт, то плотность пахотного горизонта по сравнению с неэродированной почвой.

2. В разных зонах и при различной интенсивности эрозионных процессов ущерб от эрозии не одинаков, но, как правило, всегда отражается в снижении потенциального плодородия почвы, ухудшении химических и физических свойств почвы, уменьшению биологической и ферментативной активности, что влечет за собой снижение урожайности с/х культур и ухудшение качества продукции.

В ряде зон современные темпы смыва пахотных почв опережают процессы почвообразования в десятки раз. Так, в отдельные годы интенсивность годового смыва почвы может достичь 50 т/га, тогда как формирование всего 0,6 т/га.

Потери гумусового слоя во время пыльных бурь составляют от 1 до 10 см, а на создание 1 см гумусового слоя в обычных природных условиях требуется 100 лет и более. По данным американских исследователей в результате эрозии почва теряет в 20 раз больше элементов питания, чем их выносятся с урожаем.

В результате ухудшения агрономических свойств эродированных почв, больших потерь питательных веществ и воды – урожайность с/х культур снижается. Степень снижения зависит от степени смытости почвы. Считается, что на слабосмытых почвах урожайность уменьшается на 10 – 30 %, на среднесмытых на 30 – 50 %, сильносмытых на 50 – 70 %. Различные культуры проявляют неодинаковую чувствительность к смытости почвы. Наиболее сильно реагируют на смытость почвы такие культуры как яровая и озимая пшеница, сахарная свекла, картофель, подсолнечник, а менее всего многолетние травы, зернобобовые, кукуруза. Потери гумуса и элементов питания, ухудшение агрофизических, биологических и агрохимических свойств отрицательно сказываются на производительной способности эродированных почв. Средние недоборы урожаев зерновых культур из-за ухудшения свойств почв, подверженных эрозии, составляют в зависимости от степени их эродированности 12-40 %; пропашных – 20-60; льна – 15-40; многолетних трав – 5-30 %.

3. Однако ущерб, наносимый водной и ветровой эрозией, не ограничивается только потерями в сельском хозяйстве. Почва, смываемая с полей, откладывается в прудах, озерах, водохранилищах, попадает в каналы и реки. Заиление водоемов и повышение мутности воды в реках затрудняет работу гидроэлектростанций, систем водоснабжения и водного транспорта.

4. Важно отметить, что при стоке талых вод со смывом почвы с пашни отчуждается от 10 до 30 % вносимых удобрений и пестицидов. При этом они не только безвозвратно теряются для с/х производства, но и оказывают негативное влияние на экологическое состояние прилегающих территорий, особенно на качество воды в реках, прудах и водохранилищах.

5. Особое значение имеет эрозия почв в миграции радионуклидов. Развитие эрозии почв на загрязненных территориях может вызвать образование новых очагов радиоактивности в местах аккумуляции смытой или сдутой почвы с повышенным содержанием радионуклидов.

6. Ветровая эрозия наносит большой ущерб авиации – большое содержание пыли в атмосфере вблизи аэродромов приводит к преждевременному износу двигателей и других деталей.

7. В пустынных районах выдувание почв и грунтов из-под опор нарушает работу линий электропередач, нефте- и газопроводов.

8. Увеличение запыленности воздуха отрицательно сказывается на здоровье людей.

Вопрос 3. Этапы развития науки об эрозии и дефляции почв.

В районах древних земледельческих цивилизаций (Семиречье, Китай, Индия) определенные представления об эрозии, ее причинах и мерах борьбы с этим явлением возникли несколько тысяч лет тому назад.

История изучения эрозионных процессов и борьбы с ними на территории нашей страны наиболее обстоятельно изложена в фундаментальной монографии С.С. Соболева (1948). Наблюдение процессов эрозии почв и применение противоэрозионных мероприятий и сооружений имеют многовековую историю, однако, наука об эрозии почв начала формироваться сравнительно недавно. М.Н. Заславский (1983) выделил три этапа в ее становлении и развитии в нашей стране: первый – до 1917 г., второй – с 1917 по 1967 г. и третий – после 1967 г.

Первый этап

Первые сведения об эрозии почв на территории нашей страны можно найти у Геродота, а также в многочисленных русских летописях и писцовых книгах. Научный подход к проблеме эрозии почв в нашей стране впервые применил М.В. Ломоносов, который в своих работах 1751-1763 гг. отмечал разрушающую и сортирующую деятельность водных потоков, а также выдувание земли в местах, не защищенных растительностью. Его работы, а также многочисленные, хотя и попутные наблюдения естествоиспытателей екате-

рининской эпохи дали интересный материал к познанию процессов эрозии и ее распространения в XVIII в.

Во второй половине XVIII и в первой половине XIX в. трудами многих ученых и практиков (М. И. Афонин, С. Друковцев, С. Лесли, Н. Н. Шишка, А. Т. Болотов, В. Я. Ломиковский) был разработан ряд приемов по регулированию и задержанию талых и ливневых вод на полях, предложены меры борьбы с овражной эрозией, заложены основы агролесомелиорации. В середине XIX в. В. А. Киприяновым установлен механизм зарождения и роста оврагов, выделены стадии их развития; примерно в это же время А. Гроссул-Толстым положено начало изучению географии эрозионных процессов.

Во второй половине XIX в. главная роль в разработке методов защиты почв от эрозии и связанной с ней засухи принадлежит А. Н. Шишкину, разработавшему комплекс мероприятий по задержанию зимних осадков и талых вод на полях, а также по борьбе с коркообразованием на поверхности почвы. Последующий период развития исследований по эрозии почв и борьбе с ней в России тесно связан с работами В. В. Докучаева, его учеников и современников. Вопросы почвенной эрозии рассматривались В. В. Докучаевым уже в первых его работах, таких как «Овраги и их значение» (1877), «Способы образования речных долин Европейской России» (1878), а в наиболее обобщенном и систематизированном виде излагаются в его классической работе «Русский чернозем» (1883), в отчетах Нижегородской и Полтавской экспедиций (1882-1884 гг.) и в знаменитой книге «Наши степи прежде и теперь» (1892).

Большое значение для познания закономерностей эрозии почв имеют исследования В. В. Докучаева по влиянию рельефа на смыв и аккумуляцию. Он установил, что на крутых склонах под действием стекающих атмосферных осадков происходит обеднение почв гумусом, наиболее тонкими глинистыми частицами, элементами минерального питания и обогащение грубым, скелетным материалом. Перегной и мелкозем, вымытые из почв повышенных участков, откладываются в нижних частях склонов и у их основания, что приводит к образованию в этих местах почв с более мощным профилем, обогащенных мелкоземом, гумусом, нередко слоистых. Эти наблюдения послужили В. В. Докучаеву основанием для выделения в составленных им классификациях почв (1886 и 1888 гг.) двух классов: «почвы перемытые» и «почвы наземнонаносные», что в современной терминологии соответствует смытым и намытым почвам.

Летом 1891 г. степной край России поразила сильная засуха, охватившая более трети черноземной полосы и вызвавшая небывалый неурожай. Лучшие представители русской интеллигенции сразу откликнулись на народное горе.

В числе первых был В.В. Докучаев. В 1892 г. он издал в пользу пострадавших от неурожая свою книгу «Наши степи прежде и теперь», в которой изложил план реконструкции сельского хозяйства черноземной полосы России с целью борьбы с засухой, охраны почв и «оздоровления» всего степного сельского хозяйства. В основу этого плана положены следующие необходимые мероприятия:

- 1) регулирование рек, больших и малых;
- 2) регулирование оврагов и балок с целью предотвращения дальнейшего размывания их дна и берегов;
- 3) регулирование водного хозяйства степей посредством создания на водораздельных пространствах системы прудов по замкнутым понижениям и путям естественного стока дождевых и снеговых вод; использование накопленных вод для орошения; облесение берегов прудов, песчаных массивов и неудобных для пашни участков;
- 4) выработка оптимальных соотношений площадей пашни, луга, леса, вод, сообразуясь с местными климатическими, грунтовыми, почвенными условиями и главной возделываемой культурой;
- 5) определение оптимальных систем обработки почвы для наилучшего использования влаги, оптимальных сортов возделываемых культур применительно к местным природным условиям.

Для развития знаний по эрозии почв и мерам борьбы с ней большое значение имеют работы выдающегося ученого П. А. Костычева, такие как его капитальный труд «Почвы Черноземной области России, их происхождение, состав и свойства» (1886), «К вопросу об обработке черноземных почв» (1891), «О борьбе с засухой посредством обработки полей и накопления на них снега» (1893) и др. Наблюдая за состоянием целинных и пахотных почв, П. А. Костычев пришел к важному выводу, что причиной эрозии является бессистемная распашка земель. Почва, покрытая растительностью, не страдает от эрозии. Растительность предохраняет поверхность от механического действия падающего дождя, служит фильтром, задерживая мелкие частицы и затрудняя перекачивание более крупных частиц, замедляет течение потоков воды по поверхности почвы. Напротив, обработка земель, уничтожая связь между почвенными частицами, разрушая структуру, делает почву крайне неустойчивой по отношению к размывающему и смывающему действию воды.

Особую ценность представляют выполненные П.А. Костычевым исследования структуры черноземов, наблюдения за ее изменением при распашке, изучение вопросов восстановления структуры при оставлении пашни под залежь.

В 1892 г. П. П. Тихобразовым, проводившим работы по борьбе с засухой в Тамбовской губернии по программе, разработанной В.В. Докучаевым, были впервые предложены постоянные земляные валы с широким основанием, обеспечивающие накопление влаги и беспрепятственный проход сельскохозяйственных машин и орудий. Такие валы, так называемые валы-террасы, применяются и в настоящее время на больших площадях в США.

В 1894 г. начала работать правительственная экспедиция по исследованию источников главнейших рек Европейской России под руководством А. А. Тилло. Работами этой экспедиции было внесено много нового в изучение процессов почвенной эрозии. Большая часть этих исследований связана с именем С. Н. Никитина, руководившего работами гидрогеологического отдела экспедиции. С. Н. Никитиным были выделены три основных типа оврагов по их расположению относительно материнской формы (долины или балки): вершинные, склоновые и донные (по современной терминологии). Им было показано, что овражность тесно связана с распространением лёсса и лёссовидных суглинков. Для борьбы с оврагами С.Н. Никитин особенно рекомендовал фитомелиоративные приемы, считая их более эффективными, чем дорогостоящие инженерные сооружения.

Много сделал для разработки мероприятий по борьбе с засухой и эрозией почв П.В. Янковский, опубликовавший с 1891 по 1914 г. серию статей и брошюр. В своих исследованиях П.В. Янковский основное внимание сосредоточил на вопросах накопления и сохранения влаги в почве. Работы П.В. Янковского, наряду с исследованиями А.Н. Шишкина и П.А. Костычева, послужили базой для выработки основных агротехнических приемов по накоплению и сохранению в почве влаги и борьбе с эрозией почв.

Одновременно с разработкой проблем борьбы с засухой и водной эрозией почв в этот период много внимания уделялось вопросам ветровой эрозии. В 1884 г. появилась работа Н.А. Соколова «Дюны, их образование, развитие и внутреннее строение», в которой автор сформулировал основные закономерности развития процессов ветровой эрозии, проверив свои положения тщательными наблюдениями в природе и экспериментами в лаборатории. В частности, он установил три способа перемещения песчинок ветром: перекачиванием и волочением, прыжками, во взвешенном состоянии; изучил действие различных преград на аккумуляцию продуктов дефляции.

Вопросам ветровой эрозии почв посвящена также работа А.А. Колесова «Природа песков и их облесение» (1900), в которой рассматриваются методы борьбы с выдуванием почв применительно к засушливым условиям юга России.

Интересные наблюдения над процессами ветровой эрозии почв были сделаны учеником В.В. Докучаева П.Ф. Бараковым (1913). Он показал, что от ветра особенно страдают поля, занятые посевами сахарной свеклы, что связано с ее биологическими особенностями и технологией возделывания, а также низкой противодефляционной стойкостью черноземов в сухие годы.

Большое значение для познания процессов овражной эрозии и борьбы с ней имела Тульская земская гидрологическая экспедиция, возглавляемая А.С. Козменко и проводившая в 1909-1913 гг. исследования в центральной части Среднерусской возвышенности. В результате работы экспедиции была составлена «Карта размыва водосбора рек Зуши, Плавы в пределах Тульской губернии» (1912), на которой показаны различные овраги, подмывы берегов, смыв почв.

Для борьбы с оврагами важное значение имеет метод, разработанный В.М. Борткевичем (1915). Сущность метода заключается в том, что для задержания воды выше оврага устраивается система канав и валов, расположенных по горизонталям.

Подводя итог исследованиям по эрозии почв за 40 лет, которые охватывают период деятельности В.В. Докучаева и его современников, необходимо прежде всего отметить, что это было время очень быстрого развития как теоретических, так и практических работ по изучению эрозионных процессов и методов борьбы с ними. За этот период было выполнено огромное количество работ по борьбе с оврагами, подвижными песками, смывом почв. Усилиями отдельных ученых, научных обществ, земских и правительственных экспедиций ко времени Октябрьской революции в России фактически был создан фундамент учения о природе водной и ветровой эрозии почв и разработаны основные методы борьбы с ними.

Второй этап

Октябрьская революция открыла новый этап в развитии проблемы охраны почв от эрозии. Во исполнение декрета «Об охране природы» создавалась сеть противоэрозионных станций и опорных пунктов. В 1923 г. под руководством А.С. Козменко в Орловской обл. была организована Новосильская опытная овражная станция, сыгравшая важную роль в разработке научных основ противоэрозионной мелиорации. А.С. Козменко совместно со своими сотрудниками разработал комплекс противоэрозионных мероприятий для лесостепной зоны европейской части

СССР, дифференцировав их по трем эрозионным фондам земельных угодий (гидрографическому, присетевому, приводораздельному).

Оригинальные взгляды на эрозию почв и меры борьбы с ней высказал В.Р. Вильямс. Эрозию почв и меры борьбы с ней он рассматривал сквозь

призму травопольной системы земледелия. По Вильямсу главной причиной эрозии является бесструктурность пахотных почв склонов. С помощью системы мероприятий, центральным звеном которых является культура многолетних трав в полевых и кормовых севооборотах, происходит окультуривание почв, придание им комковатой водопрочной структуры.

В 1932 г. в Почвенном институте имени В.В. Докучаева усилиями видного почвовед А.М. Панкова был создан отдел по изучению эрозии почв. На первом этапе существования отдела проводился сбор материалов по изучению эрозии почв, методам ее исследования и эффективности противоэрозионных мероприятий, применявшихся в нашей стране и за рубежом, особенно в США.

В проведении этих работ А.М. Панков проявил много энергии. Он выезжал на опытные овражные станции и опорные пункты знакомиться с работами по борьбе с эрозией, с их тематикой, методами проведения, обсудить полученные результаты. Таким образом, отдел эрозии Почвенного института имени В.В. Докучаева стал центром координации противоэрозионных исследований. В этот же период были созданы еще два научных центра по изучению эрозии почв. В 1931 г. в Москве был организован (а затем переведен в 1958 г. в Волгоград) Всесоюзный научно-исследовательский институт агролесомелиорации (ВНИАЛМИ) с отделом борьбы с эрозией почв, который с 1938 г. возглавил А. С. Козменко. В Тбилиси в Закавказском институте водного хозяйства в 1932 г. начала работать группа эрозии почв, которую возглавил В. Б. Гуссак. Произошло достаточно четкое разделение функций между этими научными коллективами. В Почвенном институте им. В.В. Докучаева на первый план выступили вопросы картографирования эрозии почв, оценки степени ее выраженности, районирования территорий, подверженных эрозии. Во ВНИАЛМИ занимались преимущественно вопросами борьбы с эрозией с помощью лесонасаждений и задержания стока на эродируемых склонах. Институт располагал стационарами, где изучались применительно к условиям лесостепной, степной и полупустынной зон наиболее подходящие древесные и кустарниковые породы, способы их посадки, плотность насаждений в полосах, их оптимальная ширина и расстояние между ними, лесорастительные свойства почв. В Закавказском научно-исследовательском институте водного хозяйства основное внимание уделялось вопросам изучения рациональных методов борьбы с эрозией почв на горных склонах черноморских субтропиков, где развивалось и приобретало все большее хозяйственное значение возделывание чая, цитрусовых и других ценных культур. Особенно большое внимание уделялось изучению природы противоэрозионной стойкости почв, для чего проводились полевые и лабораторные исследования с ис-

пользованием метода моделирования и определением физических, физико-механических и химических свойств исследуемых почв.

4-7 марта 1936 г. в Москве состоялось первое Всесоюзное совещание по борьбе с эрозией почв, организованное по инициативе Советской секции Международной ассоциации почвоведов. Работой совещания руководили Д.Г. Виленский и А.М. Панков. Материалы совещания были опубликованы в виде сборника «Борьба с эрозией почв», изданного в 1938 г. В статье А.М. Панкова «Проблема почвенных эрозий» акцентировалось внимание на вопросах количественного учета площадей смытых и смываемых почв, на проблеме сохранения в почве влаги для культурных растений и на необходимости рационального использования удобрений на эродируемых почвах. Эти три проблемы стали лейтмотивом совещания и определили содержание сборника.

После смерти А. М. Панкова его преемником в Почвенном институте стал С.С. Соболев, сохранивший прежнюю тематику эрозионных исследований. Первоочередными задачами были учет и картографирование эродированных почв, а также исследование специфики и степени выраженности различных процессов эрозии. К этому времени на почвенной карте, составленной сотрудниками Почвенного института под руководством Л.И. Прасолова и опубликованной в 1930 г., уже были выделены районы, наиболее пострадавшие от эрозии, где поверхность обогащена хрящом, щебнем, галькой, валунами и наблюдаются выходы материнских и коренных пород (Соболев, 1948). Кроме того, в 1925 г. А.Н. Костяковым по статистическим данным была составлена картограмма распространения оврагов в европейской части СССР, а Н.А. Розовым – аналогичная картограмма для Украины. С.С. Соболевым и его сотрудниками на основании маршрутных исследований, проводимых с 1935 г., а также детальных почвенно-эрозионных исследований на «ключках», проведенных в 1939-1940 гг. в разных географических районах европейской части СССР, к 1940 г. была составлена (в первом варианте) почвенно-эрозионная карта европейской части СССР в масштабе 1:5000000. Кроме того, под руководством С. С. Соболева были составлены карты распространения и густоты овражно-балочной сети, глубины главнейших местных базисов эрозии, средних уклонов поверхности и типов эрозионного расчленения.

Таким образом, менее чем за 10 лет, предшествовавших началу Великой Отечественной войны, был сделан гигантский скачок в познании различных проявлений эрозии почв и разработке мероприятий по борьбе с ней. Произошла дифференциация отдельных направлений в этой области. Среди почвоведов, помимо географов и картографов, фиксирующих процессы эрозии в

природных условиях и на почвенно-эрозионных картах, появились специалисты, изучающие физико-механические, физические, химические и физико-химические свойства эродированных почв в поисках критериев выраженности процессов эрозии; почвоведы-агрохимики, занимающиеся вопросами удобрения эродированных почв; агрономы, изучающие способы их обработки и разрабатывающие соответствующие севообороты. Было установлено, что любой конкретный вопрос должен решаться с учетом экологических условий, на фоне которых развиваются процессы эрозии и проводятся противоэрозионные мероприятия. Однако достижения в области изучения эрозии не были в достаточной мере реализованы в производстве. Лишь частично удавалось задержать развитие эрозионных процессов в тех немногих случаях, когда противоэрозионные мероприятия проводились последовательно и систематически.

Отечественная война нанесла колоссальный урон стране, ее народному хозяйству и природным богатствам, особенно почве. Из строя были выведены огромные площади пашни, луга и леса, раны на теле земли превращались в очаги развития эрозии. Работы по восстановлению земельного фонда в первые послевоенные годы имели преимущественно культуртехнический, агролесомелиоративный и одновременно противоэрозионный характер.

С 1948 г. разворачиваются работы по реализации Постановления Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б) «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР». Замышлялась грандиозная программа наступления на засуху и одновременно на эрозию почв. Важнейшим звеном программы являлись государственные защитные лесные полосы. Общая их протяженность составила около 12 тыс. км. Многие из них достигли 20-25-летнего возраста и продолжают выполнять природоохранные функции, способствуют улучшению микроклимата и водного режима прилегающих территорий (Павловский, 1986). Помимо выполнения мелиоративной и почвозащитной роли, созданные лесополосы являются своеобразной природной лабораторией по изучению способов создания лесных насаждений в тяжелых лесорастительных условиях юго-востока и Западной Сибири.

Особенностью послевоенных исследований является попытка дифференцировать противоэрозионные мероприятия в зависимости от климатических, почвенных, геологических, гидрологических и геоморфологических условий и создать региональные системы противоэрозионных мероприятий в качестве составной части региональных систем ведения хозяйства. В Почвенном институте им. В.В. Докучаева продолжал энергично работать отдел

эрозии почв, возглавляемый на протяжении 30 лет С.С. Соболевым. По его инициативе институт организовывал всесоюзные и региональные конференции и совещания по охране почв от эрозии. Их итоги публиковались в сборниках «Эрозия почв и борьба с нею» (1957), «Защита почв от эрозии» (1964) и др. С.С. Соболеву принадлежат многочисленные публикации по актуальным вопросам охраны почв. Особое значение имеет его двухтомная монография «Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР» (1948, 1960). Работы сотрудников отдела в этот период внесли большой вклад в разработку проблемы классификации и картографирования эродированных почв, эффективности противоэрозионных мероприятий в различных природных условиях.

Сильный коллектив специалистов по эрозии почв сложился в Институте географии АН СССР. Д.Л. Арманд, возглавлявший отдел эрозии почв, издал в 1961 г. монографию «Физико-географические основы проектирования сети полевых защитных лесных полос», а также редактировал ряд сборников по вопросам борьбы с эрозией почв, в том числе «Районирование территории СССР по основным факторам эрозии» (1965) и «Региональные системы противоэрозионных мероприятий» (1972), подготовленных С.И. Сильвестровым и его сотрудниками.

Ряд оригинальных, глубоких исследований по эрозии почв выполнен в этот период в Московском университете Н.И. Маккавеевым на географическом факультете, А. Г. Гаелем и Л.Ф. Смирновой, В. П. Лидовым и В. К. Орловой на биолого-почвенном факультете.

В конце 40-х – начале 50-х годов началось широкое изучение эрозии почв в Молдавии. В 1950 г. М. Н. Заславский был назначен руководителем вновь созданной противоэрозионной станции, которая позже была преобразована в отдел защиты почв от эрозии Молдавского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии им. Н. А. Димо. Получили широкую известность методические исследования этого коллектива, направленные на создание лабораторных и полевых дождевальных установок для изучения эрозии почв и совершенствование стокоприемного оборудования на стоковых площадках, а также разработку и внедрение в производство ряда важных противоэрозионных мероприятий: полосного размещения культур на склонах, напашного террасирования, чересполосного освоения малопродуктивных склонов, выполаживания и засыпки оврагов с сохранением на поверхности гумусового горизонта (М.Н. Заславский «Эрозия почв и земледелие на склонах», 1966; А. Г. Рожков «Борьба с оврагами», 1981).

С приходом в 1955 г. в Институт почвоведения и агрохимии АН Узбекистана В. Б. Гуссака здесь сложился отдел эрозии почв, который внес впоследствии существенный вклад в изучение закономерностей эрозии сероземов на богаре и при поливе, а также в разработку метода повышения водопрочности и противоэрозионной стойкости сероземов с помощью полимеровструктурообразователей.

Крупным региональным центром противоэрозионных исследований стал сектор эрозии почв в МСХ Азербайджана, созданный в начале 50-х годов под руководством К.А. Алекперова.

Третий этап

Его начало связано с выходом Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 20 марта 1967 г. «О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии». Постановление обязало министерства сельского хозяйства, мелиорации и водного хозяйства, высшего и среднего образования СССР, Советы министров союзных республик, АН СССР и ВАСХНИЛ «принять конкретные меры к коренному улучшению исследований в этой области и внедрению в производство проверенных на практике методов защиты почв и повышения их плодородия, укрепить кадрами и оснастить оборудованием лаборатории и отделы институтов и областных опытных станций, ведущих исследования по борьбе с эрозией почв».

Огромное значение для борьбы с ветровой эрозией почв имела работа Всесоюзного научно-исследовательского института зернового хозяйства (пос. Шортанды, Казахстан), возглавлявшегося А. И. Бараевым, охватившая не только территорию Северного Казахстана, но и степные районы Сибири. Вслед за Т. С. Мальцевым, А. И. Бараев стал горячим и активным сторонником введения системы обработки почвы безотвальными орудиями, обеспечивающими сохранение стерни на полях в целях снегонакопления и защиты почвы от выдувания ветрами, столь характерными для этих мест (А.И. Бараев «Почвозащитное земледелие», 1975). За успехи в разработке и внедрении почвозащитной системы земледелия в Казахстане группе ученых во главе с А.И. Бараевым была присуждена в 1972 г. Ленинская премия. Указанные работы послужили позднее основой для разработки нового, полтавского варианта бесплужной обработки почвы (Ф. Т. Моргун, Н. К. Шикула «Почвозащитное бесплужное земледелие», 1984).

В 1967 г. во исполнение Постановления был создан Государственный научно-исследовательский институт земельных ресурсов МСХ СССР, одной из основных задач которого была разработка научных основ проектирования противоэрозионных мероприятий. В 1970 г. в г. Курске начал работать Всесоюзный НИИ защиты почв от эрозии, переименованный затем во Всесоюз-

ный НИИ земледелия и защиты почв от эрозии (ВНИИЗиЗПЭ), а в 1974 г. в г. Луганске – Украинский научноисследовательский институт защиты почв от эрозии. В 1967 г. на географическом факультете Московского университета была создана под руководством Н.И. Маккавеева проблемная лаборатория эрозии почв и русловых процессов. В 1982 г. на факультете почвоведения открыта первая в нашей стране кафедра эрозии почв. Лаборатории защиты почв от эрозии и научноисследовательские группы создаются во многих научноисследовательских институтах почвоведческого, гидротехнического и сельскохозяйственного направлений. Московский университет становится методическим и методическим центром эрозиоведения в стране. Здесь издается тематический сборник «Эрозия почв и русловые процессы», регулярно проводится Всесоюзная межвузовская конференция по проблеме «Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях».

Существенной особенностью третьего этапа развития исследований по охране почв от эрозии является выделение в этот период нового самостоятельного раздела почвоведения – эрозиоведения. Крупный вклад в его формирование внес М.Н. Заславский. Постановка вопроса об эрозиоведении как о самостоятельном направлении стала возможной в результате дифференциации научных направлений внутри почвоведения и интеграции научных знаний по проблеме охраны почв от эрозии.

Однако простая сумма знаний не дает еще нового направления. Г. И. Швобс (1981) справедливо считает, что для нового научного направления характерны присущие только ему объект исследования, специфические методы его познания и задачи, которые не решаются никаким другим научным направлением. К этому следует, по-видимому, добавить еще одно необходимое условие – наличие теоретического фундамента в основе нового научного направления.

Объектом эрозиоведения являются процессы водной и ветровой эрозии почв, происходящие в разных природных и хозяйственных условиях, а также результаты их протекания – смытые и дефлированные, а также намытые и навеянные почвы и методы их мелиорации.

Методы, применяемые в эрозиоведении, часто заимствованы из других направлений почвоведения, а также из таких наук географического цикла как метеорология, гидрология и геоморфология, геологического – грунтоведение и технического – гидравлика, аэро- и гидромеханика. К специфическим методам эрозиоведения можно отнести методы наблюдения за смывом почвы на стоковых площадках и с элементарных водосборных площадей.

Задачи, решаемые эрозиоведением, достаточно специфичны вследствие особенности почвы как объекта взаимодействия с потоками воды и ветра. Во-первых, важнейшей составной частью почвы являются живые организмы (животные, растения, микроорганизмы), что часто является определяющим фактором в решении проблемы ее охраны. Во-вторых, почва – не только важнейший компонент биосферы, но и предмет сельскохозяйственной деятельности, поэтому мероприятия по охране почв должны хорошо вписываться в систему земледелия и стать ее элементом.

Внастоящее время интенсивно ведутся исследования по разработке теоретических основ эрозиоведения:

- развитие теории единого эрозионно-аккумулятивного процесса;
- исследование особенностей формирования и движения взвесенесущих водных потоков на поверхности почвы и воздушных – в приповерхностном слое атмосферы;
- разработка теории противозрозионной и противодефляционной стойкости почв;
- создание экспериментально-теоретических моделей эрозии почв на основе знания механизма процесса с учетом достижений в первых трех направлениях.

Отличительной чертой развития эрозиоведения явилось активное использование последних достижений гидрологии, гидравлики, гидро- и аэромеханики при разработке теории эрозионных процессов. К основополагающим исследованиям в указанных выше направлениях следует отнести изданные ранее работы Н. И. Маккавеева («Русло реки и эрозия в ее бассейне», 1955), В. В. Звонкова («Водная и ветровая эрозия земли», 1963), а также вышедшие в этот период книги Ц.Е. Мирцхулавы («Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии», 1970, «Основы физики и механики эрозии русел», 1988). Дальнейшее развитие эти исследования получили в работах эрозиоведов Московского и Одесского университетов, ГрузНИИГиМ, ЮжНИИ-ГиМ, Института почвоведения и фотосинтеза, ВНИИЗиЗПЭ, ВНИАЛМИ, некоторых вузов и других учреждений.

Одновременно интенсивно развивается эмпирическое направление в эрозиоведении, в основе которого лежит выяснение количественных закономерностей влияния, так называемых «факторов эрозии» (климата, рельефа, почвы, растительности и хозяйственной деятельности человека) на интенсивность водной и ветровой эрозии почв. Значительных успехов в этом направлении достигли американские исследователи, получившие на основе большого экспериментального материала «универсальное уравнение потерь почвы» (Wischmeier, Smith, 1965) и «уравнение ветровой эрозии» (Woodruff,

Siddoway, 1965). Частично под влиянием американской школы и в значительной мере и без него в нашей стране также развивалось эмпирическое направление (Сурмач, 1979, 1986) и полуэмпирическое (Иванов, 1973, 1979, 1986, 1991).

Достигнуты определенные успехи и в решении земледельческих, лесоводческих и гидротехнических аспектов проблемы защиты почв от эрозии. Интенсивно развивается почвозащитная система земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории (А.Н. Каштанов, М.Н. Заславский «Почвоводоохранное земледелие», 1984). К настоящему времени она значительно дополнена с учетом местных особенностей природных и хозяйственных условий разных регионов России. Новая система земледелия предусматривает дифференцированный подход к размещению полевых, кормовых и почвозащитных севооборотов, применению способов и технологий основной обработки почвы, внесению удобрений с учетом крутизны склонов, эродированности почв и биологических особенностей культур, а также устройству валов-террас с широким основанием, валов-каналов, совмещенных с узкими стокорегулирующими лесными полосами и других гидротехнических сооружений.

Таким образом, эрозиоведение имеет достаточно прочные теоретические основы, особенно интенсивно развиваемые в последнее время. В целом можно констатировать, что в настоящее время оно вполне оформилось как самостоятельное направление почвоведения.

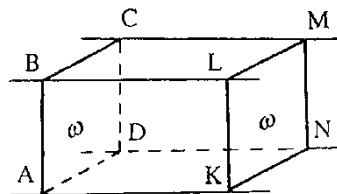
Лекция 2. Физические основы эрозии почв

Вопрос 1. Закономерности и режимы движения жидкостей и газов.

Поперечное сечение потока, перпендикулярное к линиям тока, его пересекающим, называется живым сечением потока ω и выражается в см^2 или м^2 . Длина линии контакта живого сечения с ложем потока называется периметром смоченности x и измеряется в м или см. Отношение площади живого сечения к периметру смоченности называется гидравлическим радиусом R , имеющим размерность длины,

$$R = \frac{\omega}{x}.$$

Объем воды, протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени, называется расходом потока Q . Он выражается в $\text{м}^3/\text{с}$ или л/с. Длина пути, проходимого водой в единицу времени, называется скоростью потока и измеряется в м/с или см/с.



Найдем связь между расходом, скоростью и живым сечением потока. Для этого выберем в потоке какой-либо элемент ABCD живого сечения площадью ω . Предположим, что все его точки перемещаются с одной и той же скоростью u . Тогда за единичный промежуток времени выбранный элемент сечения переместится на расстояние u и займет положение KLMN. Объем воды, прошедшей через сечение ABCD в единицу времени, равен $u \omega$, поэтому можно записать: $Q = u \omega$.

Однако в реальных условиях скорость в разных точках живого сечения не постоянна. В открытых потоках (имеющих поверхность раздела вода-воздух) максимальная скорость потока наблюдается вблизи поверхности, а минимальная – у дна. Поэтому для реальных потоков вводится понятие средней скорости V , определяемой как та фиктивная постоянная для всех точек живого сечения скорость потока, при которой расход воды такой же, как и при истинном распределении скоростей. Тогда можно записать: $Q = V \omega$, т.е. расход потока ($\text{м}^3/\text{с}$) в данном сечении равен произведению площади живого сечения (м^2) на среднюю скорость в этом сечении (м/с). Это уравнение широко используется для определения средней скорости потока

$$V = \frac{Q}{\omega}.$$

Ламинарный и турбулентный потоки отличаются разным распределением скоростей потока по вертикали. При ламинарном режиме движения местные скорости, как указывалось выше, не изменяются во времени. Скорость постепенно падает от поверхностных к нижележащим слоям за счёт трения слоёв жидкости друг о друга.

Для склоновых потоков характерен турбулентный режим движения воды, и скорость течения в любой точке потока подвержена *турбулентным пульсациям* по величине и направлению, причем тем большим, чем больше скорость течения. Каждой точке потока присуща *местная мгновенная скорость течения*. Скорости течения изменяются по глубине и по ширине живого сечения. Кривые изменения скоростей по вертикали называются *эпюрами скоростей*. В турбулентных потоках распределение продольных скоростей описывается криволинейной зависимостью, причем максимальная скорость также наблюдается на поверхности и в верхней поверхностной части потока, а минимальная – у дна

Ламинарный режим характеризуется упорядоченным параллельно-струйным движением без образования вихрей. В природных условиях ламинарные потоки могут встречаться лишь на хорошо задернованных склонах, где вода течёт ровным слоем малой глубины с небольшими скоростями, а также на распаханых склонах в начальной фазе снеготаяния, когда талая вода испытывает на своем пути сопротивление снега. Фильтрационные потоки также характеризуются ламинарным режимом ввиду малого диаметра пор и незначительной скорости.

Турбулентный режим – хаотичное беспорядочное движение, когда струи постоянно отклоняются и пересекаются друг с другом. Турбулентность потока имеет большое значение для развития эрозионных процессов. Частицы почвы отрываются от поверхности в результате воздействия струй воды с высокими мгновенными значениями скорости, соответствующими максимальным пульсациям скорости потока. Кроме того, под действием длительной пульсирующей нагрузки со стороны потока на почвенные частицы происходит постепенное ослабление внутри- и межагрегатного сцепления, которое в результате приводит к снижению противоэрозионной стойкости почвы или грунта. Пульсацию скорости в турбулентных потоках учитывают путем введения соответствующего коэффициента в уравнение критической скорости потока, который будет рассмотрен в разделе о критических скоростях потока. Следует добавить, что большую роль в переносе частиц играют вихри, которые также формируются в турбулентных потоках.

Скорость в турбулентном потоке непрерывно пульсирует, изменяясь как по величине, так и по направлению. Однако, несмотря на это, направление

поступательного движения всего потока остается неизменным. Скорость потока в данной точке при этом колеблется около некоторого постоянного, не зависящего от времени, значения – усредненной скорости u . Скорость в каждый данный момент времени в заданной точке называется мгновенной скоростью.

В крупных каналах пульсация скоростей потока в придонной области такова, что максимальная пульсационная скорость в 1,35 – 2,15 раза больше усредненной в данной точке. Известно, что с уменьшением глубины потока размах пульсации скорости уменьшается.

Следует отметить, что непосредственно у твердой стенки даже в турбулентных потоках существует весьма тонкий слой, в котором скорости, в том числе и пульсационные, равны нулю. Выше расположен тонкий пристеночный слой, так называемый вязкий подслой потока, который отличается по своим свойствам от основной толщи потока, называемой **турбулентным ядром**. Плотность жидкости и ее вязкость уменьшаются при повышении температуры. Например, при изменении температуры воды от 0 до 100°C ее плотность уменьшается на 4%, а вязкость – примерно в 6 раз. В связи с этим вязкость воды существенно меняется (в 2,4 раза) даже в интервале колебаний температуры естественных потоков (от 0 до 30°C). Иначе ведут себя газы. Так, плотность воздуха при нормальном атмосферном давлении с увеличением температуры от 0 до 80° уменьшается на 18 % (как и воды, но более заметно), а вязкость, наоборот, увеличивается: динамическая – в 1,8, а кинематическая – в 1,6 раза.

Для потоков с открытой водной поверхностью ламинарный режим наблюдается при $Re < 300$, а турбулентный – при $Re > 600$. При $300 < Re < 600$ поток может быть либо турбулентным, либо ламинарным в зависимости от шероховатости и характера русла. Турбулентность потока имеет большое значение для развития эрозионных процессов. Частицы почвы отрываются от поверхности в результате воздействия струй воды с высокими мгновенными значениями скорости, соответствующими максимальным пульсациям скорости потока. Кроме того, под действием длительной пульсирующей нагрузки со стороны потока на почвенные частицы происходит постепенное ослабление внутри- и межагрегатного сцепления, которое в результате приводит к снижению противоэрозионной стойкости почвы или грунта. Пульсацию скорости в турбулентных потоках учитывают путем введения соответствующего коэффициента в уравнение критической скорости потока, который будет рассмотрен в разделе о критических скоростях потока. Следует добавить, что большую роль в переносе частиц играют вихри, которые также формируются в турбулентных потоках.

В природных условиях ламинарные потоки могут встречаться лишь на хорошо задернованных склонах, где вода течет ровным слоем малой глубины с небольшими скоростями, а также на распаханых склонах в начальной фазе снеготаяния, когда талая вода испытывает на своем пути сопротивление снега. Фильтрационные потоки также характеризуются ламинарным режимом течения ввиду малого диаметра пор и незначительной скорости. Турбулентное же движение преобладает в текущих водах и в атмосфере, с ним и связаны процессы водной и ветровой эрозии.

Значительная роль в ламинарном движении жидкости принадлежит ее вязкости. Именно благодаря вязкости формируется непрерывное скоростное поле потока, а также происходит поглощение части механической энергии потока и переход ее в тепловую, т.е. диссипация энергии, которая является источником гидродинамического сопротивления.

Вопрос 2. Понятие коэффициента стока.

Водораздельной линией (или водоразделом) называется линия, проходящая по наивысшим точкам местности. От водораздела поверхностные воды стекают в разные стороны. Площадь, ограниченная водораздельной линией, называется водосборной площадью или водосбором. Грунтовые воды, как и поверхностные, стекают в данный водоем с определенной площади, называемой водосбором грунтовых вод. Он также ограничен водораздельной линией, проходящей по наивысшим точкам водоупорного слоя грунта, однако выявить ее бывает трудно. В связи с этим в гидрологии введено понятие "бассейн", под которым понимают площадь, с которой стекают и поверхностные, и грунтовые воды. Уравнение водного баланса для бассейна за данный промежуток времени можно записать следующим образом:

$$x = y + a + b,$$

где x – объем выпавших осадков, y – объем поверхностного стока, a – объем воды, пошедшей на испарение и транспирацию, b – объем воды, пошедшей на изменение запаса воды в бассейне (изменения уровня грунтовых вод, объема водоемов, влажности почвы). Для многолетнего периода b стремится к нулю, поэтому можно записать: $x \approx y + a$.

Отношение объема стекающей воды y к объему выпавших осадков x называется коэффициентом стока $\sigma = y : x$.

С увеличением объема выпадающих осадков увеличивается и коэффициент стока. Однако при постоянном количестве осадков коэффициент стока зависит, главным образом, от водопроницаемости почв и грунтов. Обычно тяжелые по гранулометрическому составу почвы менее проницаемы, чем

легкие. Почвы с уплотненными горизонтами отличаются низкой водопроницаемостью. Большое значение для водопроницаемости почв имеет водопрочность их структуры, зависящая от содержания и качественного состава гумуса, состава обменных оснований и других факторов.

Коэффициент шероховатости поверхности. Величина коэффициента шероховатости определяется величиной выступов на дне и стенках русла, формой русла в плане, наличием в нем растительности и других источников местных сопротивлений. Коэффициент шероховатости характеризует шероховатость, создаваемую равнотернистыми или разнотернистыми грунтами, формирующими ложе потоков, равномерно распределенную по их длине. Именно растения являются основным источником местных сопротивлений и причиной увеличения коэффициента шероховатости.

Растительность также оказывает многообразное влияние на водопроницаемость. Если надземная часть растений предохраняет поверхность почвы от разрушения прямыми ударами дождевых капель, то корневая система повышает водопрочность структуры почвы, а после отмирания оставляет в почве пустоты, по которым вода быстро проникает вглубь почвенного профиля. В связи с этим почвы, покрытые лесом, обладают исключительно высокой водопроницаемостью. Для обрабатываемых почв большое значение имеет глубина, направление и вид обработки.

Величина коэффициента стока зависит также от крутизны склона. Чем круче склон, тем больше скорость стекания и, следовательно, меньше время взаимодействия почвы с каждой данной порцией воды. Поэтому с увеличением крутизны склона коэффициент стока возрастает. Величина коэффициента стока зависит и от длины склона. Ее увеличение при прочих равных условиях приводит к уменьшению (редукции) стока прежде всего в связи с увеличением доли поверхности, занятой водой и участвующей во впитывании. Это явление можно наблюдать на склонах, покрытых естественной растительностью. На распаханных склонах картина может быть иной в связи со слиянием струй по мере удаления от водораздела.

Водопроницаемость почвы при весеннем стоке зависит, главным образом, от количества свободных, не занятых льдом, крупных пор. Это, в первую очередь, определяется исходной пористостью почвы, ее влажностью в предзимний период и погодными условиями зимы, в частности, наличием или отсутствием зимних оттепелей. Водопроницаемость почвы окажется наименьшей, а коэффициент стока наибольшим, если поздней осенью непосредственно перед наступлением холодов выпадали дожди, а зима прерывалась глубокими оттепелями.

Лекция 3. Факторы водной эрозии почв

Вопрос 1. Климатические факторы водной эрозии.

Эрозия почв является результатом сложного взаимодействия природных факторов и хозяйственной деятельности человека.

В доисторическую эпоху развитие эрозии определялось только природными факторами. В настоящий период развитие интенсивных эрозионных процессов в основном связано с нерациональной хозяйственной деятельностью человека. Природные факторы создают условия для проявления эрозии, а деятельность человека является основной причиной возникновения водной и ветровой эрозии.

К важнейшим природным факторам относятся: климат, рельеф, почвы, растительность.

Влияние климатических факторов на развитие эрозионных процессов можно условно разделить на прямое и косвенное.

Непосредственное влияние на размах процессов водной эрозии оказывают суммарное количество осадков, их вид, продолжительность, интенсивность, а также время выпадения. Косвенно на развитие эрозионных процессов влияют температура и влажность воздуха, скорость и продолжительность ветра.

Годовое количество осадков характеризует лишь потенциальную опасность эрозии. Но важнее для возникновения эрозии – распределение осадков в течение года и количество осадков, выпадающее за один дождь. При неравномерности выпадения осадков вероятность возникновения эрозионных процессов возрастает. Развитие эрозии во многом определяется интенсивностью осадков, то есть количеством воды, выпадающим за единицу времени. Осадки большой интенсивности, но малой продолжительности называются ливнями. Интенсивность таких осадков составляет более 0,05 мм/мин. Усиление эрозии при интенсивных ливнях связано также с увеличением размера капель дождя, которые быстрее разрушают комочки почвы и, уплотняя ее, снижают впитывание.

Например, обильный ливень, выпадающий раз в 3 – 5 лет способен за несколько минут произвести такое разрушение почвы, которое сток талых вод лишь за 10 – 20 лет. Дожди, носящие морозящий характер, редко приводят к образованию поверхностного стока и вызывают эрозию.

Для территории Беларуси и значительной части территории Российской Федерации на формирование поверхностного стока и возникновение эрозии существенное влияние может оказывать выпадение ливневых осадков. Кине-

тическая энергия дождевой капли, определяющая размер причиняемых почве разрушений, зависит от размера капли и её скорости. При движении капли в воздухе скорость её падения становится постоянной, а её численное значение зависит от состояния атмосферы и от размера капли.

Ливневые осадки образуются из кучево-дождевых или грозовых облаков и характеризуются резким колебанием интенсивности и сравнительно малой продолжительностью. Существенное влияние на кинетическую энергию капель дождя может оказывать ветер. Например, расчёты, проведенные В.В. Сластихиным (1964), показали, что кинетическая энергия капель среднего диаметра 1 мм, падающих при ветре 4; 7 и 9 м/с, больше, чем при штиле, соответственно в 1,9; 3,6 и 5,9 раза. Соответственно и скорость падения капель при указанных параметрах ветра будет больше соответственно в 1,4; 1,9 и 2,4 раза. При дождях интенсивностью 1–2 мм/мин преобладают капли диаметром 2–3 мм.

Формы крупных дождевых капель представляют собой механически устойчивые системы, так как поверхностные силы на границе раздела «вода–воздух» непрерывно стремятся свести к минимуму поверхность раздела. Для мелких капель дождя и мороси форма приближается к шару. У крупных капель формы отклоняются от сферической и имеют заметно сплюсненную нижнюю поверхность и сглаженную округлую верхнюю.

В естественных дождях капли размером более 6 мм не встречаются, так как при падении они сплюсциваются и разрушаются под действием сил сопротивления воздуха.

В начальный период выпадение дождя падающие на поверхность почвы дождевые капли производят разрушающее и разбрызгивающее действие (рис. 14, а, б). При дальнейшем продолжающемся выпадении осадков образуется склоновый сток, эродирующий действующий на разрыхленную и разуплотненную ударам капли почву (14, в). По мере роста слоя склонового стока, ударное воздействие капель гасится в толще потока и уже главным эродирующим фактором на поверхности почвы является склоновый (ручейковый) сток.

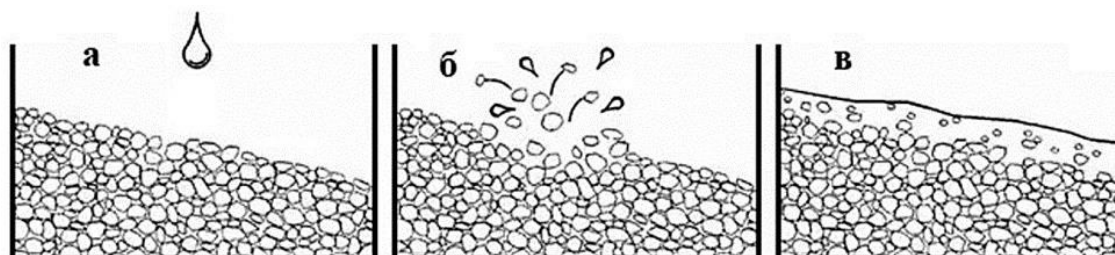


Схема разрушающего (а), разбрызгивающего (б) действия дождевых капель и формирования поверхностного стока (в).

Размер дождевых капель в зависимости от интенсивности дождя:

Характер осадков	Интенсивность осадков, мм/мин	Типичный размер капля, мм	Скорость падения, м/с	Расстояние между каплями, мм
Туман	–	0,01	0,003	4,3
Густой туман	0,0003	0,1	0,25	21
Мелкий дождь	0,0042	0,2	0,75	36
Легкий дождь	0,016	0,45	2,0	70
Умеренный дождь	0,066	1,0	4,0	123
Сильный дождь	0,25	1,5	5,0	130
Очень сильный дождь	0,66	2,1	6,0	138
Ливень	1,67	3	7,0	137

Результаты наблюдений за выпадением ливневых осадков показывают, что энергия падающих капель на обычном склоне значительно больше энергии склонового стока. При падении на поверхность почвы, покрытой тонким слоем воды, капли дождя способствуют зарождению в нем хаотического движения, обуславливающего раннюю турбулентность потока. Соответственно повышается его размывающая способность. В результате удара дождевых капель происходит взмучивание потока за счёт дополнительного отрыва частиц почвы.

Дождевые капли, падая, разрушают почву и способствуют сносу тех частиц, которые ранее не сносились склоновым стоком. Более мелкие частицы подбрасываются в воздух и падают на поверхность слоя воды. Такие частицы легко сносятся потоком во взвешенном состоянии.

Поглощение воды почвой осуществляется в виде одновременного протекания ряда процессов. В начале выпадения осадков, если почва сухая, происходит капиллярное и пленочное рассасывание воды в почве. По мере заполнения пор водой и дальнейшего её поступления происходит формирование сплошного равномерного потока в почве (называется фильтрацией). Интенсивность впитывания воды в почву зависит от свойств почвы, её агротехнического состояния, влажности и гранулометрического состава.

При дальнейшем продолжении выпадения дождевых осадков или росте их интенсивности может образовываться поверхностный сток. В начале поверхностный сток формируется в виде микроструй. По мере продолжения или усиления дождя отдельные микроструи концентрируются и превращают-

ся в струи, направление которых, как правило, совпадают с направлением максимального уклона склона. Обычно эти отдельные струйчатые потоки разделены пространством, покрытым лишь тонкой водяной пленкой.

В результате дальнейшего выпадения осадков струйчатые потоки ещё больше концентрируются, возрастает их мощность и размывающая способность. На почвогрунтах склонов образуются неглубокие «врезы» и начинается линейная эрозия и т.д.

Рассматривая процесс ливневой эрозии следует отметить, что в настоящее время можно выделить два механизма: эрозия полностью водонасыщенных почв и эрозии недоувлажненных почв. Как показывают наблюдения, их механизмы значительно отличаются друг от друга.

Эрозия почв в состоянии неполного водонасыщения, особенно сухих почвогрунтов, протекает не с постоянной интенсивностью. Формирование поверхностного стока на этих почвогрунтах возникает только при продолжительном и интенсивном выпадении ливневых осадков, приводящем к увлажнению верхнего слоя почвы.

Сток появляется через некоторый интервал времени когда во времени уменьшается интенсивность впитывания воды в почву и её величина становится равной интенсивности дождя. Наблюдениями установлено, что в среднем отрыв частиц, в различных почвах начинается при донной скорости течения, равной 0,10–0,15 м/с.

Интенсивность эрозии почв при их полном водонасыщении можно разделить на четыре периода:

I. Начальный период, который определяется физико-механическими свойствами поверхностного слоя и параметрами потока. Этому периоду соответствует появление первых видимых признаков отрыва почвенных агрегатов. Этот период наступает практически сразу при начале воздействия водного потока на водонасыщенную почву. Происходит отрыв частиц и агрегатов, непрочно связанных по различным причинам с основным массивом почвы.

II. При дальнейшем продолжении воздействии потока наступает следующий период. Во время этого периода прекращается смыв верхнего разрыхлённого слоя и наступает так называемый «инкубационный» период, при котором выступы накапливают деформации и повреждения в результате воздействия склонового стока (протекающие по-разному для различных значений скоростей потока, а также свойств почвы).

III. Этот период наступает тогда, когда выступы, агрегаты, отдельные части начинают отрываться в массовом порядке. Оторванная отдельность мгновенно уносится потоком. В результате протекания этого периода с поверхности

почвы удаляются «утомлённые» выступы, в русле появляются углубления и выступы. Поверхность становится волнистой, ямчато-бугристой.

IV. После завершения III периода наступает так называемый период стабилизации, при котором интенсивность эрозии резко снижается. Причиной этого, по-видимому, следует считать снижение скорости течения склонового стока, а также увеличение шероховатости поверхности почвы и вследствие этого снижение и так пониженных значений придонных скоростей потока, непосредственно воздействующих на выступ шероховатости.

В итоге, работа склонового потока затрачивается на трение, преодоление сил сопротивления, обусловленных шероховатостью поверхности дна потока, на преодоление сил связности между агрегатами и на их отрыв. Однако, до сих пор не установлено с достаточной точностью, какая доля этой работы тратится на преодоление сил связности и какая на деформирование поверхности эродируемой почвы.

Опасность проявления эрозии почв при снеготаянии определяется совокупностью таких факторов, как климат, рельеф, почвообразующие и подстилающие породы, почвенный и растительный покров, хозяйственное использование земель. В силу этого, зная влияние отдельных факторов (или их сочетания) на интенсивность проявления эрозии почв, можно предупреждать или снижать неблагоприятные последствия посредством применения системы различных мероприятий и приемов.

Снег выполняет различные как природные, так и хозяйственные функции. Он является, с одной стороны, источником воды, необходимой для произрастания сельскохозяйственных культур и различных растений, а с другой – уменьшает потери тепла из почвы и тем самым оказывает влияние на температурный режим почв и грунтов. Доля твердых осадков в годовом количестве составляет 25–35 %.

Исследования показывают, что увеличение мощности снежного покрова повышает температуру почвы и уменьшает глубину её промерзания. Это, в свою очередь, способствует увеличению впитывающей способности мерзлой почвы и улучшению условий перезимовки сельскохозяйственных культур. В то же время таяние снега вызывает формирование водных потоков, приводящих к разрушению почвенного покрова и развитию эрозионных процессов.

Формирование стока, обусловленного таянием снега, зависит от сравнительно небольшого числа факторов. К наиболее важным из них относятся:

- тепловая энергия, необходимая для таяния, имеющегося на данной территории снега;
- пространственное распределение таящего снежного покрова;

- влагозапасы в снеге, влияющие на движение талой воды во время её переноса от поверхности снега к почве;
- инфильтрационная способность мерзлой почвы.

Опасность эрозии от стока талых вод в основном определяется запасами воды в снеге перед снеготаянием, интенсивностями снеготаяния и водоотдачи из снега. В зависимости от характера весны снеготаяние может быть радиационным и адвективным. Радиационное снеготаяние происходит днем при ясной погоде за счёт поглощения солнечной радиации. Оно начинается несколько позже восхода солнца и заканчивается несколько раньше его захода. Адвективное снеготаяние происходит при пасмурной погоде за счёт воздействия теплых воздушных масс. Этот процесс может усиливаться выпадением жидких осадков и продолжаться в течение круглых суток.

Таяние снега начинается при температуре около 0°C. Кристаллы снега покрываются тонкой водной пленкой и между кристаллами начинает скапливаться вода, масса которой может составлять от 3–5 % до 25 % массы снега. Дальнейшее увеличение массы воды приводит к просачиванию её через снежный покров к поверхности почвы.

Пока на почве имеется снег достаточной высоты, талая вода по её поверхности медленно движется вниз по склону. Скорость может достигать 10–60 см/мин. Однако она возрастает после образования в снеге дренажных каналов. Следовательно, когда достаточное количество талой воды достигает поверхности почвы, в слое талого снега на поверхности раздела снег-почва возникает поток, проходящий по поверхности мерзлой почвы.

Кроме того, на процесс формирования талого стока оказывает существенное влияние суточный ход температуры воздуха. Температура воздуха служит хорошим показателем энергии снеготаяния и является важной составляющей теплового баланса (в данном случае подразумевается функция разности температур между поверхностью снега и воздуха).

Смыв почвы при стоке талых вод в значительной мере определяется запасами воды в снеге перед снеготаянием и интенсивностью его таяния.

Известно, что скорость снеготаяния имеет линейную связь с положительной температурой воздуха. Следовательно, можно определить величину коэффициента снеготаяния в эрозионно-опасный период, когда появляются и растут проталины. Зададимся условием, что таяние в эрозионно-опасный период является заключительным этапом такого сложного явления как снеготаяние, которое характеризуется сформировавшимся к этому времени крупнозернистым снежным покровом и большой его пористостью по всей толще.

Вода, образующаяся при таянии на поверхности, под действием силы тяжести просачивается в снежный покров. Здесь выделим три разных периода этого процесса.

Первый из них длится время τ_1 от начала таяния до момента достижения потока воды поверхности почвы. Данный период характеризуется заполнением пор снежного покрова водой и, что более существенно, теплообменом между водой при 0°C и скелетом, имеющим отрицательную температуру. В результате подобного теплообмена температура воды и скелета выравнивается и принимает значение 0°C по всей толще снежного покрова.

Второй период длится от момента τ_1 до момента прекращения таяния снега на поверхности, когда суммарный приток тепла обращается в нуль. Обозначим длительность этого периода через τ_2 .

Наконец третий период просачивания воды, начинающийся в момент $\tau_1 + \tau_2$, завершается за время τ_3 , когда водоотдача к почве прекращается. С точки зрения водоотдачи из-под снежного покрова первый период – это время задержки водоотдачи, а третий – это время последствия таяния.

Особенность периода снеготаяния состоит в том, что длительность второго периода обычно много больше суммарной длительности первого и третьего, то есть $((\tau_1 + \tau_3) / \tau_2 \ll 1)$.

Интенсивность впитывания талой воды в почву в период снеготаяния зависит от глубины оттаивания почвы. Исследованиями ряда авторов (Сурмач, 1955; Сухарев, 1966; Субботин, 1966 и др.) выявлено, что оттаивание почвы может происходить при наличии снежного покрова как сверху (под действием просачивающейся талой воды), так и снизу (при слабом увлажнении и температуре почвы близкой к 0°C) за счёт тепла нижележащих горизонтов.

Большинство исследователей, изучавших процессы промерзания и оттаивания почв под лесными насаждениями, отмечают уменьшение глубины и степени промерзания, а также хорошую водопроницаемость почв под лесом.

Глубина полного оттаивания сезоннопромерзающих почв, во многом определяет соотношение инфильтрации и поверхностного стока талых вод.

Без учета незамерзшей воды можно считать, что теплота фазовых переходов при оттаивании полностью поглощается при температуре 0°C . Можно также принять, что мощность мерзлого слоя при таянии сверху изменяется линейно от момента начала оттаивания до момента смыкания верхнего и нижнего фронтов. После начала оттаивания изменение глубины залегания «подошвы» мерзлого слоя изменяется во времени также линейно.

Вопрос 2. Рельеф.

Поверхностный сток появляется на склонах и на почвах с недостаточной водопроницаемостью во время сильных дождей и снеготаяния. Величина поверхностного стока характеризуется коэффициентом стока (K_c), который определяется как отношение объема стекшей воды к объему выпавших осадков:

$$K_c = \frac{y}{x}, \text{ где}$$

y – сток воды, мм;

x – количество осадков, мм.

Осадки в виде снега также влияют на развитие эрозии. Интенсивность эрозионных процессов будет зависеть от мощности снежного покрова, глубины промерзания почвы и интенсивности снеготаяния.

Мощный снежный покров предохраняет почву от глубокого промерзания. При таянии снега непромерзшая почва лучше впитывает влагу, уменьшая тем самым поверхностный сток.

Интенсивность весеннего стока и эрозия во многом зависят от характера таяния снега, чем быстрее тает снег, тем интенсивнее эрозионные процессы. Наиболее быстрое таяние снега наблюдается на южных, юго-восточных и юго – западных склонах, которые сильнее нагреваются солнцем. На северных склонах снег сходит, как правило, на 5 – 10 дней позже, чем на южных. Поэтому эрозия от талых вод проявляется особенно сильно на южных склонах.

Влияние температуры воздуха на водной эрозии сказывается в основном в период снеготаяния, чем выше температура воздуха, тем быстрее таяние снега, что вызывает формирование большего стока.

Земная поверхность имеет возвышения, равнины и понижения. Совокупность форм горизонтального и вертикального расчленения земной поверхности называется рельефом местности. Положительные (выпуклые) и отрицательные (вогнутые) формы рельефа ограничены по сторонам различно ориентированными склонами.

Линия, проходящая по наивысшим точкам местности, называется водораздельной линией или водоразделом. Площадь, ограниченная водораздельной линией, называется водосборной площадью или водосбором, т.е. это площадь с которой вода стекает в разные стороны от водораздела в понижения.

Основную часть территории водосбора занимают склоновые земли. Склоны различают по форме, длине, крутизне и экспозиции.

По **форме склоны** бывают: выпуклые, прямые, вогнутые и сложные:

– у выпуклых склонов крутизна возрастает от водораздела к балкам, поэтому эрозия сильнее выражена в нижней части, где находятся самые крутые участки склонов;

– для прямых склонов характерна одинаковая крутизна по всей длине, что усиливает процессы эрозии вниз по уклону, в связи с увеличением массы стекающей воды;

– на вогнутых склонов большая крутизна отмечается в верхней части склона, уменьшаясь к подножью, в связи с этим верхняя часть подвержена наибольшим эрозионным процессам, а внизу происходит аккумуляция смытого выше материала;

– сложные имеют меняющуюся крутизну по длине склона, крутые участки чередуются с пологими.

Большое влияние на проявление эрозии оказывает **длина склона**, чем протяженнее склон, тем больше объем поверхностного стока, скорость течения и слой воды.

Под длиной склона понимают расстояние от водораздела до бровки элемента гидрографической сети по линии наибольшего уклона. Длина склонов зависит от степени расчлененности территории гидрографической сетью, о которой судят по коэффициенту расчлененности (К). Коэффициент расчлененности определяют делением длин всех звеньев гидрографической сети (ΣL , км) на площадь водосбора (S, км²):

$$K = \frac{\Sigma L}{S}, \text{ где}$$

ΣL – длина всех звеньев гидрографической сети, км;

S – площадь водосбора, км².

Длина склона зависит от коэффициента расчлененности и равна:

$$L = 1/2K$$

Поэтому чем больше степень расчлененности территории, тем короче склоны.

Существует также зависимость между коэффициентом расчлененности территории и площадью смытых почв, чем выше коэффициент, тем больше % смытых почв.

При движении с севера на юг наблюдается уменьшение крутизны склонов и увеличение их длины.

По классификации М.Н. Заславского склоны разделяются на:

Чрезвычайно короткие	протяженностью до 50 м
Очень короткие	от 50 до 100 м

Короткие	от 100 до 200 м
Средней длины	от 200 до 500 м
Повышенной длины	от 500 до 1000 м
Длинные	от 1000 до 2000 м
Очень длинные	от 2000 до 4000 м
Чрезвычайно длинные	более 4000 м

Под уклоном местности (I) понимают величину отношения разности высот двух точек на линии наибольшего падения склона Δh к горизонтальной проекции расстояния между ними b :

$$I = \Delta h/b = \operatorname{tg}\alpha$$

где α – угол между линией, проходящей через эти две точки, и горизонтальной плоскостью. Величина угла α является мерой крутизны склона. **Уклон можно выразить в градусах, радианах и процентах.**

Водная эрозия начинает формироваться на местности, имеющей уклон (крутизну) более 1° , ее принято считать эрозионно опасной.

Классификация склонов по крутизне (Брауде, 1959)

Склоны	Крутизна
Слабопологие	до 1°
Пологие	$1 - 2^\circ$
Покатые	$2 - 5^\circ$
Покато – крутые	$5 - 9^\circ$
Крутые	$9 - 20^\circ$
Очень крутые	$20 - 30^\circ$
Чрезвычайно крутые	$30 - 45^\circ$
Обрывистые	$45 - 70^\circ$
Отвесные	$70 - 90^\circ$

Важным фактором эрозии является экспозиция склона. Ее влияние на эрозию определяется, опосредовано в связи с различиями микроклимата, почв и растительности. Склоны разной экспозиции имеют разные амплитуды температурных колебаний и режимы увлажнения. Южные и западные склоны страдают от эрозии больше, чем северные и восточные. Наиболее сильно экспозиция склонов влияет на эрозию почв в весеннее время. Весной на южных склонах снег сходит быстрее, и талые воды, двигаясь по обнаженной оттаявшей почве, вызывают ее эрозию. Почвы склонов северной экспозиции в это время находятся в мерзлом состоянии, прикрыты снегом и не подвергаются эрозии.

Доля средне- и сильноосмытых дерново – подзолистых почв на склонах, %
(Лидов, 1981)

Экспозиция склона	Крутизна склона			
	2 – 3°	3 – 4°	4 – 5°	5 – 6°
Южная и западная	2 – 3	25	33	55
Северная и восточная	0	17	15	14

Вопрос 3. Почвенные факторы.

На развитие эрозии оказывает влияние материнская почвообразующая порода. Свойства почвы во многом зависят от минералогического, химического и механического состава материнской породы. Они определяют водно – физические свойства, воздушный и пищевой режимы почвы. Наиболее важными факторами, влияющими на противоэрозионную устойчивость почв, являются водно – физические свойства подстилающей породы.

Противоэрозионная стойкость почв характеризуется способностью почвы противостоять смывающему действию водного потока, которая определяется размером водопрочных агрегатов и их сцеплением друг с другом. Остальные свойства почв (гранулометрический состав, структура, водопрочность, водопроницаемость, уровень плодородия, влажность и плотность) влияют на противоэрозионную стойкость косвенно через эти показатели.

Значительное влияние на противоэрозионную стойкость почв оказывает **гранулометрический состав**. Так из двух почв одинакового генетического типа большей противоэрозионной стойкостью обладает более тяжелая по гранулометрическому составу почвы, содержащая больше илистой фракции, способной к структурообразованию. Высокое содержание фракции крупной пыли (0,05 – 0,01 мм) значительно снижает водопрочность структуры.

Водопроницаемость в основном определяется механическим составом легких почв (песок, супесь), оструктуренностью тяжелых почв (суглинки, глины), а также плотностью и влажностью верхнего горизонта почв. Наибольшей водопроницаемостью обладают песчаные почвы. На водопроницаемость суглинков и глин большое влияние оказывает размер почвенных агрегатов и пор. Чем почва более оструктурена, тем выше ее водопроницаемость, тем меньше опасность появления интенсивного поверхностного стока и эрозии.

Пески (размеры зерен 1 – 0.05 мм) преимущественно состоят из обломков кварца (SiO_2). По составу минеральных примесей выделяют глинистые, карбонатные, слюдяные, железистые и др. пески. Пористость 35 – 50 %. При отсутствии или малой примеси глинистых частиц пески теряют связность и легко эродировать. Наиболее податливы эрозии мелко- и среднезернистые пески.

Лессы (пылеватые, иловатые породы с преобладающим размером зерен 0.05 – 0.005 мм) имеют рыхлую неслоистую структуру, светло-желтой окраски, общей пористостью 40 – 56 %. По трещинам при высыхании, или при обвальных явлениях образует вертикальные стенки. Состоит из пылеватых частиц кварца, карбонатов (например, CaCO_3), глинистых. Карбонаты способны растворяться в воде, что приводит к неравномерному уплотнению и оседанию лессовой толщи с образованием западин. Лессовые почвы и грунты легко поддаются эрозии. Чем меньше в них глинистых примесей, тем выше эрозионная способность.

Глинистые породы (размеры зерен менее 0,005 мм) состоят из *глинистых минералов*, содержащих алюминий, например, глинозем Al_2O_3 , каолинит $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$, нефелин $\text{KNa}_3\text{O}[\text{AlSiO}_4]_4$, а также из примесей: кварц, карбонаты, гидроокислы железа, полевые шпаты (природные алюмосиликаты). Чем больше присутствие глинистых минералов и меньше примесей, тем сильнее проявляются такие свойства глины, как *связность* (сцепление между частицами) и *пластичность* (способность к необратимым деформациям, годность для лепки). Благодаря связности, присутствие глинистых частиц в почве снижает ее эродируемость (способность к размыву и ветровому воздействию). Глинистые, карбонатные и глинисто-карбонатные отложения относятся к хемогенным и органогенным породам, образующимся в водоемах (озерах, морях, океанах). При осаждении скелетов морских организмов образуются карбонатные породы ($\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$), которые превращаются в известняки, доломиты ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$) – монолитную породу, цементируемую хемогенным кальцитом.

Важнейшим показателем качества структурных агрегатов является их прочность по отношению к воде. На прочность структурных агрегатов большое влияние оказывает содержание в почве гумуса, илистой фракции, состав поглощающего комплекса почвы.

Гумус способен склеивать частицы почвы в водопропрочные агрегаты, поэтому, чем выше содержание гумуса, тем более высокую противозерозивную стойкость имеют почвы.

Вопрос 4. Растительность.

Растительность всех видов является мощным противоэрозионным фактором. Степень влияния растительного покрова зависит от ее вида и состояния: чем она лучше развита и больше ее густота, тем значительно больше почвозащитная и водорегулирующая роль растительности. Противоэрозионная роль растительности многообразна. Она проявляется в уменьшении ударной силы капель дождя и, следовательно, предохраняет от разрушения агрегаты почвы, так как большая часть осадков сначала попадает на поверхность растений, а затем стекает на почву. Некоторое количество осадков задерживается надземной частью растений, не достигает земли и поэтому не участвует в формировании поверхностного стока. Наблюдения показали, что культурные растения способны задержать до 11 % атмосферных осадков, а древесная растительность 30 %.

У сельскохозяйственных растений, за исключением многолетних трав, соотношения между надземной и корневой массой иные. Так, у зерновых культур при урожайности зерна 3 т/га надземная масса равна 6 т/га, а подземная – не более 2-3 т/га. Вследствие этого корни зерновых, зернобобовых и других сельскохозяйственных культур не могут защитить почву от эрозии. Тем более этого нельзя ждать на участках, занятых пропашными культурами, и на паровых полях.

По защитным свойствам растительность можно расположить в следующем порядке:

1. Лесные насаждения (естественные и искусственно созданные);
2. Травянистая естественная растительность;
3. Плодовые насаждения при задернении междурядий;
4. Сельскохозяйственные посевы.

Из сельскохозяйственных культур наиболее надежно защищают почву от эрозии многолетние травы, особенно злаково-бобовые травосмеси. Многолетние травы в течение всего года прикрывают почву, обогащают ее органическим веществом, восстанавливают структуру, улучшают водно-физические свойства.

На втором месте стоят густопокровные озимые культуры, которые защищают почву осенью, весной и летом (до середины июля).

Третье место занимают яровые колосовые культуры. Они защищают почву в течение 2 – 3 месяцев летом от ливневой и ветровой эрозии.

На четвертом месте стоят пропашные культуры, защитные функции которых очень слабые и которые могут способствовать развитию эрозии на склонах с большим уклоном.

Максимальные выдувание и смыв почвы наблюдаются на склонах без растительности и на паровых полях.

Проективное покрытие почвы растениями должно быть максимальным, (более 60%), особенно в летнее месяцы с интенсивным осадками. Проективное покрытие почвы различными культурами в течение вегетационного периода различно:

Проективное покрытие почвы, %

Культуры	Месяцы					
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Многолетние травы	80	100	100	100	100	100
Озимые зерновые	40	50	100	80	20*	–
Яровые зерновые Зернобобовые Однолетние травы	–	20	60	100	15*	15*
Картофель	–	5	20	100	80	80
Кормовая свекла	–	5	20	50	100	100

* - проективное покрытие от стерни

Таким образом, наибольшее положительное влияние сельскохозяйственных культур на противозерозионную стойкость почв наблюдается в период их максимального развития: конец лета – начало осени и самый высокий процент у многолетних трав.

Растительность является мощным фактором воздействия человека на эрозионные процессы.

Ускоренная эрозия в современных условиях – это чаще всего воздействие нерациональной деятельности человека.

Одна из причин проявления эрозии кроется в том, что при определении специализации хозяйств, при размещении угодий, подборе культур в севооборотах, размещении всех линейных элементов организации территории не учитывается опасность ее развития. Также причинами, как правило, является отсутствие или не выполнение научно обоснованных рекомендаций по рациональной хозяйственной деятельности с учетом всех факторов эрозии почв.

Человек способен регулировать эрозионные процессы, но не полностью.

В процессе практической деятельности человек оказывает на почву прямое или косвенное воздействие. Занимаясь строительством зданий и промышленных объектов, прокладкой дорог, водо- и газопроводов, разработкой полезных ископаемых, человек оказывает на почву прямое воздействие. Выращивая культурные растения, он оказывает на почву косвенное воздействие, отчуждая различные соединения в виде урожая. Вместе с тем земледелие может способствовать и прямому воздействию:

- механическое перемешивание верхних горизонтов с образованием подплужной поверхности при длительной вспашке на одну и ту же глубину;
- применение гребневой и грядовой технологий возделывания пропашных культур, при которых возможно возникновение ирригационной эрозии в виде размыва поливных борозд;
- размыв и обвалы стенок осушительных или оросительных каналов при неправильной эксплуатации мелиоративной системы;
- длительная пастьба скота без соблюдения пастбищеоборотов приводит к развитию пастбищной эрозии почв;
- нарушение технологии проведения культуртехнических работ, связанных с циклами работ по корчевке деревьев и кустарников, сгребанием их в кучи, сжиганием, вспашкой и дискованием верхнего слоя почвы и т.д. Если названные работы проводятся не своевременно, наступает такое состояние почвенной поверхности, когда она подвергается эрозионным и дефляционным процессам.

Заславский М.Н. предложил классификацию природных процессов, приводящих к деградации почв, разделив их на 4 группы в зависимости от влияния человека на них:

1. Процессы, которые не могут быть предотвращены человеком – тектонические движения земной коры, землетрясения, извержения вулканов, ураганы и т.п.;

2 Процессы, интенсивность которых в той или иной степени зависит от человека, снежные лавины, оползни, осыпи, сели, эрозия почв;

3. Процессы, вызванные антропогенным фактором. В эту группу входят: оседание почвы, вторичное засоление почв, осушение торфяников и т.п.;

4. Антропогенные процессы – деградация почв при разработке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых, при лесозаготовках при проведении геологоразведочных работ, при несоответствии агротехники местным почвенно-климатическим условиям и т.п.

Лекция 4. Факторы ветровой эрозии почв

Вопрос 1. Климатические факторы.

Земная атмосфера представляет собой механическую смесь газов, именуемую воздухом, с взвешенными в ней твердыми и жидкими частицами. Для количественного описания состояния атмосферы в отдельные моменты времени вводится ряд величин, которые называются метеорологическими величинами: температура, давление, плотность и влажность воздуха, скорость ветра и др. Кроме того, вводится понятие атмосферного явления, под которым понимают физический процесс, сопровождающийся резким (качественным) изменением состояния атмосферы. К атмосферным явлениям относятся: осадки, облака, туман, гроза, пыльные бури и др. Физическое состояние атмосферы, характеризуемое совокупностью метеорологических величин и атмосферных явлений носит название погоды.

Главная причина возникновения движения воздуха – неоднородное нагревание атмосферы Солнцем. Другая причина глобального движения атмосферы – вращение Земли вокруг своей оси. Обе эти причины приводят к возникновению неоднородности барического поля (поля атмосферного давления), к возникновению барических градиентов.

Систему крупномасштабных воздушных течений над Землей называют, общей циркуляцией атмосферы. Характерной её особенностью является наличие фронтальных зон, разделяющих воздушные массы с разными физическими свойствами, и огромных вихрей – циклонов и антициклонов – порожденных движением этих масс. В зависимости от места формирования различают арктические (в южном полушарии – антарктические), полярные (умеренного пояса), тропические и экваториальные воздушные массы. На общую циркуляцию накладываются местные циркуляции – бризы (на побережьях), горно-долинные ветры, ледниковые ветры и др.

Для пыльных бурь характерны наибольшие интенсивность и продолжительность. Менее продолжительные пыльные бури возникают в зоне усиления ветра перед движущимися холодными фронтами. Их называют фронтальными пыльными бурями.

Значительный вклад в общую циркуляцию атмосферы вносят так называемые местные ветры. Происхождение их различно. Они могут быть проявлением местных циркуляций, не зависящих от общей, но могут заключаться во внесении изменений в общую циркуляцию, например в результате взаимодействия потока с горной системой или выступающими элементами рельефа (фён, бора, горно-долинные ветры, бризы и т.д.).

При определенных условиях все составляющие общей циркуляции атмосферы могут сопровождаться явлением ветровой эрозии почв, что приводит к запылению атмосферы. В метеорологии явление переноса частичек грунта сильным ветром называется пыльной бурей. Горизонтальная протяженность пыльной бури – от десятков и сотен метров до нескольких тысяч километров, а вертикальная – от нескольких метров до нескольких километров.

Скорость ветра закономерно изменяется в течение суток, вместе с ней изменяется и интенсивность процессов ветровой эрозии почв. Очевидно, что чем продолжительнее ветер, имеющий скорость больше критической, тем больше будут потери почвы.

Обычно скорость ветра в течение дня возрастает, достигая максимума к полудню, а к вечеру убывает. Однако нередки случаи, когда интенсивность ветровой эрозии слабо изменяется в течение суток.

Скорость ветра подвержена также закономерным сезонным изменениям. Наибольшие скорости ветра характерны для поздней зимы и ранней весны. Период сильных ветров совпадает с периодом отсутствия достаточного растительного покрова.

Основанием для анализа ветрового режима территории служат данные метеостанций. Скорость ветра измеряют на высоте флюгера метеостанции (10–15 м над поверхностью) с помощью чашечных анемометров, анемометров (самописцев для измерения скорости) и анеморумбографов (самописцев для измерения скорости и направления ветра). Измерения производят через каждые 3 ч. Ветровой режим территории характеризуют величинами средних годовых и месячных скоростей ветра, а также показателями обеспеченности и направления ветров разной силы.

Атмосферные осадки, увлажняя почву, увеличивают межагрегатное сцепление и, следовательно, её противодефляционную стойкость. Кроме того, атмосферные осадки и колебания температуры оказывают значительное механическое воздействие на структуру почв. Результаты этого воздействия зависят не только от его особенностей (размера капель, интенсивности и продолжительности дождя, количества циклов увлажнения-иссушения или замерзания–оттаивания), но и от свойств почвы.

Известно, что влияние попеременного увлажнения почвы дождем и иссушения ветром приводит к консолидации частиц поверхностного слоя, сопровождающаяся увеличением его противодефляционной стойкости. Степень консолидации зависит от гранулометрического и солевого состава, а также от качества органического вещества. Увлажнение почвы атмосферными осадками увеличивает противодефляционную стойкость и, как правило,

снижает вероятность проявления ветровой эрозии. В то же время оно не может обеспечить защиту почвы от выдувания в течение длительного времени. При достаточно сильном и сухом ветре противодефляционная стойкость почвы в результате иссушения довольно быстро уменьшается до величины, достаточной для возникновения ветровой эрозии.

Огромное влияние на противодефляционную стойкость почвы оказывает также температурный режим. Чередование положительных и отрицательных температур в течение суток сопровождается попеременным промерзанием и оттаиванием поверхностного слоя почвы. Если эти явления продолжаются достаточно долго, а почва при этом находится во влажном состоянии, то происходит существенное уменьшение её противодефляционной стойкости.

Наиболее существенным в отношении ветровой эрозии почв является опосредованное влияние атмосферной влаги и температурного режима через биологические факторы такие, как защитное действие растительности и структурообразующая роль живых организмов.

Вопрос 2. Топографические факторы.

Рельеф также оказывает влияние на характер изменения значений метеорологических величин и, следовательно, на размах и интенсивность процессов ветровой эрозии. В то же время ветер часто сам выступает мощным фактором рельефообразования.

Взаимодействие элементов рельефа с воздушным потоком подчиняется законам аэромеханики. В соответствии с этими законами любые неровности на поверхности Земли оказывают тормозящее действие на воздушный поток. Поэтому скорость ветра на уровне почвенной поверхности на любых элементах рельефа всегда меньше скорости ветра в свободной атмосфере. В то же время элементы рельефа сильно различаются между собой по величине скорости ветра. В условиях равнинного пересеченного рельефа при одном и том же ветре в свободной атмосфере его скорость на уровне почвенной поверхности увеличивается при движении вверх по склону и уменьшается при движении вниз по склону. Это объясняется тем, что движение вверх по склону сопровождается уменьшением живого сечения воздушного потока, а движение вниз по склону – увеличением живого сечения. Из положений аэромеханики следует, что уменьшение живого сечения потока при постоянном напоре сопровождается увеличением его скорости. Степень измерения скорости ветра при этом зависит от скорости в свободной атмосфере, от местоположения в рельефе и от самого рельефа. Это же явление, изменение скорости ветра с изменением живого сечения воздушного потока объясняет, механизм

усиления ветровой эрозии грунтов и почв в так называемых «ветровых коридорах».

Изменение скорости ветра в зависимости от рельефа определяет особенности развития процессов ветровой эрозии и закономерности распределения дефлированных и погребенных эоловыми наносами почв на склонах. На наветренных склонах скорость ветра на уровне поверхности почвы увеличивается при движении вверх по склону. Это является причиной того, что почва наветренных склонов сильнее страдает от ветра, чем подветренных. По этой же причине почвы выступающих элементов рельефа при прочих равных условиях оказываются сильнее дефлированными, чем почвы равнины или пологих склонов. В связи с этим, порядок распределения дефлированных почв на склоне принципиально отличается от порядка распределения смытых водными потоками: степень дефлированности увеличивается при движении вверх по наветренному склону.

Форма и крутизна склона также оказывают влияние на ход процесса ветровой эрозии почв, причем это влияние аналогично влиянию на ход процесса водной эрозии. Сильнее всего от дефляции страдают почвы выпуклых склонов, в меньшей степени – вогнутых.

Чем больше крутизна склона, тем больше потери почвы от ветровой эрозии. Элементы рельефа, представляя собой, выступы шероховатости, оказывают сопротивление движущемуся потоку воздуха. При этом в подветренной зоне у этих препятствий образуются вихри, которые периодически покидают подветренную зону и смешиваются с основным потоком. С течением времени эти вихри рассеиваются, а их кинетическая энергия переходит в кинетическую энергию отдельных молекул. Следовательно, часть кинетической энергии потока после взаимодействия его с выступом шероховатости переходит в тепло.

В том случае, когда выступы шероховатости состоят из тонкодисперсного несвязного материала такого, как распыленный грунт, часть кинетической энергии потока в процессе взаимодействия с выступом может перейти в работу по отрыву и перемещению этих тонкодисперсных частиц. Это происходит в том случае, когда скорость потока у вершины выступа превосходит критическую для материала, слагающего выступ. Это обуславливает неоднозначное влияние нанорельефа на процесс ветровой эрозии почв.

Вопрос 3. Почвенные факторы.

Свойства почв, оказывающие влияние на процесс ветровой эрозии, можно, исходя из механизма их влияния, разделить на две группы: непосред-

ственно влияющие на противодефляционную стойкость; опосредованно влияющие на их противодефляционную стойкость и интенсивность процесса ветровой эрозии.

К первой группе относятся агрегатный состав, плотность агрегатов, межагрегатное сцепление. Ко второй группе относятся комплекс физических, химических и физико-механических свойств, которые определяют количественные характеристики свойств почв, составляющих первую группу. Такое разделение свойств почв на две группы позволяет проследить влияние любого свойства на процесс ветровой эрозии и на противодефляционную стойкость почв.

Кроме того, именно количественные характеристики почвенных свойств, составляющих первую группу, являются аргументами в уравнениях критических скоростей ветра, при которых начинается дефляция, а также в уравнениях переноса почв и грунтов воздушным потоком. Свойства почв, составляющие первую группу, претерпевают в течение года существенные изменения под действием остальных факторов ветровой эрозии и при прочих равных условиях определяются свойствами почв, составляющими вторую группу.

Сильнейшим из факторов ветровой эрозии является антропогенный. В результате человеческой деятельности агрегатный состав различных почв и грунтов в течение года изменяется. Изменяется плотность агрегатов, причем часто в неблагоприятную сторону, происходит их переуплотнение. Изменениям подвержено и межагрегатное сцепление.

Различия между частицами в их устойчивости к действию ветра объясняются в первую очередь различиями в размере и плотности, хотя влияние формы частиц и плотности их упаковки в поверхностном слое также имеют значение. Большое значение может иметь и сила межагрегатного сцепления, обусловленная водными пленками, корнями растений, а также клеящими органическими веществами – продуктами жизнедеятельности живых организмов.

Механизм развития ветровой эрозии – физический процесс взаимодействия воздушного потока с поверхностью почвы. Легче всего по поверхности перемещаются почвенные агрегаты размером 0,1–0,5 мм, которые под воздействием ветра приобретают вращательное движение с частотой 200–1000 в мин⁻¹. Агрегаты диаметром от 0,6 до 1 мм передвигаются перекатываясь, трутся друг о друга, ударяются, разрушаются, увеличивая тем самым количество наиболее эрозионно-активных (0,1–0,5 мм). Эрозионноопасные частицы обладают большой разрушительной силой, перемещаясь скачкообразно, они разбивают более крупные комки, повреждают посевы.

Частицы менее 1 мм в диаметре являются эрозионно-опасными, крупнее 1 мм – ветроустойчивыми. Таким образом, устойчивость почвы к дефляции можно оценить по комковатости поверхности, то есть наличию ветроустойчивых агрегатов. При количестве почвозащитных агрегатов меньше 50% в воздушно-сухой почвы риск выдувания сильно возрастает, поэтому эту степень комковатости считают критической, или эрозионно-опасной. Порог устойчивости почвы к ветровой эрозии при отсутствии на поверхности пожнивных остатков наступает при комковатости 50–55 %.

Из общих соображений следует, что срывающая сила должна быть прямо пропорциональна силе сцепления между агрегатами. Однако успешных примеров измерения сил межагрегатного сцепления в том их диапазоне, в котором ещё возможно сдувание почв обычными ветрами, пока нет. Поэтому их чаще всего не учитывают в явном виде в формулах для расчёта критической скорости ветра.

Грунт представляет собой совокупность почвенных агрегатов самого разного размера, поэтому применяют несколько показателей, характеризующих агрегатный состав данного слоя в отношении устойчивости к действию ветра. Наиболее широко используемым показателем является так называемая комковатость слоя грунта, представляющая собой долю агрегатов в почве (%), имеющих размер более одного миллиметра. Этот показатель рассчитывают по результатам анализа агрегатного состава почв с помощью набора сит. Комковатость характеризует с некоторой точностью противодефляционную стойкость почв. Теснота связи и форма зависимости критической скорости ветра от комковатости изучена недостаточно. Несмотря на это комковатость может быть использована для относительной оценки устойчивости почв разного агрегатного состава к действию ветра. Оценку противодефляционной стойкости почвы и грунта производят не по величине комковатости, а по величине критической скорости ветра, при которой начинается ветровая эрозия.

В условиях одинаковой системы механической обработки почв и при прочих равных условиях различия в агрегатном составе и устойчивости их к ветру будут определяться комплексом свойств второй группы. На практике комплекс свойств, отнесенных ко второй группе, оказывает существенное влияние на выбор системы земледелия. Следовательно, различия между почвами в противодефляционной стойкости обусловлены комплексным влиянием свойств почвы, отнесенных ко второй группе, и характером их обработки. Тем не менее, представляется возможным оценить влияние каждого из свойств, отнесенных ко второй группе, на противодефляционную стойкость почв и на ход процесса ветровой эрозии.

Гранулометрический состав – один из главных факторов, определяющих структурное состояние почвы грунта и их противодефляционную стойкость. Сильнее всего подвержены ветровой эрозии наиболее легкие и наиболее тяжелые по гранулометрическому составу частицы почвы и грунта. Легким почвам не хватает цементирующего материала (глины, ила и мелкой пыли) для формирования достаточно крупных и механически прочных структурных отдельностей. В тяжелых по гранулометрическому составу почвах цементирующего материала достаточно, однако они, в силу своего генезиса характеризуются относительно пористой мелко комковатой или комковато-зернистой структурой имеющей низкую противодефляционную стойкость. При прочих равных условиях наиболее устойчивыми оказались почвы с содержанием глины 27 % и с максимальным возможным содержанием пыли. Увеличение содержания глины сверх 27 % сопровождается увеличением подверженности почв ветровой эрозии.

Гранулометрический состав оказывает влияние не только на противодефляционную стойкость, но и на характер развития процесса ветровой эрозии. В ходе переноса частиц почвы ветром происходит их разрушение, а также истирание грунтовой поверхности скачущими частицами. Оба процесса приводят к увеличению содержания в зоне дефляции мелких, легко перемещаемых ветром частиц, и оба зависят от прочности (связности) почвенных агрегатов.

Многочисленными наблюдениями установлено, что высокое содержание специфических органических веществ обеспечивает почве хорошие технологические качества и низкую противодефляционную стойкость. Так, например, чернозёмы, содержащие больше гумуса, содержат больше и мелких агрегатов по сравнению с каштановой почвой и более податливы ветровой эрозии.

Возделывание сельскохозяйственных культур приводит к попаданию растительных остатков (корневая система и надземные части растений) в почву или на её поверхность. Агрегирующее действие растительных остатков проявляется только после появления в почве первых продуктов их разложения, которые являются клеящими веществами. Чем больше растительных остатков в грунте, тем сильнее и дольше проявлялось их агрегирующее действие. Однако агрегирующее действие первых продуктов разложения высших растений является временным. Причина этого в том, что продукты разложения сами разлагаются под действием различных микроорганизмов. Внесение растительных остатков в почву в этом отношении менее эффективно, чем оставление их на поверхности, где они разлагаются гораздо медленнее,

чем в почве, и поэтому дольше служат источником пополнения грунта клеящими веществами, а также средством защиты почвы от ветра.

С течением времени начальные продукты разложения растительности постепенно утрачивают клеящие свойства или в результате замещаются вторичными продуктами разложения. Механические силы, возникающие при расширении и сжатии грунта в результате увлажнения, высыхания, замерзания или оттаивания, разрушают вторичные цементы и, следовательно, крупные первичные и вторичные агрегаты, с образованием гранулированной структуры, которая отличается повышенной водопрочностью, но сообщает почве пониженную противодефляционную стойкость и повышенную дефлируемость. Чем больше растительных остатков было внесено в грунт, тем в большей степени выражено их последствие.

Богатые гумусом почвы в большей степени, чем другие, подвержены ветровой эрозии ещё и потому, что они менее других подвержены образованию на их поверхности почвенной корки. Образование почвенной корки не только приводит к увеличению противодефляционной стойкости, но и сопровождается уменьшением интенсивности сдувания почвы и сокращением общего объёма потерь почвы от ветровой эрозии. Потери почвы с открытой поверхности полей, покрытых коркой, в среднем в 6 раз меньше, чем потери с полей без корки, независимо от гранулометрического состава почвы.

Тем не менее, положительный вклад первичных продуктов разложения растительности в повышение устойчивости почвы к ветру не позволяет компенсировать отрицательный вклад вторичных продуктов разложения.

Химический состав почв. При прочих равных условиях в наибольшей степени ветровой эрозии подвержены почвы, богатые не только органическим веществом, но и карбонатами. Это относится к почвам тяжелого и среднего гранулометрического состава.

Исследования показали, что количество почвы, уносимого ветром при постоянной скорости с единицы поверхности, определяемое с помощью аэродинамической установки, возрастает с увеличением содержания карбонатов. Влияние карбонатов прослежено вплоть до их концентрации в почве равной 4,7 %.

Состав поглощенных оснований в значительной степени определяет структурность почвы и, следовательно, её противодефляционную стойкость, однако прямых измерений влияния поглощенных оснований на противодефляционную стойкость почв и интенсивность дефляции проведено очень мало. Связано это, по-видимому, с тем, что эффект влияния поглощенных оснований очень трудно вычленишь, так как этот эффект входит в результат действия других более мощных факторов.

Вода в почве положительно влияет на её противодефляционную стойкость. Заполнение пор агрегатов суглинистых и глинистых почв водой приводит к увеличению их веса и, следовательно, критической скорости ветра, необходимой для перемещения этих агрегатов. По мере увлажнения грунта на поверхности почвенных частиц образуются водные пленки, смыкание которых на контактах между частицами приводит к возникновению межагрегатного сцепления. Сила сцепления прямо пропорциональна содержанию воды в грунте. Эта сила соизмерима с весом тех мелких почвенных частиц, которые обычно переносятся ветром. Появление сил межагрегатного сцепления приводит к увеличению противодефляционной стойкости почвы и уменьшению интенсивности ветровой эрозии. В естественных условиях ветры редко достигают силы, достаточной для преодоления межагрегатного сцепления, обусловленного водными пленками, при содержании воды в грунте, соответствующем влажности устойчивого завядания растений. Факт увеличения устойчивости почвы и грунта к сдуванию ветром по мере увеличения его влажности известен очень давно, однако количественно эта зависимость до сих пор недостаточно оценена.

В значительной степени это обусловлено чисто техническими трудностями, связанными с тем, что именно в поверхностном слое, где разворачиваются процессы взаимодействия воздушного потока с почвой или грунтом, их влажность подвержена очень быстрым изменениям.

Почвенная влага оказывает существенное, но непродолжительное положительное влияние на противодефляционную стойкость почв. Поверхностный, очень тонкий слой почвы, толщиной порядка единиц миллиметров, очень быстро иссушается и, в большинстве случаев, если скорость ветра достаточна, сдувается. Обнажившийся более влажный слой грунта некоторое время противостоит дефляции, но, по мере иссушения, затем также сдувается. Этот процесс может продолжаться как угодно долго в зависимости от других факторов ветровой эрозии грунта.

Противодефляционная стойкость почвы по физическому смыслу характеризует её способность противостоять сдувающему действию воздушного потока. Количественно она выражается величиной скорости начала массового движения частиц, которая непосредственно определяется размером, плотностью и сцеплением агрегатов и комков. Остальные свойства грунта влияют на противодефляционную стойкость опосредованно, через эти показатели.

Способность почвы противостоять сдуванию ветром характеризуется противодефляционной стойкостью однозначно: почве в данном состоянии соответствует единственная величина скорости начала массового движения частиц.

Для оценки способности почвы противостоять сдуваемому воздействию ветра также используют такой показатель, как дефлируемость. Дефлируемость (ранее – эродлируемость 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. Дефлируемость характеризует скорее податливость почв ветровой эрозии, по сравнению с их сопротивляемостью. 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.

Ветровой эрозии обычно подвергаются несвязные почвы, обладающие свойством сыпучести. Связные почвы, не обладающие сыпучестью, редко подвергаются ветровой эрозии по причине весьма высокой противодефляционной стойкости.

Для качественной оценки противодефляционной стойкости грунтов по результатам определения критической скорости ветра предложена шкала. Противодефляционная стойкость считается достаточной, если скорость начала массового движения частиц почвы на высоте флюгера метеостанции превышает характерную для данной территории скорость ветра требуемой обеспеченности. При расчёте 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.

Противодефляционная стойкость почв, не обладающих межагрегатным сцеплением, изменяется в весьма широком диапазоне скоростей. Очень низкой противодефляционной стойкостью отличаются распыленные черноземы.

Вопрос 4. Растительность.

При взаимодействии с растением структура воздушного потока изменяется: увеличивается интенсивность турбулентности и уменьшается средняя скорость. Слой, в котором увеличилась интенсивность турбулентности, называется турбулентным следом. Турбулентный след, образующийся за группой растений, выполняет роль буфера, который приводит к «расслоению» пограничного слоя атмосферы, сопровождающемуся ослаблением турбулентного обмена между выше- и нижележащими слоями воздуха. Степень изменения воздушного потока зависит от скорости набегающего потока и от

структуры растительного покрова. Чем больше высота растительного покрова, тем больше расстояние, на котором проявляется его воздействие на воздушный поток. Это расстояние является сложной функцией не только высоты, но и формы и механических свойств растений, а также скорости набегающего потока.

Чем больше скорость ветра, тем длиннее турбулентный след растения в потоке. Снижение скорости ветра наблюдается не только в подветренной зоне, но и в наветренной. В результате этого, вокруг одиночного растения, обтекаемого воздушным потоком, образуется зона, в которой скорость ветра снижена по сравнению со скоростью в набегающем потоке. Полезной частью этой зоны будет та, в которой скорость будет меньше, чем критическая для данной почвы. Назовём её защитной зоной. Если растения расположить на поле так, что их защитные зоны займут всю поверхность поля, оно будет полностью защищено от выдувания.

Увеличение скорости ветра приводит к уменьшению зоны, защищаемой отдельным растением. Поэтому может быть достигнута такая скорость, при которой, несмотря на наличие растительности, начнется перенос почвы ветром. Эта скорость и будет критической для данного агробиогеноза. Очевидно, следует ожидать увеличения критической скорости ветра для почвы данного поля, с увеличением суммарной поверхности покрывающей его растительности или пожнивных остатков (при условии неизменности свойств почвы).

В диапазоне очень малых значений плотности растительного покрова, характерных, например, для всходов овощных и технических культур рядкового сева, при низкой интенсивности турбулентности набегающего потока увеличение плотности растительного покрова сопровождается повышением опасности ветровой эрозии. Это явление характерно для полей с молодыми всходами сахарной свеклы, моркови, лука. При этом опасность эрозии в условиях одинаковой плотности растительного покрова тем больше, чем длиннее и тоньше листья.

Снижение противодефляционной стойкости агробиогеноза в результате появления всходов можно объяснить тем, что ядро турбулентного следа ростков в воздушном потоке располагается непосредственно у почвенной поверхности. При этом средняя скорость ветра в непосредственной близости к почвенной поверхности уменьшается, однако увеличивается интенсивность турбулентности, а с ней и мгновенные скорости. Повышение опасности ветровой эрозии связано, по-видимому, с превышением максимальными пульсациями критической для почвы данного агробиогеноза скорости.

Для того чтобы снизить опасность ветровой эрозии почв, необходимо обеспечить условия для снижения средней скорости в ядре турбулентного следа или для вытеснения его на достаточную высоту над поверхностью. С этой целью рекомендуется создание определенной плотности растительного покрова, которое достигается мульчированием поверхности пожнивными остатками с осени, посевом промежуточных культур, расположением посевов разных культур чередующимися полосами, устройством кулис и ползащитных лесных полос.

Помимо воздействия на структуру потока растительность оказывает влияние и на метеорологические величины приземного слоя, такие, как температура и относительная влажность воздуха, которые опосредованно, через влажность поверхностного слоя почвы влияют на её противодефляционную стойкость. Наиболее отчетливо влияние растительности прослеживается в случае с влажностью почвы. Так, на полях с растительностью, на стерневых и занятых парах снега накапливается больше, чем на чистых парах, поэтому влажность почвы весной и, следовательно, противодефляционная стойкость почвы на них выше. На полях, защищенных завершенной системой ползащитных лесополос, растения меньше страдают от засухи, а почвы – от дефляции.

Растительность – наиболее легко поддающийся воздействию человека фактор ветровой эрозии почв. Растительность оказывает влияние и на свойства почв, и на свойства воздушного потока. При этом следует разграничивать влияние собственно растений и влияние технологии возделывания тех или иных сельскохозяйственных культур. Влияние собственно растений на ветровую эрозию весьма многообразно, но в большинстве случаев положительно. Влияние же технологии возделывания многих культур зачастую является отрицательным и должно анализироваться в ряду антропогенных факторов ветровой эрозии почв.

Лекция 5. Методы изучения эрозии почв

Вопрос 1. Анализ методов изучения эрозии.

Почвоведение имеет в своем распоряжении четыре основных метода: сравнительно-географический, сравнительно-аналитический, стационарный и моделирование. Все они присущи и науке об эрозии почв, новому направлению в цикле наук о почве. Как и для всякого научного направления, для него характерно наличие собственного объекта и специфических методов исследований. Объект исследования - совокупность явлений и процессов в биосфере, связанных с механическим движением почвенной массы под действием водных и воздушных потоков. Поэтому одним из основных методов исследования нового направления является гидроаэромеханический. Специфика этого метода в том, что он предполагает сопряженное изучение свойств почв, определяющих их противозерозионную и противодефляционную стойкость, потоков воды и воздуха, эродирующих почв, и процессов отрыва, переноса и отложения почвенных частиц. При изучении эрозии почв наряду с методами почвоведения применяются и методы смежных наук, таких, как гидрология, гидравлика, физика атмосферы, геоморфология, ботаника, грунтоведение и др. Наибольшие успехи в деле изучения эрозии почв достигнуты с использованием сравнительно-географического и стационарного методов. Дальнейшие перспективы сравнительно-географического метода связаны с развитием дистанционных методов: аэро- и космической эрозионной фотосъемки; наземной эрозионной съемки с использованием спутниковой системы глобальной навигации, которая позволяет очень точно оконтуривать на местности эрозионные объекты. Стационарные методы остаются наиболее важными в сборе информации, необходимой для познания процессов эрозии и разработки противозерозионных мероприятий. Наибольшее внимание этим методам уделяется в США, где создана сеть, хоть и не густая, постоянно действующих станций и пунктов для регистрации эрозии почв. На основе данных этой сети разрабатываются модели для прогнозирования и предупреждения эрозии почв.

Наиболее быстрыми темпами развиваются в настоящее время методы моделирования. Это обусловлено теми преимуществами, которые возникают вследствие замены реального объекта исследования его более простой моделью. Наиболее широко распространенным видом эрозионных моделей являются почвенно-эрозионные карты. Они относятся к классу так называемых графических моделей, для которых характерна очень высокая степень сжатия

информации, обеспечивающая, возможность анализа эрозионной обстановки на больших территориях.

Особенно характерным для эрозиоведения является использование физических моделей. Это единственный метод познания механизмов взаимодействия водных и воздушных потоков с почвой, приводящего к ее эрозии.

Наибольшей степенью абстрактности отличаются математические модели, которые все более широко применяются во всех отраслях науки, в том числе и в эрозиоведении.

Модели эрозии почв строятся на более или менее полном учете факторов и условий эрозии. В зависимости от масштаба модели бывают локальными, региональными и глобальными. По сути модели бывают статистическими, не вскрывающими физического смысла процесса эрозии, и логико-математическими, основанными на уравнениях, с той или иной степенью точности описывающих влияние разных факторов эрозии. Логико-математические модели делятся на три класса.

- Модели с сосредоточенными параметрами, т. е. не учитывающие пространственной неоднородности района проявления эрозии или отдельного поля севооборота.

- Модели с сосредоточенно-распределенными параметрами, т. е. переходные.

- Модели с распределенными параметрами, основанные на дифференциальных уравнениях в частных производных.

Подавляющее большинство моделей эрозии почв относится к первому классу. В классе моделей с сосредоточенными параметрами выделяются системные модели типа «черный ящик», т. е. модели типа «вход–выход»; системно-физические или концептуальные модели типа «серый ящик», т. е. модели частично учитывающие физику процессов, частично построенные по типу «черного ящика»; физические непрерывные модели, т. е. модели целиком построенные на учете физики явления. В зависимости от степени завершенности можно выделить исследовательские модели высокого уровня и модели более низкого уровня, но более полные, доведенные до возможности практического использования при планировании мероприятий по охране почв от эрозии.

Математические модели являются не только средством познания, но и объектом исследования. В связи с этим в эрозиоведении, как и в других науках, распространяются методы вычислительного эксперимента. Основу вычислительного эксперимента составляет триада «модель-алгоритм-ядро». Вычислительный эксперимент позволяет исследовать, например, комплексную модель агробиогеноза, состоящую из подмоделей, в том

числе эрозионных, описывающих функционирование этого агробиогеоценоза. Создание таких комплексных моделей все более широко распространяется в связи с увеличением доступности высокопроизводительных ЭВМ. В качестве примера можно привести комплексную модель EPIC, созданную в целях выявления зависимости плодородия почвы от эрозии. Она состоит из большого числа простых и комплексных подмоделей, описывающих: погоду (осадки, температуру, солнечную радиацию, ветер), температуру почвы, гидрологию (объем стока, максимальную интенсивность стока, впитывание воды почвой, внутрипочвенный сток, эвапотранспирацию, снеготаяние), динамику элементов минерального питания (азота, фосфора), рост растений (потенциальный рост, ограничивающие факторы), систему механической обработки почвы, влияние мелиорации (дренаж, орошение, удобрение, известкование, внесение пестицидов) эрозию (дождевую, ирригационную, ветровую) и экономику землепользования.

Указанная модель имитирует перечисленные процессы с шагом в одни сутки. Она позволяет исследовать зависимость плодородия почвы от эрозии в условиях применения произвольно заданных систем земледелия для произвольно заданных временных отрезков. Даже столь громоздкая на первый взгляд модель в настоящее время может быть широко использована, поскольку её программа занимает всего 280К, что значительно меньше общего объема оперативной памяти современных персональных ЭВМ.

Исходя из степени вмешательства исследователя в ход изучаемого процесса все многообразие применяемых в эрозиоведении экспериментальных методов можно условно разделить на три группы: 1) пассивный эксперимент в природе; 2) активный эксперимент в природе; 3) физическое моделирование (эксперимент в лаборатории). К ним, в связи с изложенным выше, можно прибавить и вычислительный эксперимент.

Вопрос 2. Пассивный эксперимент в природе.

Наиболее общей задачей, решаемой с привлечением пассивных экспериментов, является определение объема потерь, переноса или накопления почвы в зависимости от факторов эрозии. В эту группу отнесены методы наблюдения и измерения, которые не сопровождаются вмешательством в естественный ход процессов и не оказывают влияния на конечный результат этих процессов. Степень «вмешательства» в естественное течение изучаемых процессов изменяется от метода к методу.

Отсутствием всякого влияния на естественное течение процессов эрозии характеризуются методы, основанные на измерении объема наносов, отло-

женных водными и воздушными потоками, на измерении объема русел временных водных потоков и на повторном измерении геометрии почвенной поверхности.

Идентификации и измерению поддаются конусы выноса в устьях временных водотоков на поверхности пашни, а также конусы выноса в устьях оврагов и балок. Объем отложения измеряют с помощью обычных геодезических методов с использованием нивелира и рейки. Такого рода определения имеют вспомогательный характер, так как в конусах выноса оседает только часть твердого стока.

Такие же методы применяют и 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. Это 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.

В некоторых случаях объем твердого стока с водосбора за длительный период можно также 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 эоловой аккумуляции, а также убыль наносов при изъятии воды на хозяйственные нужды.

Наиболее простой и доступный метод определения потерь почвы основан на измерении и расчете объема русел временных водотоков на пашне. В результате стекания дождевых и талых вод на поверхности пашни формируется сеть временных водотоков. В силу неровности поверхности почвы на пашне всегда наблюдается концентрация стока – мелкие струйки сливаясь в более крупные, образуют сеть ручейков, обычно имеющую в плане форму дерева. Она зависит от свойств почвы, характера ее сельскохозяйственного использования, формы склона и особенностей стока. Для определения суммарного объема русел этой сети на склоне намечают ряд параллельных учетных линий, располагаемых перпендикулярно линии наибольшего уклона. Длина учетных линий от 25 до 100 м. Расстояние между соседними линиями зависит от крутизны склона: на крутых склонах - 15-20 м, на пологих - до 50-

100 м. Чем меньше расстояние между учетными линиями, тем ближе к истине результат определения.

Двигаясь вдоль учетной линии, исследователь выявляет все русла, пересекающие её, а также массивы отложенного временными водными потоками почвенного материала и измеряет линейкой ширину и глубину русел и толщину и ширину наносов. Точность измерения 0,5 см.

Площадь сечения русла определяют перемножением его ширины на глубину. По каждой учетной линии находят сумму площадей сечений всех русел. Суммарный объем русел между двумя соседними линиями рассчитывают путем умножения расстояния между ними на полусумму площадей сечений всех русел по этим двум линиям. Суммарный объем русел между двумя учетными линиями принимают за объем почвы, смытой с участка между этими линиями. Зная площадь этого участка и плотность почвы, можно рассчитать весовые потери почвы (в т/га).

Преимущества данного метода очевидны: доступность, простота и, часто, незаменимость. Столь же очевидны и его недостатки, главный из которых – низкая точность измерений. Она обусловлена рядом обстоятельств, учитывая которые можно повысить точность данного метода.

Во-первых, суждение об объеме ручейковой сети, имеющей весьма сложную конфигурацию в плане, выносят на основании выборочного измерения в ряде сечений. Кроме того, длину ручейков между учетными линиями принимают равной расстоянию между ними, что, конечно, занижает результат расчета, так как в действительности ручейки из-за извилистости длиннее. Повышения точности можно добиться путем увеличения числа учетных линий (уменьшения расстояния между соседними линиями). Во-вторых, площадь сечения каждого русла определяют путем перемножения его ширины на максимальную глубину, т.е. приближая форму сечения к прямоугольнику. В действительности русла имеют в поперечном сечении весьма разнообразную форму. Поэтому повышения точности можно достичь увеличением точности измерения площади сечения русла, но это приведет к резкому снижению производительности труда. В-третьих, для того, чтобы выявить все русла и правильно измерить их сечения, что особенно трудно в случае, когда поле вспахано вдоль склона и направление линий тока совпадает с направлением борозд, необходима достаточно высокая квалификация. В-четвертых, особенности механизма процессов смыва таковы, что даже при одинаковых объемах ручейковой сети на пашне, потери почвы от эрозии будут разными в зависимости от вида стока – дождевого или талого.

Другая группа методов измерения, не оказывающих влияния на естественное течение процесса, основана на учете изменения уровня почвенной

поверхности. И водная и ветровая эрозия почв сопровождаются изменением уровня почвенной поверхности: в зоне смыва и дефляции уровень поверхности в целом понижается, в зоне транспорта наносов – не изменяется, в зоне аккумуляции – повышается. Измерив уровни поверхности почвы до ливня и после него можно рассчитать потери (или аккумуляцию) почвы. Изложенный выше метод замера объема русел временных водотоков в принципе – одна из разновидностей данного метода. Его преимущество в том, что он позволяет определить объем потерь почвы, не производя предварительных (до проявления эрозии) измерений на поле, но оно достигается за счет потерь в точности.

Существует много методов измерения уровня почвенной поверхности. Наиболее широко применяемый (в силу своей простоты и доступности) – **метод микроинвентаризации**. Он заключается в устройстве на исследуемой площадке жестко фиксированных опор, на которые, по мере наступления сроков измерений, устанавливаются на постоянной высоте от поверхности почвы металлическую рейку, по которой свободно перемещается тележка с прикрепленной к ней мерной иглой. Мерная игла снабжена нониусом и позволяет измерять вертикальную координату точки на поверхности почвы с точностью до 0,1 мм. Горизонтальную координату определяют с точностью до 1 мм (по линейке, укрепленной на направляющей рейке). Строго говоря, метод микроинвентаризации в указанной прописи позволяет построить только 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. Метод пригоден для работы с почвой 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. Метод микроинвентаризации применяют при изучении всех видов эрозии.

Наиболее перспективным среди методов, основанных на учете изменения уровня почвенной поверхности, является **стереофотограмметрический**. Он 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, описанных выше, поэтому он может найти применение при моделировании процессов и водной и ветровой эрозии. К преимуществам метода относится также простота получения фотографий изучаемой поверхности. К недостаткам – высокая стои-

мость и сложность оборудования для извлечения из этих фотографий требуемой информации.

Наиболее простым методом учета изменения уровня почвенной поверхности является **метод шпильек**. Шпилька представляет собой тонкий металлический стержень с нанесенными на нем делениями. Шпильку погружают в почву до нулевой отметки. Изменение уровня поверхности почвы возле шпильки позволяет судить о величине наноса почвы или о величине потерь. Метод шпильек применяют и при изучении водной эрозии и при изучении дефляции в течение длительного времени. В течение зимнего периода возможно движение шпильки в вертикальном направлении вследствие морозного пучения почвы, которое можно исключить, защитив шпильку обсадной трубой. Приблизительную оценку величины потерь почвы от дефляции можно произвести по измерению глубины залегания семян. Глубина заделки семян известна, и по разности глубин можно судить о величине потерянного слоя почвы. О мощности сдутого слоя почвы можно судить и по отдельным почвенным глыбам-останцам, которые встречаются в плохо разделанном пахотном слое.

К первой группе относятся и **методы наблюдения за ростом оврагов**. Интенсивность роста оврагов оценивают скоростью их прироста в длину, ширину, глубину, по площади и по объему. 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 не ближе 3 м от бровки оврага. На расстоянии не менее 10 м от вершины оврага также располагают репер. 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.

Перечисленные методы позволяют с той или иной точностью оценить потери почвы, т.е. последствия эрозии. Признавая необходимость и полезность такого рода сведений, следует все же отметить и некоторую их ограниченность в смысле насыщенности информацией о механизме процессов эрозии. Без понимания механизма трудно управлять этими процессами. В конечном счете процессы эрозии сводятся к движению масс почвы под дей-

ствием водных или воздушных потоков. Для того, чтобы выявить причины движения этих масс, необходимо, в первую очередь, научиться измерять это движение. Речь идет о возможности измерения потоков твердой фазы (т.е. почвы) в процессе эрозии. В настоящее время для этой цели используют всевозможные батометры, пыле- и пескоуловители, ловушки донных наносов, фильтры, пьезоэлектрические устройства для регистрации перемещения почвенных частиц и т.п. Эти устройства, будучи помещенными в поток, в какой-то степени нарушают его физические характеристики, что отражается на эффективности измерения потока твердой фазы. Чем меньше нарушается взвешенный поток в районе приемного отверстия или створа такого прибора или устройства, тем точнее измеряется поток твердой фазы. В принципе такого рода устройства делятся на две категории: одни предназначены для измерения суммарного переноса твердой фазы через все живое сечение взвешенного потока, другие - для измерения потока твердой фазы через фиксированную площадку (равную площади отверстия прибора, помещенного в поток) составляющую, зачастую, ничтожную долю живого сечения всего взвешенного потока (особенно при дефляции почв). При балансовых исследованиях методы и устройства первой категории предпочтительнее, так как анализу подвергается известная часть всего взвешенного потока. Однако именно последнее обстоятельство накладывает ограничение на возможность применения таких методов: например, при изучении дефляции почв в природных условиях пока нет возможности анализировать сразу весь поток в каком-либо створе. В то же время методы второй категории, хотя и уступают в надежности определения суммарного потока твердой фазы методам первой категории, дают весьма ценную информацию о пространственном распределении концентрации почвенной фазы во взвешенных потоках.

Весь взвешенный поток удастся 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 в воде веществ. Наблюдения, как и в описанном выше случае с оврагами, 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 – микроводоразделы. По нижним границам устраивают стоконаправ-

ляющие стенки из толя или рубероида. Основание стенки погружают в почву на глубину 15-20 см. Стенка должна выступать над поверхностью почвы примерно на 15 см, с внешней стороны её крепят кольшками.

Стенки сходятся к направляющему лотку, который сообщается со стокоприемным баком, оборудованным для проведения измерений указанных выше характеристик стока. Измерительное оборудование и методы проведения измерений аналогичны стандартным методам, применяемым на стационарных стоковых площадках (о них см. ниже). Преимуществом описанного метода является то, что его можно использовать при проведении исследований в производственных условиях, так как измерительное оборудование - съемное и не мешает проведению полевых работ.

Для этого из русла временного водотока периодически отбирают в мерную емкость 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 в случае изучения эрозии при орошении напуском по бороздам. При этом, однако, необходимо учитывать особенности механизма смыва почвы в поливных бороздах, которые заключаются, во-первых, в уменьшении расхода воды с удалением от головной части борозды, во-вторых, в существовании трех зон: 1) смыва почвы, 2) транспорта наносов и 3) аккумуляции наносов, и, в-третьих, в том, что наибольший смыв наблюдается в начальный период поступления воды в сухую борозду. Все 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 необходимо распределить вдоль борозды таким образом, чтобы охватить измерениями все три зоны.

Задача состоит в том, чтобы обеспечить возможность периодического отвода всего потока из поливной борозды в заданном створе в мерную емкость. При этом необходимо стремиться не нарушать режим течения воды в борозде выше створа, в котором производят измерения, так как изменение режима течения может сопровождаться резким изменением твердого стока как раз в момент отбора пробы. Для этого приходится соответствующим образом организовывать измерительный створ. В непосредственной близости к борозде выкапывают углубление для мерной емкости. Мерная емкость сообщается с поливной бороздой водоотводной канавкой, через которую в нужный момент поток воды из поливной борозды направляют в мерную емкость. Для этого в измерительном створе в начале опыта дно борозды выстилают

листом полиэтиленовой пленки. Перекинув нижний край полиэтиленовой пленки из борозды в отводную канавку поток направляют в мерную емкость и проводят весь комплекс измерений. Кроме того, после отбора пробы и возвращения потока в борозду измеряют живое сечение потока.

Существует класс задач, решение которых в принципе возможно только с использованием методов второй категории. К ним относятся все задачи по изучению ветровой эрозии почв в природных условиях, размыва и заиливания каналов оросительной сети, а также механизма роста оврагов. Особые трудности возникают при интерпретации результатов, полученных этими методами. Эти трудности обусловлены тем, что средняя концентрация почвенной фазы в заданном створе потока зависит от вертикальной координаты точки измерения, т.е. от ее высоты над поверхностью почвы в случае дефляции и от расстояния до дна потока в случае водной эрозии. И градиент концентрации, и ее абсолютное значение увеличиваются с приближением к ложу потока. Максимум концентрации почвенной фазы во взвешенном потоке приурочен к некоторой высоте, отличной от нуля. Кроме того, средняя концентрация почвенной фазы зависит и от горизонтальных координат точки измерения, т.е. от расстояния до боковых стенок русла, и от расстояния до створа, в котором начался процесс эрозии или дефляции (обычно это головная часть поливной борозды, водораздельная линия или, в случае дефляции, край поля).

Указанные характеристики оказывают влияние на среднюю концентрацию почвенной фазы в потоке постольку, поскольку они влияют на характер изменения поперечного и продольного профилей скорости вдоль потока и на количество и характер распределения по размерам влекомых потоком почвенных частиц. А характер распределения почвенных частиц по размерам в сильнейшей степени сказывается на профиле их концентрации.

Для решения задач указанного класса необходимо обеспечить возможность измерения потока почвенной фазы через площадку известного размера, расположенную перпендикулярно потоку. Имея значения, потока почвенной фазы для ряда таких площадок, охватывающих с той или иной полнотой все поперечное сечение взвешенного потока, можно методом интерполяции определить суммарный поток почвенной фазы через данный створ. Такой площадкой обычно служит приемное отверстие водозаборного или воздухозаборного устройства измерительного прибора. Чем меньше возмущений вносит измерительный прибор в поток, тем точнее будут результаты измерений. Возмущения будут минимальными в том случае, когда средняя продольная скорость потока в приемном отверстии прибора будет равна средней продольной скорости потока в данной точке в отсутствие прибора. При этом

результаты измерений будут отражать концентрацию почвенной фазы в слое потока, равном по толщине вертикальному размеру приемного отверстия. Если скорость потока в приемном отверстии прибора будет меньше средней скорости, характерной для потока в этом месте в отсутствие прибора, результаты измерений будут заниженными. Если скорость на входе в прибор будет больше средней скорости потока в этом месте в отсутствие прибора, то результат измерений будет завышенным.

В исследовательской работе применяют приборы, для которых характерны все три типа соотношений средней скорости в приемном отверстии и в свободном потоке. К сожалению, реже всего используют приборы, в которых средняя скорость в приемном отверстии равна скорости в свободном потоке. Это обусловлено тем, что нужные для указанных целей приборы промышленность не выпускает.

Взятие пробы воды из глубоких потоков для определения ее 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. Скорость движения потока в приемном отверстии батометра при его заполнении гораздо больше, чем в данной точке потока в его отсутствие. 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 трубка служит для соединения бутылки с вакуумным насосом, другая, снабженная наконечником, 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. Скорость движения потока в приемном наконечнике будет зависеть, в первую очередь, от величины этого перепада давления и от гидравлического сопротивления трубки с наконечником. В любом случае ее обычно не регулируют и она отличается от скорости движения потока в этой точке в отсутствие трубки. 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 так называемых донных наносов. Измерение донных наносов производят с помощью

донных ловушек. Типичная донная ловушка представляет собой открытую коробку, заделываемую в дно штока так, чтобы края коробки были вровень с дном. Сверху коробка накрывается решеткой. Конструкция решетки 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, а такие частички всегда могут встретиться в потоке.

Однако, учитывая то, что подавляющая часть суммарного потока почвенной фазы переносится в придонном слое и, следовательно, характеризуется небольшой длиной скачка, можно ограничиться сравнительно небольшой длиной ловушки.

Перенос почвенных частиц ветром подчиняется таким же закономерностям, как и перенос водным потоком, но масштабы процессов, и линейные и временные, различны. Это создает ряд дополнительных трудностей при измерении потока почвенной фазы. Главная среди них – большая толщина потока, несущего почвенные частички: сплошной пылевой фронт во время пыльных бурь часто имеет толщину несколько сотен метров. Однако, согласно результатам обобщения данных множества исследований, основная масса почвы переносится в слое 0-1 м. Это открывает возможности для измерения переноса почвы ветром с использованием простых и доступных методов.

Наиболее широко при дефляционных исследованиях используют пыле- или пескоуловители, представляющие собой коробку в форме параллелепипеда, одна из граней которого служит приемным отверстием. Ее устанавливают на поверхности почвы так, чтобы приемная грань была перпендикулярна потоку. Для уменьшения сопротивления потоку коробку делают плоской. Пылеуловитель крепится на вращающейся оси и снабжается флюгером, что обеспечивает оптимальное положение приемного отверстия относительно потока – плоскость приемного отверстия располагается перпендикулярно направлению ветра.

Частички 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 отдельно учитывать перенос почвы в разных слоях.

Пылеуловители указанного типа имеют тот недостаток, что они не пропускают воздушный поток сквозь себя. Это приводит к тому, что значительная доля частиц, особенно мелких, минует пылеуловитель. Поэтому пылеуловители такого типа приходится тарировать. Существует и другая разновидность пылеуловителей, в принципе отличающаяся от описанной выше тем, что в тыльной части накопительной емкости имеется выходное отвер-

стие. Запыленный поток, попадая в' накопительную емкость через приемное отверстие, освобождается там от пыли и выходит очищенным через отверстие в ее тыльной части. Примером простого устройства такого рода служит стеклянная колба с резиновой пробкой, в которую вставлены две Г-образные стеклянные трубки. Колба крепится к штанге на фиксированной высоте от поверхности почвы так, чтобы конец одной из стеклянных трубок было открыт навстречу потоку.

Почвенные частички, попавшие в створ отверстия этой трубки, скатываются в колбу. Скорость потока в приемном отверстии пылеуловителей такой конструкции будет, конечно, отличаться от нуля, но она будет отличаться и от скорости в свободном потоке. Для большей эффективности пылеуловителя необходимо, чтобы, во-первых, скорость потока во входной его части была равна скорости потока в его отсутствие в данной точке и, во-вторых, поток, попавший в уловитель, полностью очищался от почвенной фазы. Таким требованиям удовлетворяют приборы с принудительным забором воздуха наподобие бытовых пылесосов. К сожалению, они не выпускаются промышленностью. 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.

Вопрос 3. Активный эксперимент в природе.

К этой группе отнесены методы наблюдения и измерения, использование которых предполагает активное вмешательство исследователя в целях создания искусственных условий, благоприятных для хода процесса в природе или для его видоизменения. Основным методом этой группы является метод стоковых площадок.

Стоковой площадкой называют изолированный от окружающей местности участок склона, оборудованный устройствами для учета стекающей с его поверхности воды и влекаемой ею почвы.

Изоляция конечно не полная. Имеется в виду ограждение стоковой площадки от попадания на нее воды, стекающей с окружающей территории. С этой целью по периметру площадки устраивают валик из почвы высотой 25-30 см, шириной по низу 60 см и по верху 20 см.

Валик устраивают с помощью навесного плуга с оставленным лишь вторым корпусом, у которого предварительно удлиняют отвал. Гусеничный трактор с плугом движется по периметру размеченной будущей стоковой

площадки так, чтобы пласт, отделяемый плугом, отваливался внутрь площадки. Валик получают в результате двух проходов трактора в одном направлении. При втором проходе трактор правой гусеницей уплотняет валик, образовавшейся во время первого прохода. После этого валик осматривают и поправляют вручную. 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. Ее назначение – прием воды, стекающей со стоковой площадки, и направление ее в измерительный павильон. Конструкция водоприемной борозды зависит от расчетного срока 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. Особое внимание при устройстве стоковых площадок следует уделять 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. Так, при изучении эффективности террасирования склонов длина стоковой площадки может быть равна ширине террасы, а при изучении эрозии при снеготаянии на пологих длинных склонах, когда стоковая площадка должна охватить весь склон, ее длина может превышать 600 м. При этом ширина площадки не должна быть малой, так как это может повлиять на величину смыва почвы. Оптимальные размеры площадки: длина 100-150 м, ширина 20-25 м.

Емкость измерительных устройств обычно рассчитывают на сток обеспеченностью 1 % или 130-150 т/га смытой почвы. Измерение расхода жидкого стока производят с помощью водосливов с тонкой стенкой, гидрометрических лотков или мерных емкостей. В системе гидрометеослужбы обычно используют метод водосливов с тонкой стенкой, позволяющий измерять расход воды с большой точностью.

Часто бывает удобно исследовать не весь объем стока, а какую-то его долю. В этих случаях в измерительную систему вводят один или несколько делителей стока. Самый простой делитель стока представляет собой емкость с вертикально расположенными водовыпускными щелями.

Щели должны быть такими, чтобы независимо от уровня воды в делителе через каждую из них вытекало одинаковое количество воды. Воду, вытекающую из щели, оборудованной направляющим лотком, подают в измерительную емкость или во второй делитель, а воду из остальных щелей сбрасы-

вают в канализационную сеть. Если в измерительной системе установлено последовательно два делителя, каждый из которых отделяет для изучения $1/11$ часть поступающего в него стока, то в замыкающую емкость такой системы поступает $1/121$ часть суммарного стока, а $120/121$ частей сбрасывается в канализацию.

Твердый сток, т.е. смыв почвы с территории стоковой площадки, определяют путем суммирования стока взвешенных и донных наносов. Сток донных наносов, которые обычно оседают в стокоприемнике, определяют весовым методом, а сток взвешенных наносов определяют методом фильтрации проб, отбираемых на мутность в потоке на выходе из стокоприемника.

Наиболее широко метод стоковых площадок применяют при изучении влияния факторов эрозии, а также при изучении эффективности противоэрозионных мероприятий. Измерения стока и смыва сопровождаются измерениями метеорологических величин, физических свойств почвы, наблюдениями за ростом и развитием сельскохозяйственных растений, а также учетом урожая.

При изучении ветровой эрозии почв также применяют **метод активного эксперимента в натуральных условиях**, по своим целям и задачам аналогичный методу стоковых площадок. Организовать такого рода исследования еще сложнее, чем в случае со стоковыми площадками, поскольку практически невозможно защитить изучаемую площадку от эоловых наносов с прилегающих территорий, а учесть их довольно сложно. Кроме того, в отличие от водной эрозии, в случае с ветровой эрозией нет простого способа учета суммарных потерь почвы. Их определяют с использованием указанных выше методов, основанных на учете изменения уровня почвенной поверхности, либо путем измерения переноса почвы в разных точках изучаемой территории с помощью пылеуловителей. Поэтому измерительные устройства (пылеуловители) приходится распределять по всей изучаемой территории.

В целях повышения эффективности научных исследований приходится не только оказывать влияние на естественный ход процессов эрозии почв, но и искусственно их воспроизводить, в том числе в натуральных условиях. На этом принципе основаны многочисленные методы искусственного дождевания, которыми дополняют метод стоковых площадок, и метод полевых аэродинамических установок, который является основным при изучении эффективности противодефляционных мероприятий. Строго говоря, они относятся к группе методов физического моделирования, которые рассматриваются в следующем разделе.

Моделирование процесса эрозии при дождевании осложняется тем обстоятельством, что этот процесс состоит из двух трудно моделируемых про-

цессов: отрыва, переноса и отложения почвенных частиц под действием ударов дождевых капель и размыва и смыва почвы сформировавшимся потоком воды, турбулизируемым теми же каплями. При моделировании дождя желательно было бы воспроизвести такие его характеристики, как распределение капель по размерам, скорость их падения, интенсивность дождя, слой осадков, равномерность их распределения по площади. При моделировании дождей используют серийные дождевальные машины или элементы их конструкции, а также специальные исследовательские установки.

В зависимости от принципа получения капель искусственного дождя дождевальные установки бывают капельными и насадковыми. В капельных установках капли создаются с помощью сит, нитей (фитилей), выпускаемых из отверстия в дне сосуда с водой, капиллярных трубок и медицинских игл, вставляемых в отверстия в дне таких сосудов. Такие установки воспроизводят равномерный, однородный крупнокапельный дождь. Мелкокапельный дождь создают в два этапа: сначала создают крупнокапельный дождь с помощью указанных установок, а затем дробят его на специальной сетке, натягиваемой на высоте 0,5 м над поверхностью почвы. Насадковые дождевальные установки бывают трех видов: струйные, дефлекторные и центробежные. Они позволяют получать искусственный дождь высокой интенсивности, характеризующийся широким спектром размеров капель. Однако этот спектр отличается от природного. Кроме того, скорость падения капель отличается от скорости падения дождевых капель. Такие установки неравномерно распределяют дождь по поверхности. Над устранением указанных недостатков работают конструкторы исследовательских установок.

Вопрос 4. Физическое моделирование.

Физическое моделирование применяют в целях изучения в лабораторных условиях частично или полностью не изученных физических процессов. К преимуществам методов физического моделирования относится возможность углубленного изучения механизма процессов и роли отдельных факторов эрозии. К недостаткам – известная трудность перенесения результатов лабораторных опытов на природу. Единственной возможностью ее преодоления является обеспечение максимально возможного подобия процессов в модели и природе. Оно достигается при соблюдении требований геометрического, кинематического и динамического подобия.

Для выполнения первого требования достаточно добиться того, чтобы модель-оригинал и модель-образ были геометрически подобны.

Для выполнения второго – необходимо обеспечить пропорциональность скоростей и ускорений и одинаковое их направление относительно границ в геометрически подобных моделях. Для выполнения третьего – добиться пропорциональности и однонаправленности сил, действующих в сходственных точках моделей. Кинематического и динамического подобия можно достичь только при соблюдении геометрического подобия. Поскольку полного динамического подобия добиться практически невозможно, среди действующих в модели сил следует выбрать наиважнейшую и пренебречь другими, слабо влияющими на изучаемое явление. В таком случае говорят о частичном динамическом подобии и определяют критерии подобия для частных случаев. На частицу потока действуют силы разной природы. Их результирующая равна силе инерции. Каждое из приведенных чисел подобия учитывает одну из действующих сил и силу инерции: число Эйлера – силу давления, число Рейнольдса – силу вязкости, число Фруда – силу тяжести, число Струхала – силы, вызывающие автоколебания в потоке. Приближенное моделирование по одному критерию возможно, если известно, что влияние других значительно слабее. При слабой зависимости изучаемого явления от того или иного критерия говорят об автомодельности относительно этого критерия.

Следовательно, метод подобия можно использовать для целей моделирования тогда, когда известны дифференциальные уравнения, описывающие поток. Суждение о полноте подобия зависит от полноты описания изучаемых потоков дифференциальными уравнениями. В тех случаях, когда дифференциальные уравнения, описывающие изучаемое явление, неизвестны, вопрос о подобии явлений решают с помощью теории размерностей.

Лекция 6. Классификация эродированных и дефлированных почв и их картографирование

Вопрос 1. Изменение свойств почв под воздействием эрозии.

Развитие эрозионных процессов имеет своим следствием образование комплекса смытых и намывтых (водная эрозия) и свеянных и наваянных (ветровая эрозия) почв. От «нормальных» почв они отличаются рядом свойств, которые требуют учета при их хозяйственном использовании.

Эродированными (смытыми) или *дефлированными* (свеянными) называют почвы, потерявшие верхнюю часть профиля под влиянием процессов эрозии. Свойства таких почв, как правило, ухудшаются по сравнению с аналогичными почвами не подверженными эрозии.

Смытые почвы образуются в результате нерационального хозяйственного использования эрозионноопасных земель. Характерной особенностью смытых почв является полное или частичное разрушение водной или технической эрозией верхних горизонтов, в результате чего на поверхность выходит сохранившийся в той или иной степени срединный горизонт или горизонт переходный к почвообразующей или подстилающей породе.

При сельскохозяйственном использовании этих почв поверхностный агрогенно-преобразованный горизонт формируется за счет нижней части срединного горизонта или почвообразующей породы, характеризуется глыбистой, плитчато-глыбистой не водопрочной структурой, при увлажнении заплывает, часто с образованием поверхностной корки и растрескивается при высыхании. Имеет бурые, красноватые, коричневатые тона окраски, иногда с серым оттенком. Содержание гумуса обычно не превышает 1,5%.

Изменения свойств почвы характерные для большинства эродированных почв:

1. Происходит сокращение мощности почвенного профиля, изменение окраски пахотного слоя в зависимости от степени эродированности почвы и ее генетической принадлежности;
2. Повышается содержание песка (гранулометрических элементов крупнее 0,01 мм);
3. Снижается количество органического вещества, содержание подвижных соединений N, P, K и микроэлементов, рН почвенного раствора повышается;
4. Ухудшаются водный, воздушный и тепловой режимы почвы, так как уменьшается общая пористость, влагоемкость, водопроницаемость, количество водопрочных агрегатов и их прочность, увеличивается плотность почвы;

5. Снижается биологическая активность почвы в результате уменьшения количества микроорганизмов.

На эродированных почвах происходит ухудшение физических, химических и биологических свойств, что приводит снижению урожая и его качества. Так, урожай зернобобовых культур на смытых почвах снижается приблизительно на 10% кукурузы – до 60 %, а сахарной свеклы – до 80 %.

Пути улучшения эродированных почв:

1) Для восстановления утраченного плодородия и улучшения водно – физических свойств эродированных почв в первую очередь необходимы высокие дозы органических удобрений. Для компенсации потерь гумуса в результате эрозии, необходимо вносить в почву в 3 – 4 раза больше органического вещества, чем было смыто, так как гумифицируется не более 25 – 30% внесенного навоза.

2) Эффективно применять на смытых почвах сидераты ранневесенним, подсевным и пожнивным способами. В качестве зеленого удобрения применяют люпин, донник, люцерну, клевер, чину, вику и т.д.

3) Для пополнения в почве содержания азота и фосфора, элементов которые на смытых почвах находятся в минимуме, следует вносить азот- и фосфорсодержащие минеральные удобрения. Количество вносимого с удобрения азота зависит от обеспеченности почвы и растений влагой. С минеральными удобрениями вносят цинк, молибден, кобальт, медь, марганец, так как эродированные почвы обеднены микроэлементами. На смытых подзолистых почвах необходимо известкование.

4) Одним из методов пополнения почвы органическим веществом является мульчирование. Мульчирование – покрытие обнаженной поверхности почвы соломой или другими материалами – предотвращает или уменьшает многочисленные неблагоприятные явления, связанные с отсутствием на поверхности почв склонов растительных остатков (предохраняет почвенные агрегаты от разрушения ударами дождевых капель и их переноса, от уплотнения почвы, образования почвенной корки, потери влаги и т.д.).

5) Наиболее радикальным методом улучшения свойств почв является гумусовая мелиорация (землевание). На склоны с сильно смытыми почвами наносятся плодородные слои почвы, которые снимают при разработке месторождений полезных ископаемых, строительстве, при затоплении территорий под водохранилища, а также намытую почву в ложбины, лощины и балки.

Вопрос 2. Классификация эродированных почв.

Существует 3 классификации по степени смытости.

В первой классификации основным признаком является доля потерянного в результате смыва гумусового горизонта (С.С. Соболев, 1961; Г.П. Су-мрач, 1992):

– слабосмытые почвы – это почвы, у которых смыто не более половины горизонта A_1 . По цвету пахотного слоя почва не отличается от несмытой (искл. дерново – подзолистые почвы, у которых подпахивается горизонт A_2 и пашня приобретает белесый оттенок);

– среднесмытые почвы – это почвы, у которых смыто более половины или полностью горизонт A_1 (для дерново – подзолистой и светло – серой лесной почвы горизонт A_2), припахивается или распахивается горизонт B_1 . Поверхность пашни имеет буроватый оттенок;

– сильносмытые почвы – это почвы, у которых смыт горизонт B_1 , распахивается горизонт B_2 , а пашня имеет бурый цвет;

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

При использовании данной классификации возникает проблема нахождения различий между смытыми и нормальными маломощными почвами. Цвет почвы также является ненадежным показателем, так сероземы приобретают не бурую, а светлую окраску.

Вторая классификация основана на количественной оценке запасов гумуса в 50 см слое почвы по сравнению с несмытой (Наумов, 1955, М.Н. Заславский, 1972).

– слабосмытые почвы – содержание гумуса снижается на 10 – 20 %;

– среднесмытые почвы – на 20 – 50 %;

– сильносмытые почвы – на 50 – 70 %;

– очень сильно смытые почвы – более 70 %.

Третья классификация была предложена Носиным, Федориным, Фриевым в 1973 году. Она представляет собой слияние двух первых, так как в ней используются оба диагностических признака.

Для дефлированных почв классификация строится на той же основе, что и классификация для смытых почв (Ромашкин):

– слабодефлированные почвы – выдуто до 20% гумусового горизонта;

– среднедефлированные почвы – до 20 – 40%;

– сильнодефлированные почвы – до 40 – 60%;

– очень сильнодефлированные почвы – более 60%.

При определении степени эродированности за эталон принимают профиль почвы данного типа не затронутые водной или ветровой эрозией, т.е. полнопрофильные почвы.

Вопрос 3. Классификация линейных форм эрозии.

Линейные формы эрозии – это размывы, которые не могут быть ликвидированы при обычной вспашке, культивации и посеве сельскохозяйственных культур. Для их ликвидации необходима почва (или грунт) со стороны. Для проектируемых мелиораций существенное значение имеют положение линейной формы в рельефе, ее геометрия, стадия эволюции, закономерности роста и причины затухания. По отношению к материнской форме, например к балке, размывы бывают:

- *донными*, идущими по *тальвегу* (пониженное место рельефа поверхности) балки; **Тальвег** – линия, соединяющая наиболее пониженные участки дна русла (фарватера), долины, балки, оврага и других вытянутых форм рельефа.
- *вершинными*, выходящими на водораздел по продолжению тальвега;
- *склоновыми*, впадающими в материнскую форму под некоторым углом к тальвегу.

Наиболее широко распространены донные и склоновые формы размывов, вершинные встречаются редко.

В своей эволюции от начальных до конечных форм размывы проходят ряд стадий. Причем эволюция склоновых и вершинных форм отличается от эволюции донных форм.

Стадии эволюции склоновых и вершинных форм. В зависимости от стадии развития среди склоновых и вершинных размывов выделяют водороины, промоины и овраги.

Водороины — начальная стадия эрозионного размыва почвы. К водороинам относят размывы в почве глубиной 0,2—0,6 м, шириной до 1 м, которые заглаживаются при пахоте. Обычно они формируются по бороздам при пахоте вдоль склона, а также на слабо задернованных лугах при сбросе большого количества воды.

Промоины — размывы глубиной 0,5—3 м, шириной 0,5—8 м, непроходимые для сельскохозяйственной техники. Промоины захватывают не только почвенную толщу, но и материнскую породу. Для засыпания промоины необходимо привозить почву или грунт.

Овраг — это размыв, выработавший свой собственный (вогнутый или ступенчатый) продольный профиль, не совпадающий с профилем склона (в отличие от водороины и промоины). Глубина наиболее крупных оврагов на Русской равнине достигает 30 м, ширина — 50 м. Овраг, врезаюсь в грунт, нередко вскрывает коренную породу. Подавляющее большинство оврагов (80

% и более) относится к коротким (до 0,5 км). Оврагов средней длины (0,5—2 км) гораздо меньше, а количество длинных оврагов (2—5 км) — ничтожно.

Стадии эволюции донных форм. Среди донных размывов в зависимости от стадии эволюции выделяют вымоины, донные промоины и донные овраги.

Вымоина — эрозионная форма, соответствующая начальной стадии размыва дна материнской формы, отличающаяся от водороины геометрией и происхождением. Отличие в происхождении связано с тем, что дно материнской формы (балки) обычно не распаивается и сток по дну балки осуществляется в виде широкого потока. В местах нарушения дернины начинается размыв отдельных участков дна материнской формы с образованием ямы соответствующей ширины. Эту яму и называют вымоиной.

Донная промоина — размыв, образовавшийся в результате слияния соседних вымоин. Донная промоина занимает часть днища материнской формы.

Донный овраг — это размыв, образовавшийся в результате расширения донной промоины, занявший в результате этого все днище материнской формы. Донные овраги разрушают не только дно, но и склоны материнской формы. При этом они сохраняют форму продольного профиля, присущую материнской форме. Поэтому донный овраг отличается от донной промоины лишь по количественным признакам.

Овраги. Склоновые и вершинные овраги, которые для простоты будем далее называть просто оврагами, в свою очередь, претерпевают ряд стадий развития, которые характеризуются помимо качественных различий еще и скоростями роста.

Скорость роста оврагов. Овраги, расположенные на сельскохозяйственных угодьях, по интенсивности денудационного (от лат. *denudatio* — обнажение) процесса делят на три группы:

- • *медленно растущие овраги* (скорость роста в длину — до 1 м/год);
- • *овраги, растущие со средней скоростью* (2—3 м/год);
- • *быстро растущие овраги* (более 3 м/год).

Наиболее быстро растут овраги при неправильной организации дорожной сети, вырубке и вывозе леса. Более 50 % из них растут с громадной скоростью, свыше 20 м/год, тогда как на сельскохозяйственных угодьях скорость роста оврагов обычно не превышает 5 м/год.

Три стадии развития оврагов :

- 1) врезание «висячего» оврага вершиной;
- 2) выработка продольного «профиля равновесия»;
- 3) затухание.

Стадия врезания «висячего» оврага вершиной характеризуется наличием различия в высотных отметках устья оврага и местного базиса эрозии. Устье «висячего» оврага отделено от местного базиса эрозии (например, dna долины) обрывом или крутым скатом. Для этой стадии характерно также наличие хорошо выраженного вершинного перепада высотой от 2 до 10 м. Склоны оврага обрывисты, осыпи на них нет, так как обвалившаяся масса почвы и грунта быстро уносится временными водными потоками талой и дождевой воды.

Стадия выработки «продольного профиля равновесия» проявляется в углублении оврага и утрате висячего русла, которое, врезаясь в материнскую породу, достигает местного базиса эрозии. По берегам оврага появляется осыпь, на ней поселяются растения-пионеры (мать-и-мачеха и др.).

Стадия затухания завершает эволюцию оврага, достигшего равновесного продольного профиля. На этой стадии прекращаются углубление dna оврага и его рост в длину. Дно затягивается овражным аллювием. Русло меандрирующего временного водного потока расширяется. Склоны оврага осыпаются, и наклон их поверхности приближается к углу естественного откоса. Овраг превращается в балку. В гумидной зоне этот процесс протекает несколько десятков лет, в аридной — несколько тысячелетий (Маккавеев, Чалов, 1986).

Причиной затухания оврагов является снижение размывающей способности временных водных потоков вследствие уменьшения уклона dna русла, достигшего равновесного продольного профиля, и в результате «съедания» водосбора, т. е. уменьшения площади водосбора при продвижении вершины оврага вверх по склону.

Вопрос 4. Особенности картографирования эродированных почв.

В настоящее время в составе сельскохозяйственных земель эродированные почвы в Республике Беларусь занимают 556,5 тыс. га (7,2 %). Основная площадь эродированных почв сосредоточена на пахотных землях, где они занимают 479,5 тыс. га (9,4 %). Распределение этих почв по областям и по типам эрозии (водная, ветровая) в составе сельскохозяйственных земель приведено в таблице.

Область	Площади эродированных земель			
	Всего		В том числе	
	тыс. га	%	водная, %	ветровая, %
Брестская	50,9	4,1	3,2	0,9
Витебская	121,1	9,2	8,9	0,3

Гомельская	33,7	2,7	1,0	1,7
Гродненская	107,1	9,7	7,8	1,9
Минская	130,6	8,3	7,0	1,3
Могилевская	113,0	9,1	8,9	0,2
По республике	556,5	7,2	6,1	1,1

Учет эрозии почв при оценке земель позволяет определить не только ее влияние на плодородие почв и выразить его в баллах, но и установить резерв его увеличения за счет выполнения рекомендуемых мероприятий. Однако всех этих материалов недостаточно, чтобы наглядно оценить эрозионную ситуацию в пределах всей республики, степень и характер эродированности почв в отдельных регионах и административных областях. Поэтому на определенном этапе картографирования и изучения эродированных почв возникла необходимость составления карт или картосхем эродированных земель в масштабе всей республики с выделением однотипных территорий или районов в отношении проявления эрозии почв.

Первая схематическая карта «Эрозия почв в БССР», на которой показаны эрозионные районы, была составлена В. В. Жилко и А. И. Паярскайте в 1968 г.

Впоследствии она была опубликована в монографии «Почвы Белорусской ССР». На основании анализа основных факторов (рельеф, климат, почвообразующие породы, почвы), от которых зависит проявление эрозии, различного соотношения водной (плоскостной и линейной) и ветровой эрозии, степени их проявления, на территории Беларуси ими были выделены шесть почвенно-эрозионных районов, дано их краткое описание, характеристика по различным показателям, установлены площади:

- 1) район проявления линейной и сильной плоскостной эрозии (занимает 6,1 % территории Беларуси);
- 2) район проявления сильной плоскостной эрозии (6,7 %);
- 3) район проявления средней плоскостной и слабой линейной эрозии (17,0 %);
- 4) район проявления средней плоскостной эрозии (5,6 %);
- 5) район проявления слабой плоскостной эрозии (23,8 %);
- 6) районы, не опасные для водной эрозии, но где может развиваться ветровая эрозия (40,8 %).

Но эта картосхема не нашла широкого применения на практике, так как имела существенные недостатки. При ее построении практически не учитывались площади эродированных почв, границы почвенных разновидностей,

что не позволило с достаточной точностью отразить закономерности развития эрозионных процессов.

Поэтому после завершения второго тура почвенных обследований, в результате которого получены фактические данные по площадям эродированных почв по всем хозяйствам, была поставлена задача составить почвенно-эрозионную карту на основе этих новых данных и увязать контура эродированных земель с границами почвенных разновидностей.

Для составления почвенно-эрозионной карты принят масштаб 1 : 600000, так как карта такого масштаба в те годы являлась наиболее удобной для оценки общей эрозионной обстановки на всей территории республики и планирования комплекса противоэрозионных мероприятий в различных регионах. Она давала возможность наглядно оценить эрозионную ситуацию, размеры и степень эродированности почв на сельскохозяйственных землях. К этому времени сотрудники института Н. И. Смян и И. Н. Соловей составили и издали Почвенную карту Белорусской ССР в этом же масштабе, которая и явилась основой для почвенно-эрозионной карты. В 80-е гг. начали проводиться работы по составлению районных почвенных карт по второму туру почвенного обследования, на которых достаточно полно и объективно отражены почвы различной степени эродированности.

Исходя из поставленной задачи, в Белорусском НИИ почвоведения и агрохимии была разработана методика составления почвенно-эрозионной карты, основные положения которой заключались в следующем:

Исходными данными для карты явились фактические площади эродированных и дефлированных почв в разрезе хозяйств, полученные в результате второго тура крупномасштабных почвенных обследований. Проявление эрозии на карте отражалось на типовом и видовом уровнях. На типовом уровне выделялась водная и ветровая эрозия. Интенсивность проявления эрозии показывалась на карте на видовом уровне с выделением четырех степеней: слабая (доля эродированных почв в составе сельскохозяйственных земель – 1,0–5,0 %), средняя (5,1–10,0 %), сильная (10,1–20,0 %), очень сильная (более 20 %).

Территории, в почвенном покрове которых общая площадь эродированных и дефлированных почв менее 1,0 %, относились к практически неэродированным и недефлированным.

Земли, занятые лесной, естественной луговой и болотной растительностью, где эрозия почв практически не проявляется, показывались на карте как соответствующие уголья.

Степень интенсивности водной эрозии и дефляции определялась по процентному участию эродированных и дефлированных почв в общей пло-

щади сельскохозяйственных земель. При определении площади эродированных почв в хозяйствах проводился пересчет средне- и сильноэродированных почв в так называемые условные (или пересчетные) слабоэродированные почвы. Для этого фактические площади среднеэродированных почв умножались на коэффициент 1,29, а сильноэродированных – на 1,73. Эти коэффициенты были установлены на основании снижения урожайности на средне- и сильноэродированных почвах по сравнению со слабоэродированными (по методике проводимого в то время третьего тура бонитировки почв). Полученные площади суммировались со слабоэродированными почвами и определялась общая (пересчетная) площадь эродированных почв, на основании которой и устанавливалась степень их эродированности.

Далее составлялась картосхема эродированности по хозяйствам. Для этого на картографическую основу с нанесенной естественной растительностью (леса, болота и луга) и границами землепользователей в пределах каждого хозяйства условными знаками показывались тип и степень эродированности почв. Хозяйства с одинаковой степенью эродированности и дефлированности почв объединялись в эрозионные контуры.

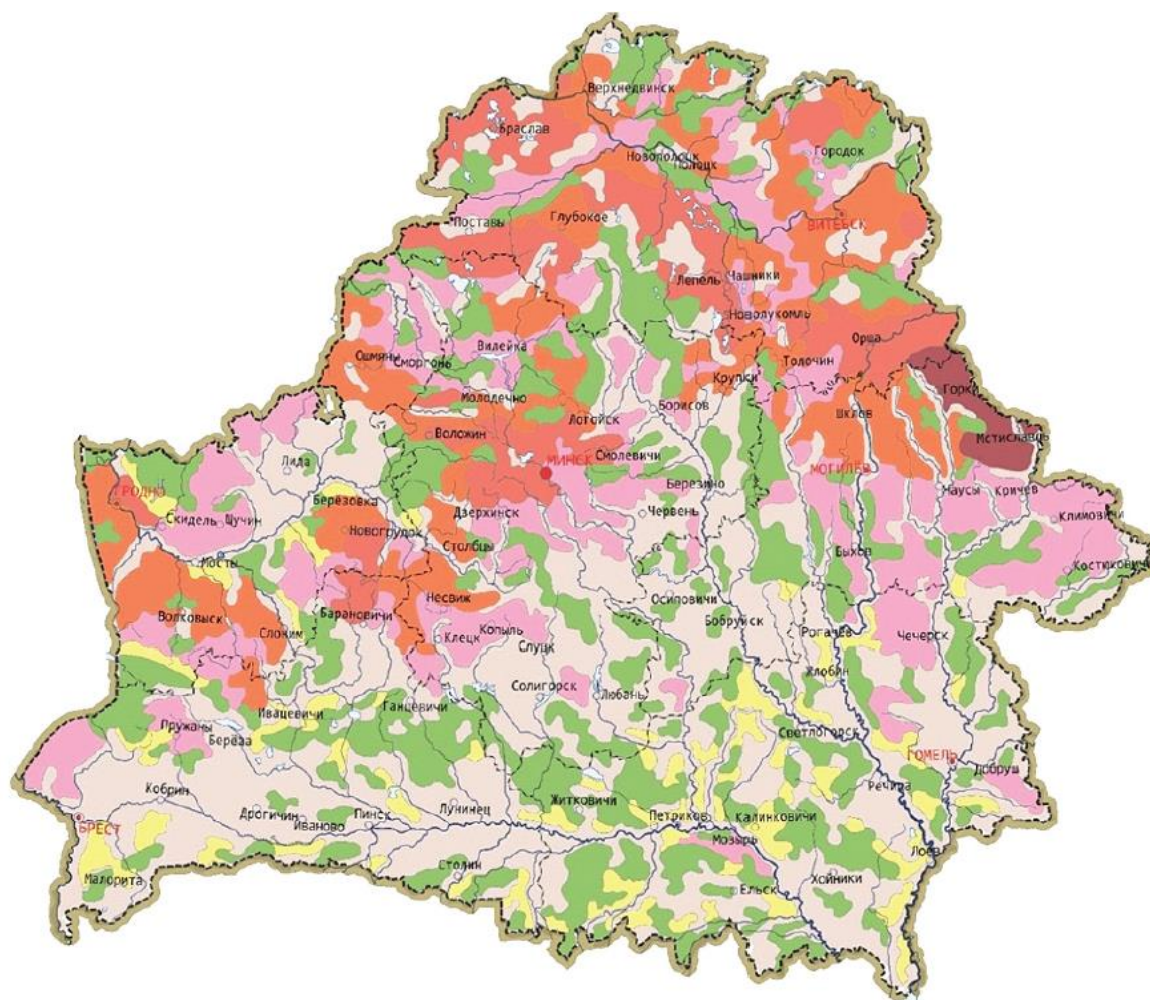
Полученные эрозионные контуры сопоставлялись с гипсометрической картой для уточнения контуров по границам основных форм рельефа и с почвенной картой масштаба 1 : 600000, где они еще раз уточнялись с учетом типа почв и их гранулометрического состава. За основу почвенно-эрозионного контура принимался почвенный контур.

На основании этой методики в 1990–1994 гг. в Белорусском НИИ почвоведения и агрохимии были составлены областные почвенно-эрозионные карты, а затем сводная (обобщающая) почвенно-эрозионная карта Беларуси в масштабе 1 : 600000 и подготовлена пояснительная записка к ней, в которой изложена история изучения и картографирования эродированных почв на территории Беларуси, приведены классификация и диагностические признаки эродированных и дефлированных почв, представлена методика составления почвенно-эрозионной карты, дан анализ ее содержания (характеристика и распространение эродированных почв по областям и административным районам).

Так как степень эродированности земель в значительной степени связана с рельефом, то и распространение контуров эродированных земель, выделенных на почвенно-эрозионной карте, привязано также и к основным геоморфологическим районам (возвышенностям, грядам, равнинам, низинам и т. д.). Названия геоморфологических районов приведены по геоморфологическому районированию О. Ф. Якушко (1999).


Очень сильноэродированные территории, где эродированные почвы занимают более 20 % сельскохозяйственных земель, приурочены к наиболее повышенным частям Горецко-Мстиславской возвышенности (Мстиславский, Горецкий и южная часть Дубровенского района) с дерново-палево-подзолистыми суглинистыми почвами, развивающимися преимущественно на мощных лессах.

Сильноэродированные территории (эродировано 10,1–20,0 % сельскохозяйственных земель) характерны для районов и отдельных частей Минской, Новогрудской, восточной части Гродненской, Оршанской, Браславской, Городокской, Ушачской возвышенностей, Свенцянской гряды – с сильно расчлененным рельефом на мощных лессовидных и моренных суглинках и связанных супесях.



Типы эрозии и интенсивность ее проявления на сельскохозяйственных землях

Степень эродированности почвенного покрова	Доля эродированных почв в составе сельскохозяйственных земель, %	Степень дефлированности почвенного покрова	Доля дефлированных почв в составе сельскохозяйственных земель, %
Слабая	1,0–5,0	Слабая	1,0–5,0
Средняя	5,1–10,0		
Сильная	10,1–20,0		
Очень сильная	>20,0		

 Территории с практически незэродированным и недефлированным почвенным покровом (эродированность почв отсутствует или <1,0 %)

 Лесные и прочие лесопокрытые земли

Среднеэродированные территории (эродировано 5,1–10,0 % сельскохозяйственных земель) приурочены к Гродненской (западная часть), Волковысской, Слонимской, Ошмянской, Новогрудской (северная часть), Минской (северная часть), Витебской и Россонской возвышенностей, Копыльской и Коссовской гряды, Столбцовой и Могилевской равнины с более сглаженным и менее расчлененным рельефом и дерново-подзолистыми почвами, развивающимися на лессовидных, водно-ледниковых, моренных суглинках и супесях, подстилаемых моренными суглинками, иногда песками.

Территории сельскохозяйственных земель со слабой эродированностью (1,0–5,0 %) занимают пологие склоны слабоволнистого рельефа, с почвами различного генезиса, гранулометрического состава и подстилания. Сюда относятся более выровненные и пониженные территории некоторых возвышенностей и гряд, примыкающие к равнинным пространствам (западная часть Новогрудской возвышенности, южная часть Копыльской гряды, южная часть Минской возвышенности, Мозырская возвышенность), а также территории некоторых донно-моренных и водно-ледниковых равнин и низин: Лидская равнина, Нарочанско-Вилейская равнина, Высоковская (Прибугская) равнина, Пружанская равнина, Славгородская, Костюковичская, Чечерская равнина, Полоцкая низина, Шумилинская, Сенненская, Чашникская равнина и некоторые другие территории со слабохолмистым рельефом.

Среди дефлированных почв на почвенно-эрозионной карте в этом масштабе выделены только слабдефлированные почвы. Они распространены преимущественно в южных и западных районах страны на легких (песчаных и рыхлосупесчаных), а также осушенных торфяных почвах Полесской и Неманской низменностей.

Таким образом, почвенно-эрозионная карта дает наглядное представление о распространении в пределах Беларуси основных типов эрозии и интен-

сивности ее проявления на различных почвах. Она служит важным научно-картографическим документом при разработке мероприятий по охране земель, планировании противоэрозионных работ, решении вопросов повышения плодородия почв и трансформации сельскохозяйственных земель. В связи с этим в последние годы она была опубликована в ряде пособий, рекомендаций, методик, статей по общей характеристике почв Беларуси, а также по использованию и повышению плодородия эродированных, в том числе и загрязненных радионуклидами, почв. Кроме того, карта учитывалась при проведении почвенно-экологического, сельскохозяйственного и других видов районирования республики, при прогнозировании развития процессов водной и ветровой эрозии. Она используется в качестве учебного наглядного пособия в высших и средних специальных учебных заведениях сельскохозяйственного, географического, экологического профиля.

Лекция 7. Оценка опасности эрозии почв

Вопрос 1. Характеристика методов прогнозирования эрозии почв.

Более восьмидесяти процентов деградированных земель в той или иной степени затронуты водной и ветровой эрозией. Оценка степени эрозионной деградации почв проводится обычно на основании измерения или расчёта потерь почвенной массы в единицу времени (т/га в год). В последние годы стал активно обсуждаться принцип нормирования смыва почв, начался процесс поиска объективных количественных критериев по ограничению смыва почвенной массы с крупных водосборных территорий. В качестве предельной величины допустимого смыва предлагается величина естественного прироста почвенной массы, которая в зависимости от типа почвы и мощности почвенного профиля колеблется в пределах 2–11 т/га.

Главным виновником эрозии почв справедливо считается сельскохозяйственная деятельность человека, использующего устаревшие технологии земледелия и принципы землепользования. Частые механические обработки, монокультурные посевы, чрезмерные дозы агрохимикатов, некомпенсированные потери органического вещества стимулируют эрозию почв. Даже неправильная организация территории при хозяйственном использовании земель может стать причиной серьёзных иногда необратимых изменений структуры и функций аграрных экосистем.

Для снижения масштабов проявления почвенной эрозии в системе землепользования необходимо учитывать потенциальную устойчивость каждого типа почв к воздействию водных и воздушных потоков. Для снижения активности эрозионных процессов разрабатываются специальные агротехнические и мелиоративные технологии, повышающие устойчивость почв к воздействию поверхностного и внутрипочвенного стока. Однако эффективность этих мер невысока из-за отсутствия единой научно обоснованной стратегии противоэрозионной защиты, основанной на объективной количественной оценке степени эродированности земель, на оценке потенциала устойчивости почв к воздействию эрозии и эрозионной опасности конкретных территорий в границах естественных водосборных бассейнов.

Перспективным направлением в деле решения задач информационного обеспечения противоэрозионной защиты земельного фонда является разработка математических моделей, учитывающих все детали механизма эрозии почв. Располагая такими моделями, можно проводить численные эксперименты по оценке эрозионной опасности различных систем земледелия и землепользования, прогнозировать эрозионные проявления и разрабатывать раз-

личные сценарии почвозащитного земледелия. С помощью моделей можно оценивать величину вклада в загрязнение поверхностных вод эрозионных процессов, а также стока агрохимикатов и других токсичных веществ, которые выносятся жидким и твердым стоком, формирующимся на водосборной территории.

Математическое моделирование формализует процедуру описания природных механизмов взаимодействия отдельных компонентов экосистемы между собой и с факторами внешнего воздействия (естественными и антропогенными). Одной из важнейших задач эрозионных исследований является оценка эрозионной опасности земель. Эрозионно-опасными считаются такие земли, где сочетания природных условий (климат, рельеф, почвы, подстилающие породы, осадки, хозяйственная деятельность) создают возможность проявления эрозии почв при их сельскохозяйственном использовании. Эрозионная опасность земель оценивается величиной потенциального смыва, для расчёта которого необходимо располагать целым рядом зависимостей, которые можно объединить **в две группы**.

Первую группу составляют эмпирические уравнения, полученные на основе аппроксимации экспериментальных данных. Модели первой группы, как правило, не содержат описания механизмов процесса. Область их применимости ограничивается условиями получения экспериментальных данных, что исключает возможность экстраполяции результатов за пределы условий, наблюдавшихся в опыте, и в этом их существенный недостаток. Каждый конкретный участок территории должен быть обеспечен экспериментальными данными всего набора входных параметров модели.

Любая типизация снижает объективность полученных результатов моделирования. Наиболее совершенной из этой группы является модель, разработанная американскими учеными.

Вторую группу составляют дедуктивные, процессные модели, основанные на использовании универсальных соотношений (законов сохранения масс, энергии, импульса, термодинамических уравнений, соотношения теории подобия и размерностей и т.д.). Модели второй группы содержат описания отдельных процессов и механизмы их взаимодействия. Основное преимущество такого подхода в том, что для широкого круга возможных ситуаций остается неизменным вид уравнений модели, математические методы их применения и определения параметров. К этой группе можно отнести модели, основанные на уравнениях В.В. Звонкова, Ц.Е. Мирцхулавы, Г.П. Сурмача, Г.И. Швевса и др.

Процессные полуэмпирические модели зачастую имеют хорошее теоретическое обоснование. Однако параметры, входящие в такие уравнения, при-

ходится определять экспериментально, проводя специальные опыты, используя нетрадиционные для почвоведов методы исследования. Такие измерения могут оказаться весьма трудоёмкими, требуют специального оборудования и измерительной техники. Преимущество моделей этой группы в их универсальности и возможности широкой экстраполяции результатов без потери точности расчётов. Сложные закономерности и зависимости определяются в модельных и лабораторно-полевых экспериментах в стационарных условиях на специальном оборудовании, а исходные параметры снимаются с готовых тематических карт данной территории.

Несмотря на значительное количество разработанных моделей, до уровня практического применения доведено сравнительно небольшое их количество. Среди них в нашей стране большой популярностью пользуются несколько моделей: модель прогноза дождевого смыва, разработанная школой Г.И. Швевса (1974, 1981), модель дождевой и ирригационной эрозии, разработанная коллективом Грузинского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации под руководством Ц.Е. Мирцхулава (1970, 2000), модель дождевого и талого смыва, разработанная в Государственном гидрологическом институте, Методические рекомендации по проектированию противозерозионных мероприятий на расчётной основе (1985, 1987), разработанная коллективом ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии под руководством Г.П. Сурмача, а также модель американских ученых, получившая название «универсальное уравнение потерь почвы». Для прогноза развития линейных форм эрозии, а также для определения количества смытой почвы и загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные водоемы целесообразно использовать гидромеханические модели. Желательно использование комплекса моделей, каждая из которых с учетом генетических особенностей единого эрозионно-аккумулятивного процесса детально описывает определенный вид эрозии – от плоскостного до линейных форм.

Явление ветровой эрозии почвы зарождается на границе твердой и газообразной сред (почвы и воздуха). Частота и масштабы проявления ветровой эрозии почвы, которые стали глобальными, а также темпы и тенденции её распространения имеют угрожающий характер. Об этом свидетельствуют многочисленные материалы последних международных форумов ученых и общественности, организованных Докучаевским обществом почвоведов, Международным обществом почвоведов (ISSS), Международной организацией мелиорации почв (ISCO), Европейским обществом охраны почв (ESSC), Организацией охраны почв и вод (SWCO).

Прогнозирование ветровой эрозии также связано с определёнными сложностями. В настоящее время существуют некоторые модели, позволяю-

щие с той или иной достоверностью прогнозировать процессы дефляции. Основным примером может послужить уравнение ветровой эрозии WEQ (The Wind Erosion Equation) (Woodruff, Siddoway, 1965; Shrestha, 2008).

Ежегодно с пахотных склонов страны из-за водной и ветровой эрозии сносится свыше 500 млн. т плодородной части почв. В результате этих процессов недобор зерна по стране оценивается в 15,8 млн т в год. Общий ущерб от водной и ветровой эрозии в России составляет ежегодно более 9,7 млрд долларов (Иванов и др., 2016).

Разработка новых и совершенствование имеющихся прогнозных моделей должны идти по пути более детального учёта генетических особенностей развития эрозионных явлений на основе механизма их проявления. При таком подходе существующие или разрабатываемые модели будут наиболее эффективны, так как учёт специфики эрозионных явлений более чётко определит область применения конкретных уравнений.

Вопрос 2. Прогнозирование водной эрозии почв.

За прошедшие десятилетия главное внимание уделялось исследованию дождевой эрозии почв. Объясняется это тем, что она причиняет большой ущерб во многих странах. Существуют многочисленные модели, разработанные с различных позиций и ориентированные на применение для различных объектов (склоны, водосборы). Однако, в разработке моделей дождевой эрозии, которые могут применяться для решения практических задач, приходится использовать эмпирически установленные закономерности, что, строго говоря, ограничивает их область применения.

В связи с необычайной важностью проблемы сохранения почв, вопрос о прогнозировании и оценке эрозии всегда был актуальным. За последние четыре десятилетия прошлого столетия в мире создано много эрозионных моделей, позволяющих с той или иной точностью прогнозировать потери почвы и влияние эрозионных процессов на снижение продуктивности сельскохозяйственных угодий. Большинство из них носит эмпирический характер.

Рассмотрим принципы и методы прогнозирования разных видов эрозии почв на примере некоторых наиболее распространенных математических моделей. Первые эмпирические зависимости были созданы еще в 30–40-е годы. А.М. Панков (1937) предложил следующую формулу расчёта смыва почвы:

$$E = F (Q I S Z P),$$

где E – эрозия почвы; Q – количество и интенсивность дождевых осадков, снегораспределения, снеготаяния; I – наклон поверхности, длина и экс-

позиция склона; S – растительность; Z – характер землепользования; P – сопротивляемость почв размыву.

На Новосильской опытной станции А.Д. Ивановским и Я.Ф. Корневым в 1937 году, было получено теоретическое уравнение, характеризующее влияние крутизны и длины склона на смыв почвы:

$$W = A I^{0.75} L^{0.5} X^{1.5}$$

где W – смыв почвы на единицу площади (кг/га); I – уклон поверхности склона (тангенс угла наклона); L – расстояние от водораздела (длина склона), м; X – интенсивность осадков или водоотдача из снега, мм/мин; A – коэффициент, учитывающий влияние других факторов эрозии.

Формула, разработанная А.В. Цингом, явилась результатом обобщения большого экспериментального материала эрозионных станций США.

Она имеет следующий вид (для расчёта смыва с единицы площади):

$$W = A I^{0.75} L^{0.6}$$

где W – смыв почвы на единицу площади (кг/га); I – уклон поверхности склона (тангенс угла наклона); L – расстояние от водораздела (длина склона), м; A – коэффициент, учитывающий влияние других факторов эрозии.

Приведенные уравнения послужили основой одного из самых перспективных направлений эрозиоведения – математического моделирования эрозионных процессов. В дальнейшем разрабатывались более совершенные модели.

В 1965 году в США В.Х. Уишмейером и Д.Д. Смитом (Wischmeier, Smith, 1978) была построена эмпирическая модель USLE (Universal Soil Loss Equation):

$$Q = 0,224 R K L S C P,$$

где Q – потери почвы от эрозии, кг/м² в год; R – комплексная характеристика эродирующей способности дождя – эрозионный индекс осадков; K – фактор эродируемости почв – комплексная характеристика свойств почвы, определяющих её эрозионные свойства (водопроницаемость и противоэрозионную стойкость); L – фактор длины склона (отношение потерь почвы с водосбора к потерям с водосбора длиной 22,6 м); S – фактор крутизны склона; C – фактор землепользования – комплексная характеристика влияния системы земледелия на смыв почвы; P – фактор противоэрозионных мероприятий – комплексная характеристика эффективности различных противоэрозионных мероприятий (отношение потерь почвы с данного поля к потерям почвы с поля, на котором не проводились работы по охране почв).

Модель USLE используется для расчёта межручейковой и ручейковой эрозии как функции факторов климата, почвы, топографии и использования земель. Первоначально USLE предназначалось только для прямых склонов.

Позже авторы разработали метод, который позволил применять USLE к склонам с различным профилем и культурами.

Эрозионный индекс осадков. Комплексная характеристика эродирующей способности дождя (R) – важнейший показатель модели, поскольку он теснее других показателей коррелирует с потерями почвы от дождевой эрозии на стоковых площадках США.

Параметр R рассчитывают по многолетним данным метеостанций. Для этого берут графики зависимости интенсивности дождя от времени для всех ливней за много лет (дожди с суммой осадков менее 12,7 мм в расчёт не берут). Для каждого ливня находят показатель r_{30} – среднюю 30-минутную интенсивность дождя (мм/ч). Кроме того, для каждого ливня рассчитывают суммарную кинетическую энергию E дождевых капель для каждого миллиметрового слоя осадков, выпадающих на 1 м² поверхности (кгс*м). Для этого пользуются эмпирическим уравнением:

$$E = 1,213 + 0,8901 \lg r,$$

где r – интенсивность дождя, мм/ч.

Фактор эродуемости почв. Комплексная характеристика свойств почв, определяющих её эрозионные свойства (K), представляет собой отношение величины среднегодового смыва почвы с квадратного метра стандартной стоковой площадки* к величине R .

Комплексная характеристика свойств почв, K

Гранулометрический состав почвы	Гумус, %		
	0,5	2	4
Песок	0,05	0,03	0,02
Очень мелкий песок	0,42	0,36	0,28
Супесь	0,12	0,10	0,08
Очень тонкая супесь	0,44	0,38	0,30
Легкий суглинок	0,27	0,24	0,19
Средний суглинок	0,38	0,34	0,29
Пыль	0,60	0,52	0,42
Глина	0,13–0,29		

Комплексную характеристику топографических факторов (LS) определяют путем перемножения факторов длины склона L и крутизны склона S . Для этого необходимо иметь данные по фактическим величинам длины и крутизны склона. Имея фактические значения длины и крутизны

склона, соответствующие им факторы находят по номограммам или с использованием уравнений регрессии:

$$S = 0,0650 + 0,0454 I + 0,0065 I^2,$$
$$L = (x : 22,13)^m$$

где I – крутизна склона в %; x – длина склона, м; m – эмпирический коэффициент, зависящий от крутизны склона:

$m = 0,5$, если $I \geq 5\%$; $m = 0,4$, если $3 < I < 5\%$;

$m = 0,3$, если $1 \leq I \leq 3\%$ $m = 0,2$, если $I < 1\%$.

Фактор землепользования – комплексная характеристика влияния системы земледелия на смыв почвы (C) представляет собой отношение величины потерь с участка, используемого в севообороте, к величине потерь с аналогичного участка, возделываемого по типу черного пара, вспаханного отвальным плугом вдоль склона.

Следовательно, учитывает влияние всех элементов используемой системы земледелия на смыв почвы. Среднюю величину C за время ротации севооборота рассчитывают путем суммирования значений C по отдельным полям севооборота, (в пределах поля – по периодам) и последующего деления на продолжительность ротации севооборота в годах. В пределах каждого года использования почвы на каждом поле севооборота выделяют периоды, в течение которых величина C считается постоянной для данного поля и определяется опытным путем.

Периоды выделяют независимо от возделываемой культуры по следующим критериям:

F – период, в течение которого данное поле севооборота после отвальной вспашки не обрабатывают;

SB – период, начинающийся после предпосевной обработки и посева и заканчивающийся по достижении посевами проективного покрытия 10%;

1 – период роста посевов; проективное покрытие возрастает с 10 до 50%;

2 – период развития посевов; проективное покрытие возрастает с 50 до 75%;

3 – период созревания посевов; длится от конца второго периода до момента уборки урожая;

4 – период от уборки урожая до вспашки или нового сева.

Эти величины справедливы при любом R , постоянном в течение года. Аналогичные величины разработаны и продолжают разрабатываться и для других севооборотов.

**Значения C для трехпольного севооборота по периодам
при постоянном R , %**

Номер поля севооборота, растительный покров, чередование культур и агротехника	Периоды					
	F	SB	1	2	3	4
1. Кукуруза после зернобобовых, которые выращивали на сено. Поле под кукурузу вспахали весной с оборотом пласта. После уборки урожая пожнив- ные остатки оставили на по- верхности поля	8	22	19	17	10	14
2. Овес по дискованным остаткам кукурузы	–	12	12	11	7	2
3. Злаки + бобовые	–	–	–	–	–	0,4

Фактор противоэрозионных мероприятий – комплексная характеристика эффективности различных противоэрозионных мероприятий (P), представляет собой отношение величины смыва почвы при использовании противоэрозионных мероприятий к величине смыва с парового поля, вспаханного вдоль склона. В число мероприятий, учитываемых величиной P , входят контурная обработка, контурное полосное земледелие, поделка валов-террас с широким основанием. Ряд агротехнических противоэрозионных мероприятий (правильная обработка, почвозащитные севообороты, применение удобрений, мульчирование почвы пожнивными остатками и др.) учитывается величиной C . Об эффективности указанных противоэрозионных мероприятий можно судить по величинам соответствующих коэффициентов.

Показатель эффективности противоэрозионных мероприятий (P)

Уклон, %	Контурная обработка	Контурное полосное земледелие	Валы-террасы с широким основанием
1–2	0,60	0,30	0,12
3–8	0,50	0,25	0,10
9–12	0,60	0,30	0,12
13–16	0,70	0,35	0,14
17–20	0,80	0,40	0,16
21–25	0,90	0,45	0,18

Вопрос 3. Прогнозирование ветровой эрозии почв.

Моделирование ветровой эрозии началось еще в начале 60-х годов для полуколичественной оценки потерь почвы. Моделирование ветровой эрозии было и остается преимущественно полуэмпирическим методом и модели актуальны только для конкретных площадок, где и проводятся исследования, универсальной достоверной модели не существует. Эмпирические модели являются наиболее простыми и основаны на наблюдениях / экспериментальных данных, т.е. они отражают факты и помогают прогнозировать, что произойдет в будущем. У таких моделей есть ограничения и недостатки, которые заключаются в отсутствии информации о пространственном распространении эрозии, однако при использовании ГИС-технологий эти недостатки можно преодолеть. Физические модели основываются на знаниях о фундаментальных эрозионных процессах и внедрении закона сохранения вещества и энергии. В теории необходимые параметры можно измерить, но на практике значительное количество параметров требует постоянной калибровки. К ним относится большое количество различных моделей, включая Soil and Water Assessment Tool (SWAT), Erosion Model for Mediterranean regions (SEMMED), Water Erosion Prediction Project (WEPP), USLE, MUSLE, RUSLE и многие др. Механизм работы моделей зачастую сложен, так же как и подготовка входных данных, это, как правило, требует вложения средств и времени, поскольку они включают данные, ограниченные мнением и компетенцией эксперта, и набором результатов полевых исследований. Эти ограничения можно преодолеть, если использовать спутниковые данные в сочетании с ГИС, которые позволяют отслеживать эрозию в динамике, контролировать изменения эрозионных процессов во времени и пространстве, что является основой при оценке, контроле и прогнозировании эрозии.

Основным примером может послужить уравнение ветровой эрозии WEQ* (Woodruff, Siddoway, 1965; Shrestha, 2008). Оно было апробировано в разных местах, и в работах Klik (2008) сообщается о том, что в сочетании с ГИС это уравнение даёт вполне адекватные результаты при выявлении областей (территорий) с риском возникновения ветровой эрозии.

Уравнение ветровой эрозии (WEQ), позволяет прогнозировать потери почвы в зависимости от ряда факторов:

$$Q = f(E I K C L V),$$

где Q – возможные потери почвы от ветровой эрозии за год с единицы поверхности; E – дефлируемость почв, зависящая от её комковатости (A) и наличия почвенной корки, учитываемой коэффициентом Fs; I – уклон; K – коэффициент бороздковой шероховатости; C – климатический индекс ветро-

вой эрозии почв, зависящий от средней скорости ветра V_z и влажности почвы W ; L – длина незащищенной части поля в направлении ветра; V – почвозащитный эквивалент растительного покрова и пожнивных остатков:

$$V = R S K_0,$$

где R – масса растительного покрова или пожнивных остатков на единице площади; S – коэффициент, учитывающий суммарную поверхность элементов растений; K_0 – коэффициент, учитывающий пространственное размещение растений.

Поскольку определение S и K_0 представляет собой весьма сложную задачу, предложены номограммы и уравнения для расчёта V на основании R для разных видов растительности и пожнивных остатков.

Поскольку все аргументы уравнения, за исключением климатического индекса ветровой эрозии C и крутизны склона I могут быть изменены в результате хозяйственной деятельности человека, его можно использовать не только для расчёта потенциальных потерь почвы при заданных значениях параметров E , I , C , K , L , V , но и для определения значений указанных параметров, необходимых для снижения потерь почвы до требуемого уровня.

В течение многих лет рассмотренная модель служила основным инструментом прогнозирования ветровой эрозии почв на Великих равнинах. По мере накопления фактического материала и изменения систем земледелия в модель были внесены изменения, позволившие расширить возможности её применения и рассчитывать потери почвы не только в среднем за год, но и за более короткие промежутки времени.

В настоящее время с развитием компьютерных технологий начали строить ГИС-модели развития эрозионных процессов. Например, уравнение ветровой эрозии (WEQ) широко используется для оценки ветровой эрозии в Монголии в среде ArcGIS. Модель включает метеорологические данные, значения стандартизованных индексов различий растительного покрова (NDVI), полученных с помощью MODIS, цифровую модель рельефа и почвенную карту Монголии. В США проводились исследования по моделированию ветровой эрозии не только в полевом масштабе, но и на региональном уровне. Для этого использовалось модифицированное уравнение RWEQ (Revised Wind Erosion Equation), ГИС и изображения Landsat (Zobeck et al., 2000). ГИС-модели процессов ветровой эрозии разработаны в рамках проектов WEELS (Wind Erosion Prediction System) WEPS и GIS-RWEQ (Borrelli et al., 2017), спонсируемых рядом европейских стран ESDAC (European Soil Data Centre).

Модель WEELS обеспечивает прогноз развития эрозии на трех масштабных уровнях. На региональном уровне она позволяет идентифицировать

проблемные территории, по которым необходимо более детальное рассмотрение. Следующий уровень – определение риска ветровой эрозии на уровне конкретного участка на основе таких исходных параметров как характеристика верхнего слоя почвы, протяженность поля, преобладающие направления ветра и наличие ветровых барьеров. Третий уровень, для которого требуются наиболее подробные данные, обеспечивает моделирование воздействия ветровой эрозии на 30-летний период и составление прогнозов, базирующихся на сценариях возможного изменения климата и различных вариантах землепользования.

Описанная процедура выделения проблемных участков и полей с потенциальным риском эрозии обеспечивает поиск «горячих точек» ветровой эрозии на региональном уровне. Необходимые для этого исходные данные доступны в большинстве государств Европы. Для более детальных исследований на уровне конкретных полей необходимо иметь соответствующие данные о верхнем слое почв, данные о форме поля и ветровых барьерах. Во многих европейских странах эти данные с разной степенью полноты могут быть получены на основе существующих цифровых наборов данных. Если таких данных нет, то необходимо проводить полевые исследования, а их результаты перевести в цифровой вид.

Подход, ориентированный на выделение районов с потенциальным риском ветровой эрозии на разных территориальных уровнях, позволяет сфокусировать внимание и финансовые средства на самых уязвимых участках. В дальнейшем по выявленным «проблемным» полям оправдано проведение детального моделирования и создание прогноза реального риска ветровой эрозии.

Данные дистанционного зондирования (аэро- и космические снимки) широко используют при картографировании и мониторинге эрозии почв. Особенно активно в последнее время применяют спутниковые данные, которые позволяют изучать и картографировать эрозию почв на больших пространствах путем непосредственного дешифрирования ареалов эродированных почв, последствий эрозии и дают возможность оценивать и моделировать риск эрозии почв. Использование спутниковых данных отличается меньшей вовлеченностью экспертного мнения, меньшими затратами труда и времени, эти данные могут служить основой как для эмпирических, так и для физических моделей при оценке степени эродированности.

В ряде работ показано, что спутниковые данные можно использовать для картирования ветровой эрозии, детектирования областей, затронутых дефляцией и регистрирования времени, которое уходит на восстановление нарушенных эрозией участков. Так, например, Collado и другие (2002) при-

менили подход динамического или мультивременного сравнения для картирования территорий в процессе опустынивания в Аргентине, используя изображения Landsat TM за разные сроки съёмки. Для мониторинга процесса опустынивания в провинции San Luis, где в последние десятилетия наблюдаются признаки серьезной деградации ландшафта, использовался анализ цифровых изображений дистанционного зондирования. Сравнивались два изображения Landsat (за 1982 и 1992 годы) с целью оценить потенциальную возможность применения анализа данных дистанционного зондирования для мониторинга процесса опустынивания. После геометрических и радиометрических корректировок использовалось мультивременное сравнение для выявления участков с наибольшей степенью деградации. Спектральное разложение упрощает анализ участков с неоднородным покровом, разница между «разложенными» изображениями песка или воды позволяет определить передвижение дюн, тренды восстановления растительного покрова, изменения водных объектов в результате изменившихся осадков и особенностей землепользования.

Дистанционное зондирование используется при изучении эрозии в целях получения исходных данных для эрозионных моделей, для косвенной оценки почвенной эрозии путем анализа растительного покрова, а также для непосредственного определения эрозионных форм рельефа и стадий эрозии. Основной принцип идентификации эродированных и аккумулярованных почв основан на предположении, что спектральные характеристики отражения аккумулярованных и неэродированных «здоровых» почв отличаются.

Эти различия объясняются изменениями химических и физических свойств верхнего слоя почвы, спровоцированных переносом почвенных частиц и их аккумуляцией.

Таким образом, свойства почвы, измененные эрозионными процессами, которые находят спектральный отклик в общей спектральной характеристике почвы, в то же время можно использовать как спектральные индикаторы почвенной эрозии. Это свойства, которые претерпели изменения либо вследствие избирательного отчуждения или перемещения легких поверхностных частиц, например, содержание органического вещества и гранулометрический состав почвы, либо вследствие смыва верхнего плодородного слоя почвы или его перемешивания с подстилающими горизонтами, такие как содержание карбонатов, оксидов железа и грубого материала. Возможность и точность выявления эродированных почв с использованием спектральных изображений в значительной степени зависит от интенсивности эрозионных процессов, с одной стороны, и от соответствующих изменений спектральных характеристик нарушенных почв – с другой.

Тем не менее, несмотря на прогресс методов цифрового анализа изображений и разработку новых спутниковых сенсоров, до сих пор существуют пробелы в знаниях, ограничивающие применение этих методов для оценки эродированных почв.

Вопрос 4. Прогнозирование эрозии при орошении.

Орошение напуском по бороздам – древнейший способ орошения. Он широко применяется и сегодня, поскольку требует меньших затрат по сравнению с другими способами ирригации и обеспечивает возможность подачи большого количества воды на поле в кратчайшие сроки. Это особенно актуально при возделывании хлопчатника, оросительная норма которого в пустынной зоне достигает 9 000 м³/га в год. Поэтому прогнозирование эрозии почв при поливе напуском остаётся актуальной задачей.

Сравнительно высокая степень изученности процессов эрозии почв при орошении обусловила разработку большого количества моделей ирригационной эрозии почв. Одна из них, разработанная М.С. Кузнецовым (1981) для почв Средней Азии, широко используется при оценке опасности эрозии почв при поливе по бороздам.

В основе модели лежит уравнение:

$$Q = 10^{-3} q_x V_x t_{2x}, \quad (9.29)$$

где Q – смыв почвы с участка длиной x за время полива t , т/га; q_x – интенсивность выноса почвы потоком на расстоянии x от головной части борозды (количество почвы, переносимой потоком через единицу ширины в единицу времени), кг/(с·м); V_x – суммарная ширина потоков воды в створе x , замыкающем снизу площадь 1 га, м/га; t_{2x} – длительность транзита воды через створ x за один полив, с.

Расстояние от головной части борозды до конца расчётного участка (x , м) обычно берут в пределах 50–100 м.

Орошение дождеванием – более совершенный и прогрессивный способ орошения. В принципе технология орошения дождеванием должна быть такова, чтобы сток и смыв почвы не имели места. Опыт показывает, однако, что на полях, орошаемых дождеванием, часто формируется поверхностный сток и наблюдается смыв почвы. В то же время процессы эрозии почв при орошении дождеванием, особенно в случае с машинами периодического действия, изучены недостаточно. Для оценки величины возможных потерь почвы от эрозии при орошении дождеванием может быть использована модель Ц. Е. Мирцхулавы (1970) при условии допущения постоянства интенсивности искусственного дождя по территории орошаемого поля и во времени.

Лекция 8. Предупреждение водной эрозии почв

Вопрос 1. Агротехнические противоэрозионные мероприятия.

Основным назначением противоэрозионной агротехники является:

1. Задержание части стока на водосборной площади;
2. Перевод его в почву с целью равномерного увлажнения корнеобитаемого слоя;
3. Сокращение смыва;
4. Повышение продуктивности эродированных земель.

Установление оптимального соотношения возделываемых культур (зерновых, пропашных, бобовых) и паров является одним из основных факторов борьбы с эрозией и управления плодородием почв. Поэтому структура посевных площадей и система севооборотов должны отвечать следующим требованиям:

1. Обеспечение получения запланированной урожайности;
 1. Максимально учитывать биологические особенности культур и технологий их возделывания;
 2. Дифференцировано подходить к использованию пахотных угодий с учетом рельефа, свойств почв, подверженности их эрозии;
 3. Структура посевных площадей должна соответствовать специализации хозяйства;
 4. Учитывать обеспеченность хозяйства ресурсами на ближайшую и отдаленную перспективу;
 5. Соответствие системы севооборотов намеченной структуре управления и организации производства;
 6. Размещение всех культур по рекомендуемым предшественникам;
 7. Соблюдать сроки возврата с/х культур на прежнее место в севообороте, учитывать чрезмерное насыщение севооборотов однотипными культурами;
 8. Создавать условия для освоения ресурсосберегающих почвозащитных технологий возделывания с/х культур;
 9. Обеспечивать более полное использование системой севооборотов биоклиматического потенциала за счет улучшения состава основных культур и расширения промежуточных посевов.

Корректировка структуры посевных площадей и севооборотов для повышения их почвозащитной и почвоулучшающей роли возможна за счет:

1. Замены в районах избыточного, достаточного и неустойчивого увлажнения чистых паров занятыми, а в районах недостаточного увлажнения ис-

пользование чистых паров сопровождается применением специальных почвозащитных приемов. Парозанимающей культурой может быть смесь овса с викой, горохом. Сидеральные занятые пары эффективны в зоне достаточного увлажнения на легких почвах, в качестве зеленого удобрения используют бобовые культуры – люпин, донник белый и крестоцветные культуры – горчица белая, рапс, редька масличная.

2. Использования промежуточных культур, используемых на корм или зеленое удобрение, так как они удлиняют период, в течение которого почва находится под прикрытием растений, улучшают свойства почвы вследствие дополнительного поступления в нее органического вещества. В качестве озимых промежуточных культур целесообразно использовать озимую рожь и ее смеси с озимой викой, поукосных – рапс яровой, редьку масличную, горчицу белую, пожнивных – горох укосный, рапс яровой.

Так же можно повысить защитную функцию культур, за счет различных способов их посева.

1. Применение *узкорядных посевов*, которое приводит к уменьшению стока на 20–30 %, смыва почвы – на 25 – 30 % и увеличению урожайности зерновых культур на 1,5–2,0 ц/га.

2. На расчлененных сложных склонах особенно эффективен *перекрестный посев*, когда сеялка делает первый проход вдоль склона, а второй - по контурам. Этот прием в несколько раз снижает смыв почвы и обеспечивает прибавку урожая зерновых культур за счет более равномерного распределения растений по площади.

3. В районах с ливневой эрозией размещаются *буферные полосы*, которые располагаются в направлении близком к горизонталям и предназначены для распыления стока, замедления скорости стекания воды. Их создают в виде узких полос из многолетних и однолетних культур (озимых пшеницы и ржи, вики, бобово – злаковых смесей) на парах, на полях, занятых пропашными культурами, а также в садах. Ширина буферных полос и расстояние между ними определяют главным образом крутизной склона, при увеличении крутизны ширина буферных полос увеличивается. Например, на склонах крутизной 6 – 8 град. Рекомендуется создавать буферные полосы шириной 4 – 6 м с расстоянием между ними 30 – 40 м, а на склонах крутизной 10 – 12° соответственно 8 – 10 и 20 – 30 м. Ширина полос должна быть кратна ширине захвата сеялки.

Почвозащитные севообороты – это севообороты, которые размещены на более эродированных частях склона, насыщены почвозащитными культурами и связаны с усиленным применением на их территории средств и приемов противоэрозионной защиты.

В зависимости от формы склона почвозащитные севообороты располагаются: в нижней части выпуклых и прямых склонов, в средней части выпукло-вогнутых склонов и несколько выше середины вогнутых склонов.

Пар и пропашные культуры не следует размещать в почвозащитных севооборотах, однако при необходимости их нужно размещать полосами и защищать специальными противоэрозионными приемами. Набор культур в севообороте зависит от природной зоны и специализации хозяйства.

Почвозащитную эффективность севооборотов определяют по формуле:

$$K_3 = \frac{K_1 S_1 + K_2 S_2 + \dots + K_n S_n}{S}, \text{ где}$$

K_3 – коэффициент эрозионной опасности;

K_1, K_2, \dots, K_n – коэффициенты эрозионной опасности отдельных культур;

S_1, S_2, \dots, S_n – площадь культур в га или %;

S – площадь севооборота, га или %.

Почвозащитные севообороты должны иметь коэффициент эрозионной опасности около 0,15 – 0,25. В условиях Нечерноземной зоны, если принять коэффициент эрозионной опасности чистого пара за единицу, то возделываемые в данной зоне культуры будут иметь следующие коэффициенты: чистый пар – 1, пропашные – 0,7 (сах. свекла – 0,85); яровые зерновые 0,5; озимые зерновые – 0,3; многолетние травы – 0,05.

Механическая обработка почвы на склоновых землях кроме своих основных задач должна обеспечивать защиту почвы от эрозии. В районах с неустойчивым и недостаточным увлажнением (лесостепь, степь) система обработки на склонах должна обеспечивать максимальное впитывание в почву выпадающих осадков и предупреждать потери влаги на непродуктивное испарение, а в районах с избыточным увлажнением (лесная зона) – способствовать безопасному отводу воды.

Приемы противоэрозионной обработки почв на склонах условно делят на две группы:

1. Общие (вспашка, культивация, боронование, междурядные обработки);
2. Специальные (обваловка зяби, бороздование, лункование, щелевание и др.)

При выборе приемов необходимо учитывать увлажненность территории, характер стока вызывающего эрозию, тип и крутизну склона, водопроницаемость почв в эрозионно опасные периоды.

Наименее трудоемким, доступным и эффективным способом защиты почв от эрозии для каждого хозяйства является проведение приемов обработки почвы и посева поперек склона. При этом гребни и борозды, располагаясь

перпендикулярно к направлению склонового стока, оказывают сопротивление движению воды, задерживают часть стока и способствуют увеличению поглощения воды почвой.

В районах с избыточным увлажнением обработку следует проводить под небольшим углом к горизонталям, чтобы обеспечить безопасный отвод излишков воды. В районах с недостаточным увлажнением обработку желательнее проводить строго по горизонталям.

Рассмотрим приемы основной обработки почвы.

К важнейшим противоэрозионным приемам основной обработки почвы относят:

1. *Вспашка поперек склона* – она наиболее эффективна на полях с уклоном до 3° . Данный прием на эродированных землях Центрального Нечерноземья задерживает в среднем 150 – 200 т/га воды и уменьшает смыв почвы до 4 т/га, при этом урожайность зерновых повышается на 1,5–2 ц/га.

2. *Глубокая вспашка и вспашка с почвоуглублением*. Увеличение глубины обработки способствует повышению водопроницаемости почвы и соответственно к уменьшению стока воды и смыва почвы. На склоновых землях к небольшой мощности гумусового горизонта эффективно применение глубокой обработки с применением плуга с почвоуглубителем или плуга с вырезным отвалом, чтобы не выворачивать на поверхность малопродуктивные горизонты почвы.

Глубокая вспашка (на 25 – 27 см) – это энергоемкое мероприятие, поэтому проводится обычно 1–2 раза за ротацию севооборота и чередуется с обычной вспашкой или безотвальными приемами обработки почвы (дискование, лущение и т.п.).

3. *Ступенчатая вспашка* – осуществляется плугами, у которых четные корпуса устанавливаются на 10 – 15 см глубже, чем нечетные.

4. *Система безотвальной обработки почвы* обеспечивает повышение производительности труда на 37 – 40%. Растительные остатки, остающиеся на поверхности поля надежно защищают почву от эрозии. Но система безотвальной обработки почвы способствует накоплению вредителей, болезней, сорняков, поэтому целесообразно в системе почвозащитной обработки почвы в севообороте сочетать разноглубинные безотвальные приемы с различными видами вспашки.

На склонах круче 3° , где эффективность обработки поперек склона снижается, необходимо проводить дополнительные водозадерживающие мероприятия. Для этого на поле одновременно со вспашкой формируется противоэрозионный нанорельеф (борозды, валики, лунки, прерывистые борозды), с

помощью приспособлений ПРИТ – 70000, ПРИТ – 90000 и специальных приемов: лункование, щелевание, кротование, обваловка и др.

Лункование – проводится после заблевой вспашки специальным орудием (лункообразователем), или специально приспособленным дисковым луцильником с эксцентрично установленными на оси дисками. Длина лунок составляет 110-120 см, ширина 35-50 см, глубина 12-15 см. В итоге на гектаре образуется до 13 тысяч лунок с общей емкостью 250 куб. м/га.

Прерывистое бороздование – проводится специальным приспособлением, агрегируемым с плугом или культиватором. Рабочий орган – трех- или четырехлопастная крыльчатка. Лопасть крыльчатки сгребает почву в борозде и после образования перемычки из почвы, крыльчатка проворачивается на 1/3 оборота. Длина борозды составляет 80-100 см, ширина 35-40 см, глубина 10-15 см. Емкость борозд, образуемых на гектаре – 300 м куб.

Образование микролиманов – их поделка осуществляется более широкой крыльчаткой, чем при прерывистом бороздовании, которая агрегируется с плугом. Число микролиманов на гектаре достигает 4100, а суммарная емкость – 700 куб. м.

Поделка водоотводных борозд – Борозды нарезают осенью по зяби, стерне и на озимых посевах навесным бороздоделом БН-300. Глубина водоотводных борозд 18-22 см, ширина по верху 40-48 см. Борозды обычно нарезают на расстоянии 50-100 м друг от друга в зависимости от рельефа местности и условий стока под углом 25-30° к горизонталям.

Щелевание – поделка узких и глубоких щелей. Применяют на посевах многолетних трав, озимых, сенокосах, пастбищах, а также на зяби, особенно ранней. Глубина щелей может быть от 15 до 60 см, а расстояние между ними 100 – 150 см. Рабочими органами служат ножи – щелерезы, устанавливаемые на раму плуга или плоскореза – глубокорыхлителя. Эффективность щелевания существенно повышается, если щели засыпать растительными остатками или торфом.

Кротование – осуществляется на глубину 35 – 40 см. специальными приспособлениями делают полости – кротовины диаметром 6 – 8 см на расстоянии 0,7 – 1,4 м. Осуществляется одновременно со вспашкой зяби.

При вспашке с кротователем в подпахотном горизонте образуется вертикальная щель, через которую вода поступает в кротовину. Однако при весеннем снеготаянии одно кротование не всегда оказывается достаточно эффективным, так как кротовины находятся в мерзлом слое и оттаивают в последнюю очередь. В этом случае целесообразно проводить кротование одновременно с поделкой микролиманов. Весной, когда снег начинает оседать,

открываются гребни земляных валиков, по ним оттаивание идет вглубь и достигает кротовины.

Для накопления влаги в почве в зимний период проводят удержание и равномерное распределения снега на склоне. Применяются следующие приемы снегозадержание и регулирование снеготаяния:

1. *Снегопахота* – задержание снега начинается при высоте снежного покрова 8 – 12 см и проводится 2 – 3 раза за зиму, преимущественно во время оттепелей. Формируют снежные валы высотой 40 – 70 см, которые располагаются поперек господствующих ветров или перекрестно на расстоянии 5 – 10 м друг от друга на нижних частях склонов южной и западной экспозиции, и 15 – 20 м на верхних частях этих склонов, а также на северных и восточных склонах.

2. *Полосное уплотнение снега* – способствует дополнительному накоплению снега, растягивает период снеготаяния, снижает скорость стекания воды и задерживает смывтую с проталин почву. Используют водоналивные катки заполненные сухим песком.

3. *Мульчирование* – эффективный способ сохранения и накопления влаги в почве и защиты её от эрозии. Мульчирующий материал защищает почву от ударов капель дождя, повышает шероховатость поверхности, за счет чего снижается скорость водных потоков и потоков ветра в приземном слое почвы. В качестве мульчи можно использовать сено, солому, опилки. Как правило, в мульчирующих материалах содержится очень мало азота, поэтому при их разложении бактерии активно используют азот из почвы, что может вызвать дефицит азота у растений. Для этого следует дополнительно вносить азотные удобрения в пересчете 10-15 кг д.в. азота на 1 тонну соломы.

4. *полосное покрытие снега* различным темным материалом (торф, почва и т.п.), что приводит к неравномерному снеготаянию, задержанию и накоплению влаги.

Вопрос 2. Агромелиоративные противоэрозионные мероприятия.

Под агромелиорацией понимают совокупность организационно-хозяйственных и технических мероприятий для оптимизации почвенных, гидрологических и климатических условий в агроэкосистемах с целью повышения их биологической продуктивности – урожая сельскохозяйственных культур и выхода продуктов животноводства. Различают гидромелиорацию, агролесомелиорацию, химическую мелиорацию, культуртехнические работы.

На приводораздельных склонах помимо опасности ветровой эрозии почв возникает опасность смыва и размыва почв. В связи с этим, ленточные лес-

ные насаждения должны выполнять почвозащитные функции, перехватывать поверхностный сток талых и дождевых вод и перевод их во внутрпочвенный сток. Поэтому на склонах круче 2° их ориентируют в направлении, перпендикулярном линии стока, без учета направления ветра. Такие насаждения называют *стокорегулирующими лесными полосами*. Механизм действия стокорегулирующих лесных полос основан на повышенной (по сравнению с пашней) впитывающей способности почв в лесном насаждении. Водопроницаемость почв в лесу обычно выше, чем на пашне, так как плотность почв в лесу меньше, а пористость больше. Это связано с образованием пустот после отмирания корней, с деятельностью землероев. Кроме того, лесная подстилка предохраняет почву от замерзания и заиливания, а также сама задерживает часть стока. Чем больше возраст защитного лесонасаждения, тем ближе обстановка в нем к лесной, тем больше впитывающая способность почвы.

Количество воды, которое может впитаться в почву в лесополосе, равно произведению интенсивности впитывания на время впитывания и на площадь лесополосы. Эта величина является основой для выбора проектировщиками параметров системы стокорегулирующих лесных полос - это ширина полос и расстояния между соседними лесополосами.

Оптимальная ширина стокорегулирующих полос лежит в пределах 10 – 20 м.

При увеличении расстояния между соседними лесополосами, и соответственно объема стока, стокорегулирующие лесополосы оборудуют простейшими гидротехническими сооружениями – валиками, канавами с перемычками. Эти мероприятия эффективны при объеме стока до 80-100 мм при 10% обеспеченности, при большей величине стока его следует сбрасывать в овражно – балочную сеть, приняв меры против ливневой эрозии. Для этого стокорегулирующие полосы дополняют водонаправляющими гидротехническими сооружениями.

Отличительной особенностью *прибалочных лесных насаждений* является их местоположения – вдоль бровки балок и лощин там, где кончается пологий склон, а ниже бровки начинается сравнительно крутой склон балки. Здесь обычно расположена нижняя граница пашни и расчлененность поверхности больше, чем на приводораздельной или средней части склона. Это приводит к высокой степени концентрации поверхностного стока, поступающего в прибалочную лесополосу. Поэтому прибалочные лесополосы еще в большей степени, чем стокорегулирующие, нуждаются в дополнении простейшими гидротехническими сооружениями – распылителями стока, перемычками, водозадерживающими и водоотводящими валами.

Ширина прибалочных лесополос, согласно действующим инструкциям, ограничена диапазоном 12,5 – 21 м. Выбор ширины и конструкции прибалочной лесополосы зависит от условий снегонакопления.

Прибалочные лесополосы состоят из ежегодно плодоносящих пород: береза, ель, клен ясенелистный, и др., для лучшего осеменения береговых оврагов, расположенных ниже по склону.

Основное их назначение – увлажнение и затенение откосов, что создает условия для зарастания их травянистой и лесной растительностью, которая скрепляет корнями почву и предотвращает рост оврагов вширь. Приовражные лесные полосы располагают вдоль бровки оврага, поэтому они чаще всего ориентированы вдоль склона, как и сам овраг. Это увеличивает опасность размыва почвы вдоль лесополосы в процессе снеготаяния. Поэтому приовражные полосы, как и прибалочные, нуждаются в дополнении гидротехническими сооружениями.

В привражную полосу вводят березу, ель, клен остролистый, способствующие быстрому облесению откосов. В крайний ряд лесополосы со стороны оврага вводят корнеотпрысковые породы: белую акацию, осину, терн, шиповник.

Овражно – балочные лесные насаждения бывают трех видов в зависимости от расположения:

- береговые балочные – по длинным пологим берегам балок;
- по дну и откосам оврагов с целью их закрепления;
- насаждения-илофилтры по днищам оврагов и балок для кольматации твердого стока (кольматирующие).

Оптимизация рельефа оврагов и балок включает выполаживание и отсыпку откосов, планировку оползней, строительство переездов через крутые овраги и другие гидротехнические сооружения. После завершения этих работ на выположенных откосах высаживают сеянцы засухоустойчивых и корнеотпрысковых пород, таких, как сосна обыкновенная, акация белая, береза бородавчатая, клен татарский, груша, терн, смородина золотистая.

Форма и размеры дна балок в значительной мере определяют особенности их облесения. На широких выровненных днищах путем поверхностного или коренного улучшения создают хороший травостой, а затем насаждения – илофилтры шириной 20 – 50 м через 100 – 300 м. Насаждения – илофилтры создают из рядов древесных пород, чередующихся с рядами кустарниковых ив.

Днища оврагов и балок, на водосборах которых сток не зарегулирован, являются местом переноса и отложения почвы, смытой с полей на водосборах. Защитное лесное насаждение по дну и склонам оврагов, балок, ложбин,

предназначенное для задержания наносов, называется *кольматирующим* лесным насаждением.

Вопрос 3. Гидротехнические противоэрозионные мероприятия.

Гидротехнические противоэрозионные мероприятия применяют в тех случаях, когда агротехнических и агролесомелиоративных мероприятий недостаточно. Чаще всего это касается крутых склонов и сильно заовраженных земель. Их отличают высокая эффективность и сравнительно высокая стоимость. Поэтому гидротехнические мероприятия выступают в качестве завершающего звена в комплексе противоэрозионных мероприятий.

Простейшие гидротехнические сооружения на водосборной площади:

1. *Валы-террасы*. Их создают на склонах крутизной не более 6° при невысокой ложбинности склона. Валы-террасы строят по горизонталям местности и привязывают к границам полей и производственных участков. Высота валов обычно 30-60 см, ширина основания — в 8-12 раз больше высоты. Благодаря пологим откосам такие валы легко преодолеваются всеми сельскохозяйственными машинами при обработке почвы, посеве и уборке урожая.

2. *Ступенчатые террасы* сооружаются в целях интенсивного использования крутых склонов под ценные многолетние культуры с механизированной обработкой почвы и уходом за растениями, сдержания поверхностного стока и защиты почв от эрозии. Они представляют собой непрерывные вытянутые по горизонтали или с допустимым уклоном вдоль полотна площадки той или иной ширины. При уклоне $8 - 10^\circ$ обычно делают полосы шириной 8 – 10 м, при уклоне $10 - 12^\circ$ полосы 6 – 8 м, при $12 - 14^\circ$ снижают до 4 – 6 м и при уклоне $14 - 16^\circ$ до 3 – 4 м. Перед террасированием производится засыпка водороев, промоин и неглубоких оврагов.

3. *Траншейные террасы* (террасы-канавы) используются для борьбы с эрозией и селями при облесении крутых (до $35-40^\circ$) склонов. Они состоят из траншей, вытянутых строго по горизонталям и валов из вынутой почвы, расположенных вдоль нижних канав. Деревья высаживают в нижней части насыпного откоса, примыкающего к канаве, что обеспечивает им относительно лучшие условия.

4. *Распылители стока* создают для рассредоточения потоков воды, концентрирующихся в ложбинах, разъемных бороздах, межах, напашах, у дорог и лесных полос. Распылитель стока представляет собой валик с расположенной перед ним выемкой, перегораживающей понижение под углом 45° к его оси. Высота валика обычно 0,3 – 0,5 м, в сторону нижнего конца распылителя он уменьшается и сходит на нет. Валик имеет треугольное или трапециевид-

ное сечение с заложением откосов 1:1,5. Распылители размещают по длине ложбин через каждые 50 – 100 м

5. *Водоудерживающие валы (валы Борткевича)* устраивают на прилегающем к вершине оврага участке склона для приостановки его роста. Валы рекомендуется создавать в условиях спокойного рельефа на водосборах не более 15 га при средней крутизне склона не более 3°. При выраженной ложбинности площадь водосбора не должна превышать 5 – 8 га, а при крутизне склона 3 – 6° – 5 га.

Для укрепления вала его засевают весной следующего после сооружения года смесью многолетних трав (ежа сборная, тимофеевка, клевер, овсяница луговая), а в пространстве между вершиной оврага и первым валом, а также на дне оврага проводят посадку лесных культур.

6. *Водоотводные валы-каналы (нагорные каналы)* применяются для отвода воды от вершин оврагов в задернованные ложбины или к одной вершине, закрепленной водосбросным сооружением.

Гидротехнические сооружения на оврагах.

1. *Вершинные водосбросные сооружения* служат для безопасного сброса воды через вершину на дно оврага. Они создаются в тех случаях, когда система водорегулирующих мероприятий на в сборе оказывается неэффективной или не может быть применена, а также при подходе вершины оврага к ценным сооружениям. Выделяют три типа вершинных сооружений: быстротоки, перепады и консоли (консольные перепады). Быстротоки — это сооружения, в которых вода движется непрерывно по их дну. В перепадах и консолях — на одних участках по дну, а на других — падает по воздуху.

Выбор вида вершинного сооружения определяется:

- глубиной обрыва в вершине оврага,
- водопрочностью грунтов,
- глубиной залегания грунтовых вод.

2. *Донные сооружения (запруды)*. Запруды создают после укрепления оврага для предотвращения дальнейшего углубления дна.

3. *Засыпка оврагов и выполаживание их откосов*. Наиболее радикальным методом борьбы с линейными формами эрозии является их полная засыпка. Водороины глубиной до 50 см уничтожают вспашкой в свал вдоль размыва и последующей обработкой поперек склона. Более глубокие размывы заравнивают бульдозером. Овраги, расположенные по берегам рек и водохранилищ, можно заполнять материалом, подаваемым в виде пульпы землесосными снарядами при очистке этих объектов.

Лекция 9. Предупреждение ветровой эрозии почв

Вопрос 1. Агротехнические мероприятия.

Агротехнические противодефляционные мероприятия затрагивают несколько элементов системы земледелия, в первую очередь порядок использования земли в севообороте и систему механической обработки. С помощью этой группы мероприятий решают задачи снижения скорости ветра в приповерхностном слое и повышения противодефляционной стойкости почвы. Наиболее широкие возможности здесь связаны с использованием почвозащитной роли растительности.

Почвозащитная эффективность каждой сельскохозяйственной культуры зависит от ее возраста. От посева до появления всходов почвозащитная эффективность всех культур одинакова и равна нулю. Это обусловлено тем, что противодефляционная стойкость посевов до появления всходов целиком определяется противодефляционной стойкостью почвы, которая зависит от свойств почвы, способа подготовки к посеву и особенностей посевной машины. Начиная с момента появления всходов почвозащитная эффективность большинства культур увеличивается по мере роста и развития растений и достигает некоторого предельного значения, обусловленного биологическими особенностями культуры (высота, листовая поверхность, поверхность стеблей) и способом посева (полосный, гнездовой, узкорядный и т.д.).

После уборки урожая почвозащитные функции переходят к растительным остаткам. Почвозащитная эффективность любой культуры изменяется в течение года. Изменяется и вероятность сильных ветров, способных вызвать ветровую эрозию, которая, как следует из изложенного выше, подчиняется определенным географическим закономерностям: в одних местах пыльные бури бывают преимущественно весной, в других – летом и т.д. Это обуславливает трудность однозначной оценки почвозащитной эффективности тех или иных культур.

Наиболее устойчивы и практически всегда защищены от ветровой эрозии поля севооборота, занятые многолетними травами. И это обстоятельство широко используется на практике. Например, доля многолетних трав в зернопаровых почвозащитных севооборотах может достигать 50 %, а срок их использования в севообороте – до 6 лет.

Практически не защищены от ветровой эрозии почвы паровых полей, не занятых растительностью. Весьма мало отличаются от паровых полей по этому показателю почвы, занятые под свеклу, капусту, лук и подобные по технологии возделывания и биологическим особенностям культуры. Их

наземной биомассы обычно не хватает в течение всего сезона для сколько-нибудь эффективной защиты почвы от выдувания.

Более эффективны в этом отношении такие культуры, как кукуруза, подсолнечник. Почвы под зрелыми посевами этих культур практически не подвержены ветровой эрозии. Однако эти культуры сравнительно медленно достигают почвозащитного состояния, так как согласно технологии их возделывания ширина междурядий должна быть достаточно большой (до 60-90 см), чтобы обеспечить достаточную площадь питания и возможность проведения культивации. Чем больше междурядья, тем выше должны быть растения, чтобы защитить почву, и тем больше для этого требуется времени. Поэтому период недостаточной почвозащитной эффективности у этих культур более продолжителен, чем у культур с небольшими междурядьями, и на ранних стадиях роста и развития они часто страдают от ветровой эрозии почвы.

Высокой почвозащитной эффективностью отличаются сплошные насаждения зерновых культур в период после начала кущения до уборки урожая. Однако продолжительность этого периода сильно изменяется. Если для озимой пшеницы за продолжительность этого периода принять время от прекращения осенней вегетации до наступления стадии восковой спелости, равное для основных районов ее возделывания примерно 285 суткам, то продолжительность аналогичного периода для яровой пшеницы лишь около трех месяцев. Следовательно, озимая пшеница, если она хорошо раскустилась, длительное время защищает почву. Продолжительность же защитного действия яровой пшеницы совершенно недостаточна.

Степень защищенности полей севооборота от ветровой эрозии в течение года будет закономерно изменяться в соответствии с биологическими особенностями возделываемых культур. Поэтому при разработке и размещении севооборота помимо общих требований необходимо удовлетворить и требование достаточной защищенности полей от ветровой эрозии. Самым эффективным и распространенным способом решения проблемы является введение в состав севооборота многолетних трав. Необходимо равномерно распределить травы по полям, что решается путем полосной организации полей севооборота: полосы трав чередуют с полосами других культур. Все полосы располагают перпендикулярно направлению наиболее опасных ветров. Для продления защитного действия сельскохозяйственных культур используют их послеуборочные остатки. Для дополнения почвозащитного действия основных культур севооборота используют посев промежуточных культур. Травосеяние, как средство защиты почв от ветровой эрозии, широко применяют и на внесевооборотных землях.

Основным агротехническим приемом защиты почв от ветровой эрозии является чередование полей, занятых почвозащитными культурами (защитные поля), с полями, занятыми культурами, не способными предотвратить сдувание почвы (защищаемые поля). Важное значение при этом имеют размеры защитных и защищаемых полей и их расположение относительно направления наиболее опасных ветров. Размеры и расположение защитных полей зависят от размеров и расположения защищаемых полей. Линейный размер защищаемого поля в направлении ветра ограничивается требованием недопущения потерь сверх определенной величины. Известно, что при прочих равных условиях потеря почвы тем больше, чем больше протяженность поля в направлении ветра. При одинаковой протяженности потеря тем больше, чем меньше противодефляционная стойкость почвы. Это обусловлено тем, что количество переносимой ветром почвы лавинообразно возрастает с увеличением расстояния от края поля в направлении ветра, причем «скорость» нарастания интенсивности переноса тем больше, чем меньше противодефляционная стойкость почв. В результате при одинаковых размерах поля и одинаковых скорости и продолжительности ветра потеря почвы будет больше там, где меньше противодефляционная стойкость почвы.

Определение необходимой ширины защищаемого поля сводится к нахождению его протяженности в направлении ветра, при которой потеря почвы от ветровой эрозии не превысит допустимой величины. К полученной величине следует прибавить ширину защитной зоны, создаваемой в результате образования "ветровой тени" за защитной полосой, примыкающей к защищаемой полосе с наветренной стороны. Очевидно, что необходимая ширина поля будет тем больше, чем меньше отличается от прямого угол между длинной стороной поля и направлением ветра. Необходимая ширина защищаемого поля зависит от противодефляционной стойкости почвы, которая при прочих равных условиях определяется её гранулометрическим составом. Поэтому, чем легче почва по гранулометрическому составу, тем меньше допустимая ширина защищаемой полосы. Для почв одинакового гранулометрического состава она будет зависеть от скорости ветра: чем больше скорость ветра, тем меньше ширина полосы.

В настоящее время в целях предотвращения ветровой эрозии почву чаще всего мульчируют послеуборочными остатками, подстилочным или жидким навозом, отходами промышленности, специально созданными химическими препаратами. Наиболее широко используют послеуборочные остатки на корню (стерня хлебных злаков) или после соответствующей обработки (солома, измельченные стебли подсолнечника, сорго, кукурузы).

Почвозащитная эффективность послеуборочных остатков (как, впрочем, и живых растений) зависит от высоты слоя, которым они покрывают почву, суммарной поверхности листьев и стеблей в единице объема этого слоя и от скорости ветра. При одинаковых условиях (скорости ветра, характере расположения на поверхности, длине стеблей) эффективность растительных остатков будет зависеть от вида сельскохозяйственной культуры. Эффективность пожнивных остатков на корню убывает в следующем порядке: озимая пшеница, рапс, сорго, кукуруза, подсолнечник. В этом же порядке убывает и эффективность послеуборочных остатков при условии равномерного разбрасывания их по поверхности. Во всех случаях эффективность остатков на корню (при той же массе) выше, чем при их разбрасывании.

Весьма эффективным противодефляционным приемом является мульчирование почвы жидким навозом. Он существенно улучшает не только физико-механические свойства поверхностного слоя почвы, но и ее питательный режим. Твердая фаза жидкого навоза задерживается некапиллярными пора́ми поверхностного, примерно двухсантиметрового, слоя почвы, а жидкая, содержащая коллоиды и растворимые органические вещества, просачивается вглубь. Поверхностный слой почвы высыхая превращается в корку, проникаемую для воды и воздуха и устойчивую к воздействию ветра и абразии переносимыми ветром почвенными частицами. Корка надежно предохраняет почву от дефляции. Кроме того, она затрудняет потерю воды почвой в результате испарения. Ранневесеннее мульчирование жидким навозом степных почв Западной Сибири позволяло не только защитить почву, но и уберечь влагу в почве без боронования.

Мульчирование жидким навозом особенно эффективно при необходимости быстрого «подавления» очагов дефляции почв, а это очень важно, так как дефляция обычно начинается в наименее устойчивых частях поля и затем лавинообразно распространяется по направлению ветра.

В целях оперативной ликвидации очагов дефляции рекомендуется применять пониженные дозы жидкого навоза: 15 т/га – при сплошной обработке поля и 9 – при полосной. Полосную обработку рекомендуется проводить на полях с некарбонатными почвами среднего и тяжелого гранулометрического состава (т.е. с почвами относительно устойчивыми к ветру), а сплошную - на полях с карбонатными и легкими по гранулометрическому составу почвами (т.е. относительно неустойчивыми). Ширина обработанных полос 6 м, необработанных – не более 4 м. С увеличением дозы навоза его почвозащитная эффективность увеличивается, но при этом теряется оперативность. Если позволяет время и ресурсы целесообразно увеличить норму внесения жидкого навоза до 50-100 т/га.

Для внесения жидкого навоза используют машины серийного производства – разбрасыватели жижи. Влажность навоза не должна быть больше 94 %. В противном случае не обеспечивается необходимая противодефляционная стойкость почвы.

Многочисленными опытами подтверждена эффективность разных видов нефти, битума, отработанных минеральных масел, сульфит-спиртовой барды и продуктов ее конденсации, сульфата целлюлозы, карбоксиметилцеллюлозы, мелиорантов на основе лигнина, синтетических латексов, смол, поверхностно-активных веществ, полиэлектролитов.

Однако ни одно из веществ этих классов не нашло пока широкого применения в условиях сельскохозяйственного производства. Объясняется это в первую очередь экономическими причинами. Велики и стоимость веществ, и стоимость их внесения в почву. Эффективные дозы самих веществ невелики (от нескольких десятков до нескольких сотен килограммов на гектар), но необходим еще и растворитель (чаще всего вода) в количестве 10-30 м/га, транспорт и машины для внесения.

Назначение промежуточных культур, как и в случае водной эрозии, состоит в восполнении утраченного элемента плодосмена и создании защитного покрова на поверхности почвы, когда послеуборочных остатков основной культуры недостаточно для защиты почв от ветровой эрозии. В качестве озимых почвопокровных культур (высеваемых в конце лета и в начале осени, чтобы обеспечить защиту почвы зимой и весной) используют рожь, пшеницу и овес.

Озимые почвопокровные культуры используют в районах достаточного увлажнения. В засушливых районах их используют редко и только на почвах чрезвычайно сильно подверженных ветровой эрозии. Наиболее широко в качестве озимой почвопокровной культуры используют овес, так как он меньше чем озимые пшеница и рожь, иссушает почву. Это обусловлено тем, что какая-то доля растений овса зимой гибнет, но оставаясь на корню, эффективно защищает почву и задерживает снег. Обычно овес высевают после уборки свеклы, картофеля, овощей, сои.

Весной почвозащитную культуру уничтожают гербицидами или механическим путем (культиватором), оставляя ее остатки в таком количестве, чтобы обеспечить поздней весной защиту высеваемых после этой культуры всходов основной культуры, например кукурузы.

Как и все препятствия на пути ветра наиболее эффективны кулисы, ориентированные в направлении, перпендикулярном наиболее опасным ветрам.

Механизм действия кулис – двоякий: во-первых, они создают защитную зону с подветренной стороны кулисы, а во-вторых, служат фильтром, задер-

живающим почвенные частицы, переносимые ветром. И способность создавать защитную зону, и способность фильтровать воздушный поток зависят от следующих характеристик: скорости ветра, критической для почвы скорости ветра в данный момент, высоты и проницаемости кулисы для воздушного потока. Механизм взаимодействия кулисы с ветром аналогичен механизму взаимодействия полезащитных лесных полос. Отметим лишь следующее. Протяженность защитной зоны, создаваемой кулисой (ее ширина) при какой-либо постоянной скорости набегающего на нее воздушного потока прямо пропорциональна высоте кулисы: чем больше высота, тем протяженнее защитная зона.

Обычно ширина защитной зоны составляет примерно 8-12 высот кулисы. Длина защитной зоны равна длине кулисы. Изменение скорости ветра сопровождается изменением ширины защитной зоны: чем больше скорость, тем меньше ширина. Причинами этого являются уменьшение эффективной высоты кулисы вследствие изгибания растений под напором ветра и увеличение интенсивности турбулентного перемешивания с увеличением скорости.

Почвозащитная эффективность кулис одинаковой высоты при данной постоянной скорости ветра зависит от их проницаемости для ветра. Количественным выражением проницаемости может служить доля сквозных проветров на проекции кулисы на плоскость, параллельную кулисе, выраженная в процентах. Наименьшую защитную зону создают сплошные кулисы с проницаемостью равной нулю. Увеличение проницаемости до некоторой величины, близкой к 50%, сопровождается увеличением защитной зоны; дальнейшее увеличение проницаемости сопровождается уменьшением защитной зоны. Оптимальной, например, считается проницаемость двухрядной кулисы из растений кукурузы или сорго, расположенных на расстоянии 15 см друг от друга.

Если кулисы предназначены для защиты почвы от выдувания в отсутствие защищаемой культуры, а также для накопления и равномерного распределения по полю снега, то расстояние между ними определяют так же, как и ширину защищаемых полос, т.е. оно складывается из протяженности защитной зоны самой кулисы и из протяженности незащищенного участка поля в направлении ветра, при которой потеря почвы от дефляции с этого участка не превысит допустимой величины. Кулиса, следовательно, рассчитана на аккумуляцию почвы, сдуваемой с участка поля, прилегающего к ней с наветренной стороны.

Травосеяние играет важнейшую роль в системе мер по предотвращению ветровой эрозии пахотных почв, однако в системе мер по охране внесевооб-

оротных земель его роль еще больше. В ряде случаев травосеяние (часто говорят «залужение») – единственный способ предотвращения ветровой эрозии почв. Такая ситуация возникает на ветроударных склонах с почвами, характеризующимися низкой противодефляционной стойкостью; во всякого рода «ветровых коридорах», в которых, несмотря на высокую временами противодефляционную стойкость почв, необычно велики скорости ветра; на песчаных террасах рек, на необдуманно вовлеченных в пашню больших массивах песчаных почв, на перегруженных выпасаемым скотом целинных и искусственных выпасных угодьях на легких по гранулометрическому составу почвах.

В первую очередь залужению подлежат очаги дефляции, выявляемые при помощи специалистов хозяйств. Залужение может быть постоянным (с переводом пашни в категорию сенокосных или пастбищных угодий) или временным (с последующим постепенным вовлечением залуженных земель в пашню). Технологию травосеяния и виды используемых трав рекомендуют зональные научно-исследовательские учреждения. Основная трудность, которую приходится преодолевать при залужении сильно дефлируемых почв, заключается в получении всходов и защите их от засекания на первых стадиях их роста и развития. На абсолютно не защищенных почвах используют весенний посев. Для этого, дождавшись дождей, проводят мелкую отвальную или безотвальную обработку и высевают какую-либо яровую культуру – просо, ячмень, овес. Если она даст хорошие всходы их можно будет подкашивать на зеленый корм или сено и по стерне высевать многолетние травы. Если насаждения получаются изреженными, многолетние травы по ним высевают без подкашивания. Созданные таким способом кормовые угодья используют в первые 2-3 года исключительно в качестве сенокосов, а в последующие годы либо постепенно вовлекают в пашню на основе почвозащитных севооборотов, либо используют для строго регулируемого выпаса скота.

В районах распространения ветровой эрозии почв в рамках почвозащитных систем земледелия значительную долю объема механических обработок приходится выполнять в условиях большого количества послеуборочных остатков на поверхности почвы, оставляемых в целях ее мульчирования. Для этого разработана и продолжает разрабатываться специальная противоэрозионная техника – сеялки, бороны, орудия для основной безотвальной обработки.

Цель основной обработки – подготовить почву к дальнейшему использованию. Содержание ее зависит от погодных и почвенных условий, высеваемой культуры и ее предшественника, от степени засоренности полей и ви-

дового состава сорняков. Поэтому универсальных приемов основной обработки, пригодных для разных природных условий, нет.

Наиболее эффективным и широко распространенным приемом является мульчирование поверхности почвы послеуборочными растительными остатками. Районы распространения ветровой эрозии почв характеризуются недостаточностью или неустойчивостью увлажнения, поэтому основную обработку здесь необходимо производить как можно раньше, чтобы сохранить оставшуюся в почве после уборки урожая влагу и создать условия ее накопления в осенне-зимний период. При этом необходимо обеспечить сохранность растительных остатков на поверхности.

Основная обработка почвы с сохранением растительных остатков на поверхности носит название безотвальной обработки, поскольку ее производят без оборота пласта специальными орудиями. Этими орудиями первоначально были плуги со снятыми отвалами, а теперь – плоскорезы и чизели.

Каждый рабочий орган плоскореза собран из двух лемехов (правого и левого), прикрепленных к башмаку, в свою очередь прикрепленному к пятке стойки. В передней части рабочего органа находится долото. И долото и лемеха снизу наплавлены тонким слоем твердого сплава «сормайт», что придает им способность «самозатачиваться».

Плоскорезы различаются по форме и числу рабочих органов. В зависимости от их параметров, а также от глубины основной обработки, изменяется и сопротивление почвы движению плоскореза. А чем больше сопротивление, тем мощнее нужен трактор. Сопротивление почвы, помимо указанных факторов, зависит от физико-механических свойств почвы, а также от скорости движения орудия. Все названные факторы влияют и на качество выполнения основной обработки плоскорезом и на степень сохранения растительных остатков на поверхности. Наиболее широко используемые в настоящее время плоскорезы при обычных скоростях 5-8 км/ч) и прочих оптимальных условиях оставляют на поверхности 80-85 % пожнивных остатков.

Механизм процесса рыхления плоскорезами может быть сведен в первом приближении к взаимодействию между почвой и двугранным плоским клином, перемещаемым на нужной глубине h параллельно почвенной поверхности. Рыхление почвы происходит не только в результате скалывающих и сжимающих деформаций в зоне разрушения, создаваемой движущимся клином, но и в результате падения пласта с высоты Y на дно борозды. Рыхление, следовательно, производится без оборота пласта, в результате этого сохраняются растения и пожнивные остатки на поверхности.

Чизель (от англ. chisel- долото) – орудие для безотвальной обработки почвы с недорезом пласта по ширине захвата. Для проведения основной об-

работки используется чизельный плуг-рыхлитель, комплектуемый двумя типами сменных лап: рыхлительным долотом с шириной захвата 70 мм для рыхления на глубину до 45 см и стрельчатými лапами с шириной захвата 270 мм для рыхления на глубину до 30 см.

При обработке чизелем на поверхности сохраняется до 60 % стерни. По степени перемешивания почвы чизелевание превосходит плоскорезную обработку, но уступает отвальной пахоте. Его основным преимуществом является меньшее, чем у других способов основной обработки, потребление энергии.

Помимо названных орудий в Западной Европе для безотвальной основной обработки широко применяются плуги с наклонной стойкой (типа «параплау»). По механизму рыхления почвы и степени сохранности пожнивных остатков на поверхности они сходны с плоскорезами. Их отличие в том, что они более интенсивно рыхлят корнеобитаемый слой.

Борьба с сорняками и закрытые влаги Поля, занятые пожнивными остатками, необходимо периодически рыхлить в целях закрытия влага и уничтожения сорняков. При этом необходимо сохранять пожвные остатки в максимально возможной степени. Поскольку орудия традиционного земледелия здесь непригодны, используют специальную противоэрозионную технику - плоскорезы, чизели, тяжелые лаповые культиваторы, штанговые культиваторы и игольчатые бороны.

Для безотвального рыхления почвы на небольшую глубину (5-16 см) и уничтожения сорняков применяют тяжелые лаповые культиваторы. По конструкции рабочего органа, стрельчатой лапы (рис. 9.5), и механизму рыхления эти орудия сильно отличаются от плоскорезов. Они обладают более высокой проходимостью (при малой глубине обработки) чем плоскорезы, т.е. способны работать в более широком диапазоне твердости почвы и при большем количестве сорняков. Рабочий орган таких орудий представляет собой стрельчатую лапу, укрепленную на подпружиненной стойке. Стойка сделана из плоской пружинной стали, изогнутой в виде спирали. Благодаря изогнутости стойки в продольной вертикальной плоскости корень сорного растения, попавшего на лапу культиватора, поднимается по стойке вверх. В результате этого снижается приживаемость подрезанных сорняков, а лапы культиватора не забиваются корнями.

Поскольку в тяжелых лаповых культиваторах стойки играют активную роль, их суммарная ширина гораздо больше, чем у плоскорезов. Если у плоскорезов толщина стойки составляет всего 2 % от ширины захвата орудия, то в наиболее распространенном лаповом культиваторе КПЭ-3,8 на долю стойки приходится 10 % от ширины захвата лапы. Поэтому тяжелые лапо-

вые культиваторы отличаются от плоскорезов более высоким удельным сопротивлением. Они более интенсивно перемешивают почву, и стерни после них остается меньше, чем после плоскорезов.

Для уничтожения сорняков с мелко залегающей корневой системой на стерневых парах, обработанных плоскорезами, применяют штанговые культиваторы. Рабочий орган штангового культиватора – штанга (квадратного сечения 2,5 x 2,5 см) длиной 3,6-3,8 м - перемещается в Направлении, перпендикулярном своей длинной стороне, на глубине 6-10 см в плоскости, параллельной почвенной поверхности. При этом штанге придают вращательное движение в направлении, противоположном вращению опорных колес орудия (один оборот штанги приходится на 1,1 м пути агрегата). Штанга выравнивает поверхность почвы, рыхлит без оборачивания поверхностный слой почвы, вырывает и выносит на поверхность корни сорняков, а также часть пожнивных остатков, заделанных в почву во время предыдущих обработок.

Поля с пожнивными остатками необходимо периодически рыхлить, чтобы разрушить корку и тем самым уменьшить капиллярный подток влаги к испаряющей поверхности. В обычных условиях для этой цели предназначены зубовые бороны. На полях с защитным слоем пожнивных остатков зубовые бороны применять нельзя, так как они счесывают пожвные остатки. В результате почва лишается защитного покрова, а корка остается невредимой. Поэтому для закрытия влаги на полях с пожнивными остатками используют игольчатые бороны. Наиболее широко используемая игольчатая борона БИГ-3 (борона игольчатая гидрофицированная) состоит из четырех батарей плоских игольчатых дисков типа ротационной мотыги, закрепленных на раме по Х-образной схеме.

Каждый игольчатый диск диаметром 510 мм состоит из плоского сплошного диска с приваренными к нему 12 иглами, загнутыми по спирали в одной плоскости. Каждая батарея состоит из игольчатых дисков, насаженных на ось с интервалом 167 мм. Угол атаки диска, т.е. угол между плоскостью диска и направлением движения орудия, изменяется от 0 до 18°. Чем больше угол атаки, тем больше разница между скоростью движения кончика каждой иглы и скоростью всего орудия, тем больше интенсивность рыхления почвы, тем больше уничтожается стерни. Кончик иглы бороны, взаимодействуя с почвой, образует в ней лунку эллиптической формы, отчасти за счет сминания почвы, отчасти за счет скалывания и отбрасывания почвы из места погружения иглы. Вывернутые из почвы комки покрывают ее поверхность сплошным мульчирующим слоем. Помимо угла атаки на интенсивность рыхления влияет и положение игл. Если иглы входят в почву выпуклой стороной, то их положение называют пассивным, если вогнутой, то активным.

При пассивном положении игл почва рыхлится лучше, чем при активном, но стерни сохраняется меньше. С увеличением скорости движения бороны уменьшается количество оставшейся стерни. Однако степень ухудшения этого показателя с увеличением скорости у игольчатых борон в два раза меньше, чем у плоскорезов. Предпосевная обработка и посев Цель предпосевной обработки – создать необходимые условия для заделки семян в почву и быстрого их прорастания. Содержание предпосевных обработок зависит от почвенных и погодных условий, от высеваемой культуры и от предшественника, от засоренности поля и видового состава сорняков. При проведении предпосевных обработок необходимо в максимально возможной степени сохранить пожнивные остатки, увеличить противодефляционную стойкость почвы. Поэтому предпосевную обработку производят противоэрозионными орудиями – культиваторами-плоскорезами, лаповыми культиваторами, игольчатыми боронами, штанговыми культиваторами.

Основная задача, решаемая с помощью посевных машин – равномерное распределение семян по полю и заделка их на глубину, установленную для данной культуры в данной почвенной зоне. Помимо обеспечения наилучших условий для прорастания семян, посевные машины должны обеспечить защиту почвы и семян от выдувания. До того, как всходы окрепнут, они должны быть защищены пожнивными остатками. Следовательно, сеялка должна быть приспособлена для работы в условиях большого количества растительных остатков в почве и на ее поверхности. Обычные зерновые сеялки с двухдисковыми сошниками в таких условиях не работают, так как они забиваются растительными остатками. Поэтому для работы на полях с большим количеством пожнивных остатков созданы специальные стерневые сеялки. Стерневые сеялки снабжены мощными трубчатыми сошниками, которые одновременно выполняют и роль рыхлителей.

Для развития этой функции сошники снабжают наральниками и рыхлительными лапами разной конструкции. Сохранность стерни после посева стерневыми сеялками достигает 50-60 % от исходного количества. Трубчатый сошник перемещается в вертикальной продольной плоскости на заданной глубине и, подрезая и раздвигая почву, проделывает в ней борозду, дно которой служит ложем для семян.

По мере движения сошника значительная доля объема борозды заполняется почвой в результате осыпания ее со стенок. Катки, установленные за сошником, подпрессовывают осыпь, улучшая контакт семян с ложем и укрепляя стенки борозды. Между двумя соседними бороздами образуется гребень, а поверхность поля становится рифленой. Если посев на тяжелых и средних по гранулометрическому составу почвах производили при опти-

мальной влажности, то образующиеся гребни довольно устойчивы к разрушающему действию ветра: они выдерживают напор ветра, имеющего скорость порядка 15 м/с.

Если на такой рифленой поверхности и наблюдается незначительный перенос почвы, то и он приводит лишь к перемещению частиц почвы в пределах одного поля, так как борозды являются эффективной ловушкой для скачущих под действием ветра почвенных частиц, а сами гребни в результате отмокания крупными, менее подвижными агрегатами, становятся более устойчивыми к действию ветра. На легких по гранулометрическому составу несвязных почвах гребни не способствуют снижению интенсивности ветровой эрозии, так как в этом случае нет материала для самоотмокания, а почва защищена лишь пожнивными остатками. На почвах тяжелого гранулометрического состава с большим количеством стерни во влажные вёсны качество сева стерневыми сеялками с трубчатыми сошниками не соответствует агротехническим требованиям. Это обусловлено и залипанием высевающих органов, и слишком большой глубиной заделки семян (будучи настроенными на малую глубину заделки семян, эти сеялки не обеспечивают постоянства глубины семенного ложа, поскольку при пониженной твердости почвы и при наличии неравномерно распределенных источников сопротивления движению агрегата в виде корней и стеблей, эти сеялки неустойчивы в вертикальном направлении; устойчиво они работают при настройке на глубину 8-10 см). Поэтому на таких почвах во влажные вёсны используют луцильник-сеялку.

Она состоит из шести дисковых батарей, каждая из которых имеет раму и шесть сферических дисков диаметром 510 мм. Позади каждого диска укреплен наконечник семяпровода. Угол атаки диска 30-35°. При таком угле атаки диск, погруженный в почву на 4-6 см, подрезает и сдвигает в сторону без оборота ленту шириной в несколько сантиметров, открывая борозду такой же ширины. Через наконечник, закрепленный позади диска, семена попадают в борозду открытую этим диском и заделываются почвой, подрезаемой и сдвигаемой следующим диском.

Луцильник-сеялка наряду с указанными преимуществами имеет и недостатки. Это орудие уничтожает до 75 % стерни. Кроме того, как и всем орудиям с плоскосферическими дисками, луцильникам-сеялкам присуща неравномерность хода по вертикали и связанная с этим неравномерность глубины заделки семян. Совмещение операций и минимальная обработка Один из перспективных путей уменьшения нагрузки на почву – сокращение числа работ за счет совмещения операций. Так, для внесения минеральных удобрений на глубину от 10 до 30 см одновременно с плоскорезной обработкой

создан глубокорыхлитель-удобритель. Он оснащен рабочими органами плоскореза-глубокорыхлителя, туковым ящиком и вентилятором. С заднего торца стойки рабочего органа прикреплен туконаправитель с дефлектором в нижней части, в который поступает из тукового ящика под действием силы тяжести гранулированное удобрение. В этот же туконаправитель сверху вниз направляется поток воздуха от вентилятора, который, будучи отклонен дефлектором, равномерно распределяет падающие гранулы по ширине захвата плоскореза.

Теоретически число обработок можно свести к одной – севу. Практической реализацией идеи предельного уменьшения числа обработок почвы служат разрабатываемые во многих странах технологии выращивания сельскохозяйственных культур с применением прямого сева в дернину, в щель или в канавку, которые позволяют сократить издержки производства и уменьшить потери почвы от ветровой эрозии. Однако земледелие практически без обработки почвы возможно только при выполнении ряда условий. Прежде всего, такие технологии наиболее приемлемы при выращивании кормовых зерновых культур. Для их использования необходимы соответствующие технологические средства и специальные сорта растений. Кроме того, и это самое главное, использование этих технологий полностью зависит от применения гербицидов. В нашей стране они пока не нашли применения по причине недостаточной изученности их влияния на плодородие почвы, на распространение болезней и вредителей, на окружающую среду.

Вопрос 2. Агролесомелиоративные мероприятия. Создание лесополос.

Агролесомелиорация — раздел мелиорации, охватывающий вопросы улучшения природных условий сельскохозяйственных угодий защитными лесными насаждениями. Ее роль выражается в улучшении водного и температурного режима сельскохозяйственных угодий, повышении противозерозионной (противодефляционной) стойкости почв, снижении интенсивности воздействия на почвы водных и воздушных потоков.

Характеристики лесных полос:

1. Высота
2. Проницаемость
3. Ширина
4. Состав древесных и кустарниковых пород

Важнейшей характеристикой лесополосы является ее *высота*. По достигаемой высоте деревья делят на 3 группы:

1. Первой величины – более 20м;
2. Второй величины – 16-18 м;
3. Третьей величины – небольшие деревца, принимающие иногда кустарниковую форму.

Другим важнейшим свойством лесополосы является ее *проницаемость* для воздушного потока.

Проницаемость лесополосы зависит от ее **конструкции**, т.е. от строения продольного профиля лесной полосы в облиственном состоянии, определяющего ее аэродинамические свойства. **Продольным профилем** лесной полосы называют фронтальный вид вдоль лесной полосы

По конструкции лесополосы бывают:

- плотные
- ажурные
- продуваемые
- ажурно-продуваемы

Эффективность лесных насаждений в значительной степени зависит от состава древесных и кустарниковых пород. Наиболее ценными породами являются те, которые переносят жесткие микроклиматические условия характерные для полосных насаждений, и неблагоприятным почвенным условиям (более 150 пород, чем южнее от лесостепной зоны, тем меньше).

В зависимости от назначения древесные породы делят на главные и сопутствующие.

Главные породы образуют основной верхний ярус, от их высоты и формы кроны зависят аэродинамические качества лесополосы. Они должны быть наиболее устойчивы и долговечны (акация белая, береза повислая, вяз приземистый, дуб черешчатый, лиственница сибирская, сосна обыкновенная и др.).

Сопутствующие породы – вспомогательные, занимают второй ярус (клен остролистный, клен татарский, липа мелколистная, груша обыкновенная или лесная, вяз обыкновенный и др.). Они заполняют профиль лесополосы, улучшая ее аэродинамические качества, и способствуют созданию условий для роста и развития главной породы.

В состав лесополос вводят кустарники, которые способствуют улучшению роста главных и сопутствующих пород, угнетают сорняки.

На равнинных водораздельных пространствах для защиты от ветровой эрозии применяют *полезащитные лесные полосы*. Их основное назначение – снижение скорости ветра и турбулентного обмена в приповерхностном слое

атмосферы, а также накопление и равномерное распределение снега на полях.

При взаимодействии ветра с лесополосой воздушный поток сильно изменяется в зависимости от его скорости, и характеристик лесополосы.

Чем больше высота, тем больше эффективное расстояние. В агролесомелиорации под эффективным понимают максимальное расстояние от лесополосы в подветренную сторону, на котором заметно ослабление ветра. Ослабление считают заметным, если составляет не менее 10% от скорости в невозмущенном состоянии. В среднем влияние полезационных полос на свойства воздушного потока прослеживается на расстоянии в 10-50 раз превышающего высоту лесополосы в подветренную сторону и в 4-5 раз над лесополосой. Минимум продольной скорости в подветренной зоне обнаруживается на расстоянии в 2-7 раз больше высоты лесополосы (тем дальше от лесополосы, чем больше ее проницаемость).

Проницаемость полезационных лесных полос для воздушного потока: Чем более проницаема лесополоса, тем большую долю воздушного потока она пропускает сквозь себя и тем меньшую долю отклоняет вверх и в сторону. Проницаемость изменяется в течение года в результате сброса листвы. Это приводит к снижению эффективного расстояния в 1,3-1,8 раз.

Конструкция и ветропроницаемость зависят от древесных пород, числа рядов в полосе, густоты насаждений в ряду. Кустарники уменьшают продуваемость лесополос, поэтому они не всегда желательны. Проницаемость так же зависит от расстояния между рядами, от угла атаки ветра и от формы поперечного сечения лесополосы. Наилучшей формой для ажурных полос считается прямоугольная, для продуваемых – треугольная.

Ширина полезационной полосы оказывает влияние на продуваемость, т.е. на ее эффективность. Максимальная ширина составляет 8-10 м. Увеличению ширины не оказывает влияние на величину эффективного расстояния.

Мерой эффективности лесополос в агролесомелиорации служит снижение скорости ветра в защитной зоне не менее, чем на 10%.

Плезационные лесополосы позволяют предотвратить ветровую эрозию или существенно снизить ее интенсивность, только если они образуют систему.

Повышение эффективности систем полезационных полос:

1. Увеличение эффективности отдельных полос (оптимизируя проницаемость и увеличивая высоту):

2. Сближение лесополос в системе на расстояние, при котором скорость ветра в межполосном пространстве не превышала бы критической.

Межполосные расстояния L (м) в системе полезачитных полос рассчитывают по формуле (Долгилевич и др., 1984):

$$\frac{L}{H} = 3 + 29(1 - \sin \beta) \left(\frac{V_{доп}}{V_{\phi}} \right)^{2,5} \left(\frac{H}{z_0} \right)^{0,1}, \text{ где}$$

H – расчетная высота лесополосы, м;

β – угол наклона склона, град.;

$V_{доп}$ – допустимая скорость ветра (на высоте флюгера), м/с;

V_{ϕ} – максимальная скорость ветра (на высоте флюгера) во время пыльных бурь обеспеченностью 20%, м/с (табл.);

z_0 – параметр шероховатости поверхности поля, м.

В качестве верхнего предела для допустимой скорости ветра рекомендуют скорость начала массового движения частиц почвы. Расчетную высоту лесополос определяют на основе данных местных организаций, занимающихся полезачитным лесоразведением. В среднем лесополосы достигают высоты от 6-8 до 18 м.

Расстояние между основными лесополосами, определяемое расчетным методом, не должно превышать на: 250-600 м в зависимости от почв. Лесополосы в системе целесообразно располагать перпендикулярно преобладающему направлению наиболее опасных ветров. Но при наличии уклона более 2° и опасности водной эрозии лесополосы располагают поперек склона, независимо от направления ветра.

Лекция 10. Предупреждение ирригационной эрозии почв

Вопрос 1. Факторы смыва почв при поливе по бороздам.

Размах ирригационной эрозии, так же как и других видов эрозии, зависит от сочетания ряда изменяющихся в пространстве и времени факторов. Однако многие из них поддаются воздействию человека. К таким факторам относятся:

- интенсивность искусственного дождя;
- размер и скорость падения капель;
- расход воды при поверхностных способах полива;
- уклон и форма склона;
- длина поливного участка;
- длительность полива;
- водопроницаемость и противоэрозионная стойкость почвы.

Регулируя эти факторы, можно в известных пределах управлять процессами эрозии при поливах, добиваясь снижения потерь почвы до допустимого уровня.

Наблюдения показывают, что очень многие борозды и полосы при поливе заканчиваются конусами выноса на склоне, то есть размытые на участке активной эрозии почвы откладываются в зоне аккумуляции. Следовательно, не все почвы, смытые с разрушаемой части борозды (полосы), можно считать потерянными для поливаемых участков.

Расход воды в поливную борозду или полосу является основным фактором эрозии почв при поливе. Он определяет скорость водного потока в её головной части, а соотношение скорости водного потока и допустимой для данной почвы скорости обуславливает возникновение и развитие процесса ирригационной эрозии.

Чем больше расход воды, тем больше её скорость и тем больше вероятность возникновения смыва почвы. Влияние расхода воды на ирригационный смыв зависит также от уклона поливной борозды. Чем больше уклон, тем больше скорость движения воды и вероятность возникновения эрозии. Полевые исследования показали, что полив без смыва почвы при наземном способе орошения, начиная с уклона 0,008 и больше, практически невозможен. Поэтому при орошении земель с такими уклонами приходится неизбежно мириться со смывом. Смыв не должен превышать допустимых для данных почв пределов.

Форма склона играет большую роль в процессе ирригационной эрозии. Оптимальной для целей борьбы с ирригационной эрозией следует считать

такой продольный профиль борозды, при котором максимальным расходам воды соответствуют малые уклоны, а минимальным расходам – большие. При поливе по бороздам этому условию в наибольшей степени удовлетворяют выпуклые склоны. Однако для полного исключения возможности выноса почвы за пределы поливной борозды необходимо, чтобы нижняя часть борозды имела вогнутую форму в целях аккумуляции наносов. В связи с этим считается, что борозды с оптимальной формой продольного профиля должны состоять из двух участков: верхнего (выпуклого) длиной $9/10$ – $5/6$ общей длины поливного участка и нижнего (вогнутого).

Влияние длины поливной борозды на смыв почвы обусловлено тем, что расход воды уменьшается с увеличением расстояния от начала борозды в связи с впитыванием воды в почву. С уменьшением расхода воды уменьшается скорость потока, поэтому наибольший смыв почвы наблюдается в головной части борозды, затем при движении вдоль борозды он уменьшается и вовсе прекращается. Зона смыва сменяется зоной транзита наносов, а затем зоной аккумуляции. Если полив ведётся без сброса, вынос почвы за пределы борозды не наблюдается, однако перемещение почвы сверху вниз внутри борозды все же происходит. Чем больше расход воды, тем дальше вниз продвигается зона смыва.

С увеличением длительности полива общий смыв почвы, естественно, возрастает, однако возрастает неравномерно. Особенно большая мутность потока и, следовательно, наибольший смыв почвы наблюдаются в начале полива, как правило, в головной части борозды. Здесь в первые минуты после пуска воды в борозде формируется так называемая «прорывная волна», которая характеризуется скоростью потока, значительно большей, чем это должно быть при установившемся режиме движения воды. Кроме того, сухая почва дна борозды в результате быстрого напуска на неё воды превращается в бесструктурную, легко размываемую массу. С течением времени вынос почвы обычно уменьшается, что связано с удалением легко отделяемых частиц и формированием на поверхности своего рода «отмостки» из более крупных водопрочных агрегатов.

Свойства почв оказывают сильное влияние на интенсивность смыва при поливе по бороздам. При прочих равных условиях почвы высокой водопроницаемости эродированы меньше, чем почвы пониженной водопроницаемости, так как на первых формируется меньший сток с меньшими скоростями потока, чем на вторых. Однако интенсивность смыва зависит и от противоэрозионной стойкости почв. Почвы высокой водопроницаемости не всегда обладают высокой противоэрозионной стойкостью. Поэтому в реальных условиях почвы высокой водопроницаемости, например легкие, могут стра-

дать от эрозии сильнее, чем почвы низкой водопроницаемости (тяжелые по гранулометрическому составу).

Вопрос 2. Предупреждение смыва почвы при поливе по бороздам.

Допустимые расходы воды в поливную борозду на крутых склонах, а также в случае почв с низкой противоэрозионной стойкостью на пологих склонах часто оказываются настолько малыми, что по экономическим соображениям не могут быть реализованы на практике. Полив же более высокими расходами приведет к смыву почвы. В этих условиях предусматривают дополнительные противоэрозионные мероприятия, направленные на снижение скорости потока путем уменьшения уклона поливных борозд, повышения шероховатости дна борозды и увеличения водопроницаемости почвы или за счёт повышения допустимой скорости в результате повышения водопропускности почвенной структуры и связности почвы.

Полив по скошенным, контурным и извилистым бороздам. Уменьшение уклона поливных борозд возможно путем поделки так называемых скошенных борозд, нарезаемых под острым углом к горизонталям, и контурных борозд, нарезаемых по горизонталям. При этом требуется тщательная планировка поверхности во избежание обратных уклонов на отдельных участках борозд.

При сложном рельефе естественно стремление поливать в направлении наибольшего уклона, чтобы избежать застаивания воды в понижениях и переливания её в нижележащие борозды. В этих условиях регулирование уклона производится путём нарезки извилистых борозд. Для этой цели используют культиватор со специальными катками, установленными за рабочими органами культиватора, которые обеспечивают формирование извилистых (зигзагообразных) борозд шириной 3–6 см и глубиной 3–4 см.

В результате полива по извилистым микробороздам смыв почвы снижается в 20–30 раз, увеличивается равномерность увлажнения по ширине междурядий и длине борозды, уменьшается поверхностный сброс поливной воды.

Мульчирование растительными остатками является эффективным приемом повышения допустимых расходов воды. Механизм его действия заключается в повышении шероховатости дна поливных борозд. В результате увеличивается глубина потока и периметр смоченности, что приводит к повышению инфильтрации воды в почву, уменьшению скорости потока и, следовательно, понижению его размывающей и транспортирующей способности.

Установлено, что при внесении 0,5–2,5 ц/га соломы допустимые расходы воды увеличиваются в 1,5–4 раза по сравнению с поливом без мульчирования. В целях экономии соломы можно мульчировать лишь верхнюю часть поливных борозд, в наибольшей мере подвергающуюся смыву.

Предварительное увлажнение верхней части борозды потоком малого расхода является одним из перспективных приемов, направленных на повышение допустимой скорости потока. Увлажнение почвы в поливных бороздах перед поливом малыми расходами воды, позволяющее стенкам борозды увлажниться медленно, капиллярно. Основной полив проводится через некоторое время после предварительного увлажнения борозды. Достаточно увлажнить верхние 20–30 м и оставить борозду на ночь в таком состоянии, чтобы утром проводить основной полив более высокими расходами воды (допустимыми по условию неразмываемости предварительно увлажненной почвы).

Эффект предварительного увлажнения обусловлен повышением водопрочности агрегатов и связанным с ним увеличением шероховатости поверхности. Положительное влияние предварительного увлажнения на водопрочность почвенной структуры зависит от его интенсивности и длительности, а также от свойств почвы.

Медленное, достаточно продолжительное капиллярное увлажнение почвы, особенно тяжелой по гранулометрическому составу, приводит к существенному повышению размывающей скорости потока и допустимого (по условию неразмываемости почвы) расхода воды.

Одним из вариантов такой технологии полива можно считать также полив переменным расходом воды, когда вначале полив осуществлялся малым расходом воды, потом увеличенным. После достижения поливной воды конца борозды её расход снова уменьшается.

Обработка почвы полимерами-структурообразователями. Применение полимеров-структурообразователей является одним из перспективных методов повышения противозерозионной стойкости почв и допустимых расходов воды в поливную борозду. Среди многочисленных полимерных препаратов одними из наиболее эффективных в условиях полива по бороздам оказались препараты серии К. Препарат К-4 (гидролизированный полиакрилонитрил) представляет собой хорошо растворимую в воде пасту кремового цвета с 10%-ным содержанием активного вещества. Его вносят в почву в виде водного раствора. Недостатком использования препарата К-4 является его дороговизна. Также можно использовать более дешевый препарат К-9, полученный путем неполного омыления в щелочной среде отходов производства волокна «нитрон», состоящий из тройного сополимера нитрилоакриловой, метакри-

ловой и пропановой кислот. Препарат К-9 выпускается в виде однородной водорастворимой жидкости грязно-зеленого цвета, содержащей около 10% активного вещества. По структурообразующей способности он приближается к препарату К-4, но стоимость его примерно в 2 раза ниже.

В настоящее время разрабатываемые синтезируемые полимерные структурообразователи для почв обычно характеризуются наличием в цепи их макромолекул карбонильных, амидных и гидроксильных полярных групп. Карбоксилсодержащим водно-растворимым препаратам (ВРП) служит полиакриловая кислота (ПАК) с молекулярной массой 137 тыс., а карбоксилатсодержащим ПАК на 20, 50 и 100% ионизированными разновидностями (ПАК-20, ПАК-50, ПАК-100 соответственно). Амидосодержащим полимером служит полиакриламид (ПАА) с молекулярными массами 130 тыс. (ПАА1) и 1 млн (ПАА2).

В качестве искусственных структурообразователей почв часто используют водные растворы олигомеров, полимеров и полимерных комплексов. Принципиальная возможность использования искусственного оструктурирования почв с помощью добавок ВРП изучалась многими исследователями. Результаты показывают, что использование полимеров способствует созданию агрономически ценной структуры почвы предопределяет не только возможность направленного регулирования её важных свойств – сложения и дисперсности, но и связанных со структурой перераспределения внутри- и межагрегатных пор, обмена поглощенных ионов со свободными, капиллярных эффектов и диффузии анионов, а также отложения солей в процессе вторичного засоления и их промывки после засоления.

Значительные успехи достигнуты и в деле совершенствования методов обработки почв полимерами. Расход полимера можно значительно снизить, если вносить его перед каждым поливом путем опрыскивания почвы раствором полосами шириной 10–12 см по дну поливных борозд при их нарезке или культивации междурядий без последующего рыхления и перемешивания почвы. Разовый расход препарата (в зависимости от марки) может составлять от 15 до 30 кг/га, а за вегетационный период – соответственно 45–90 кг/га при расчёте на три первых полива, проводимых после культивации междурядий.

Исследования показывают, что величина донной размывающей скорости, например, при внесении полимера К-9 в дозах 10 и 30 кг/га (100 и 300 кг/га пасты) возрастает с 4,5 см/с (без обработки) до 16,7 и 22,0 см/с соответственно, а величины выступов шероховатости дна с 0,2 мм до 2,0 и 3,5 мм. Допустимый расход при этом возрастает в 2–3 раза при дозе 10 кг/га и в 5–11 раз при дозе 30 кг/га. Для уменьшения расхода полимера можно ограничить-

ся его применением лишь в верхней части поливных борозд, либо сочетать его применение с другими приемами.

Вопрос 3. Особенности эрозии почв при поливе дождеванием и ее предупреждение.

Орошение стало распространяться в зонах с недостаточным, средним и даже избыточным увлажнением, где оно служит пополнением к естественным осадкам в засушливые периоды. Для орошения всё больше стали применять дождевальные машины, позволяющие проводить полив с малыми нормами. Путём частых поливов с небольшими поливными нормами можно поддерживать влажность почвы, близкую к оптимальной, а, следовательно, создавать условия, более благоприятные для роста и развития растений, и повышать их урожайность.

В основе эрозии почв при дождевании лежат те же законы механики, которым подчиняется дождевая эрозия, однако закономерности смыва, размыва и отложения почвы существенно различаются. Это обусловлено в первую очередь различиями в характере поступления воды (интенсивность и длительность осадков) и формирования поверхностного стока.

При дождевании эрозия почв возникает из-за подачи воды с интенсивностью, превышающей интенсивность впитывания воды почвой. При этом, как и в случае полива по бороздам, впитывающая способность почвы не является постоянной в течение полива.

В начале полива интенсивность впитывания равна интенсивности дождя. Далее, в результате насыщения почвы влагой, нарушения почвенной структуры, набухания и уплотнения почвы, интенсивность впитывания уменьшается и приближается к установившемуся значению. Чем больше энергия дождя, тем быстрее уменьшается впитывающая способность почвы. В связи с этим целесообразно проводить полив с постоянно уменьшающейся интенсивностью, однако большинство ныне существующих дождевальных машин и установок воспроизводит дождь постоянной интенсивности в течение всего полива. Регулировать интенсивность дождя непосредственно во время полива можно, например, при использовании дождевальных машин ДДН-70 и КИ-50, применяя сменные сопла.

При использовании дождевальных машин ДДА-100М и ДДА-100МА эффект уменьшения интенсивности поступления осадков достигается за счёт изменения скорости перемещения машины.

Следует отметить, что современный рынок дождевальных машин развивается очень стремительно. Появляются легковесные и прочные материалы, а

также более мощные насосные системы. Самый главный критерий, позволяющий классифицировать дождевальные установки – это вариант их конструктивного исполнения. Единой градации дождевального оборудования не существует.

Производителями выделяются следующие типы: • мобильные (передвижные, перемещаемые, высококомобильные, временные, механизированные); • комбинированные (полустационарные, поворотные); • стационарные (капитальные).

Современное дождевание может осуществляться двумя основными способами – с применением оросительных систем барабанного типа и широкозахватными машинами.

На сегодняшнем рынке используются 4 основных типа дождевальных машин.

1. Круговая дождевальная машина – башня, вокруг которой вращается длинный до 400 м трубопровод с оросителями низкого давления. Сфера применения – участок площадью сотни гектар.

2. Фронтальная дождевальная машина – трубопровод на колесах длиной до 400 м и больше, который снабжен оросителями низкого давления и перемещается поперёк орошаемого участка. Сфера применения – участок площадью сотни гектар.

3. Дождевальная машина барабанного типа (катушка). Самый широко используемый тип (благодаря доступной цене). Представляет собой механизированный барабан на колесах, на который наматывается шланг, а к концу шланга подключена тележка со спринклером, орошающим участок.

4. Дождевальные установки спринклерного орошения, навесные и переносные. Площадь орошения 20–40 га за сезон. Они дешевле барабанных установок, при той же надежности и скорости полива. Забор воды производится насосной станцией от ВОМ трактора (или от дизельного двигателя) который стоит у воды и подает воду на один или несколько спринклеров. Спринклер может крепиться прямо на трактор или устанавливаться в поле на треноге.

Рабочие органы дождевальных устройств предназначены для преобразования водного потока в дождевые капли, транспортирования капель на определенные расстояния и распределения их по площади полива. Их работой определяется качество дождя, так как по их работе судят о качестве работы всей машины или установки.

По характеру процесса образования дождя их разделяют на две группы: веерные и струйные. Первые создают широкий веерообразный поток воды в виде тонкой пленки, которая, встречая сопротивление воздуха, распадается

на отдельные капли. Они неподвижны относительно машины или установки и одновременно орошают всю прилегающую к позиции площадь в пределах дальности полета капель. Отличаются простотой устройства и получили наименование дождевальных насадок. Вторые создают поток воды в виде осесимметричных струй, которые в процессе движения под действием сопротивления воздуха распадаются на отдельные капли.

Они одновременно орошают прилегающую к позиции площадь в пределах дальности полета струи в форме сектора. Для орошения площади круга им сообщают вращательное (угловое) движение относительно машины или установки. Струйные рабочие органы с поворотными устройствами сложнее веерных, их называют дождевальными аппаратами.

Все рабочие органы, т.е. дождевальные насадки и аппараты, подразделяют главным образом по дальности разбрызгивания и напору воды на три группы:

- короткоструйные, или низконапорные (дальность полета капель до 8 м, напор воды 0,05–0,15 МПа);
- среднеструйные, или средненапорные (дальность полета капель до 35 м, напор воды 0,15–0,50 МПа);
- дальнеструйные, или высоконапорные (дальность полета капель до 60 м, напор воды свыше 0,50 МПа).

Основными элементами противоэрозионной технологии полива дождеванием являются:

- продолжительность полива до образования луж t_0 , мин;
- допустимая поливная норма $M_{\text{доп}}$, м³/га;
- допустимая интенсивность дождевания $r_{\text{доп}}$, мм/мин.

Эти параметры зависят от свойств почвы, характера растительности, условий рельефа и энергетических параметров дождя.

В основе расчёта элементов противоэрозионной технологии полива лежит экспериментальное исследование зависимости t_0 от интенсивности дождевания r . Экспериментальное дождевание проводится в условиях, близких к производственным. Для этого лучше всего использовать насадки дождевальных машин, имеющихся в хозяйствах.

Опыт производится до момента образования лужиц на поверхности почвы при каждой интенсивности дождя.

Под допустимой нормой полива $M_{\text{доп}}$ понимается слой воды, который распределяется в течение всего полива с заданной интенсивностью дождя без образования луж. Например, при интенсивности дождя $r = 0,3$ мм/мин допустимая норма полива $M_{\text{доп}}$ составит 15,3 мм. Для перевода этой величины в

объём воды на гектар нужно $0,0153 \text{ м} \times 10\,000 \text{ м}^2$, тогда получим искомую допустимую норму $153 \text{ м}^3/\text{га}$.

Допустимая интенсивность дождевания. Интенсивность дождевания оказывает существенное влияние на величину допустимой нормы полива. Уменьшение интенсивности дождя в 2 раза – от $0,25 \text{ мм/мин}$ до $0,12 \text{ мм/мин}$ – при одновременном уменьшении среднего диаметра капель с $2,0$ до $1,5 \text{ мм}$ повышает поливную норму примерно в 1,5 раза. Это связано с уменьшением энергии воздействия дождевых капель на поверхность почвы, приводящим к лучшему сохранению структуры почвы и крупных водопроводящих пор в её поверхностном слое.

Уменьшение диаметра капель искусственного дождя приводит к снижению скорости их падения и увеличению допустимых поливных норм при постоянной интенсивности дождя. Причём уменьшение диаметра капель в 2 раза приводит к увеличению допустимой поливной нормы в $1,5\text{--}2,5$ раза.

Растительность оказывает существенное влияние на величину допустимой поливной нормы. Надземная часть растений уменьшает энергию воздействия капель дождя на поверхность почвы. Как следует из таблицы 8, величина отношения допустимых поливных норм на участках с растительностью ($M_{\text{доп р}}$) и без нее ($M_{\text{доп}}$) постепенно возрастает по мере увеличения проективного покрытия растительного покрова и к концу вегетационного периода достигает величин $1,8\text{--}2,0$.

А.Н. Костяков (1960) рекомендовал следующие величины допустимой интенсивности дождевания в зависимости от гранулометрического состава почв:

- на тяжелых почвах – $0,1\text{--}0,2 \text{ мм/мин}$;
- на средних почвах – $0,2\text{--}0,3 \text{ мм/мин}$;
- на легких почвах – $0,5\text{--}0,8 \text{ мм/мин}$.

При этом диаметр капель не должен превышать $1\text{--}2 \text{ мм}$ в зависимости от водопроницаемости почв. Режим работы дождевальной машины или аппарата также влияет на допустимую интенсивность дождя. Для машин, работающих в движении, допустимая интенсивность дождя меньше, чем для короткоструйных позиционных аппаратов. Это связано с тем, что машины, работающие в движении, создают дождь очень высокой мгновенной интенсивности, во много раз большей, чем средняя за весь период дождевания. В результате в момент прохождения крыла машины над поверхностью почвы дождевые капли разрушают поверхность и, следовательно, уменьшают водопроницаемость гораздо сильнее, чем позиционные аппараты. В некоторых странах, например в США, допустимую интенсивность искусственного дождя ставят

в зависимость от наличия на поле растений, водопроницаемости почвы и уклона орошаемого участка.

Практика показывает, что серийные дождевальные машины, ещё используемые в настоящее время для орошения способны распределять большие поливные нормы без образования стока только на легких почвах. На почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава допустимая поливная норма может оказаться слишком малой для использования в производстве, поэтому в этих случаях следует предусмотреть мероприятия по её повышению.

Агротехнические мероприятия по повышению поливной нормы можно разделить на две группы. Одна группа направлена на увеличение водовместимости и водопроницаемости пахотного слоя (глубокая вспашка, повышение водопрочности структуры, щелевание, мульчирование), другая – на повышение водозадерживающей способности поверхности почвы (прерывистое бороздование в междурядьях пропашных культур, лункование и создание микролиманов при влагозарядковых поливах). Из гидротехнических мероприятий на орошаемых землях используются валы-террасы с широким основанием и ступенчатые террасы.

Следовательно, агротехнические мероприятия по повышению поливной нормы могут быть такими же, что рекомендуются для защиты почв от дождевой эрозии. Однако наибольшее значение для предупреждения стока при дождевании имеют организационно-хозяйственные мероприятия. Они включают проектирование и использование противоэрозионной технологии дождевания, предусматривающей полив до образования луж, а также выбор соответствующей дождевальной техники.

Среднеструйные дождевальные машины значительно различаются по величине подаваемой ими допустимой нормы полива. Еще большие различия наблюдаются при сравнении среднеструйной дождевальной машины («Волжанка») с дальнеструйными (ДДН-70, ДДН-100). Замена агрегата ДДН-100 дождевальной машиной «Волжанка» позволяет повысить допустимую поливную норму почти в 2 раза.

Однако выбор той или иной дождевальной техники зависит не только от интенсивности создаваемого ею дождя, но и от ряда других факторов, в том числе от крутизны склона. Например, агрегаты ДДА-100МА, ДДН-70 и КИ-50 «Радуга» применимы на склонах крутизной до 0,05, а «Волжанка», «Фрегат», «Днепр» – до 0,02.

Для предотвращения стока при поливе агрегатами ДДА-100МА и ДДА-100М целесообразно увеличивать, насколько возможно, длину бьефа*, так как при этом увеличивается время возвращения дождевальной машины и,

следовательно, пауза в подаче очередной порции воды на данный участок поля, что приводит к уменьшению усредненной интенсивности дождя. Так, при позиционной работе ДДА-100М усредненная интенсивность дождевания достигает 2,5 мм/мин, а при длине рабочего бьефа 100 м – 0,5 мм/мин, при 200–300 м – соответственно 0,25 и 0,17 мм/мин. Увеличение длины бьефа со 100 до 300 м позволяет повысить допустимую поливную норму почти в 1,5 раза. При использовании агрегата ДДН-70 можно уменьшить сток, применяя сменные сопла меньшего диаметра (35 или 45 мм вместо 55 мм), что по данным Ю.Н. Полякова (1976) позволяет снизить среднюю интенсивность дождя в 1,5 раза.

Эффективным методом повышения допустимых поливных норм является также прерывистое дождевание, существенно повышающее водопроницаемость почвы. При поливе установкой КИ-50 «Радуга» рекомендуется делить поливную норму на увеличивающиеся части в пропорции 1:2:3 и проводить полив с интервалом перед последующим поливом, равным продолжительности предыдущего полива (Паненко и др., 1976). По некоторым данным, эффективно также предварительное увлажнение поверхности почвы малой нормой (несколько миллиметров). Наиболее рациональным способом орошения крутых склонов является капельное и синхронно-импульсное дождевание.