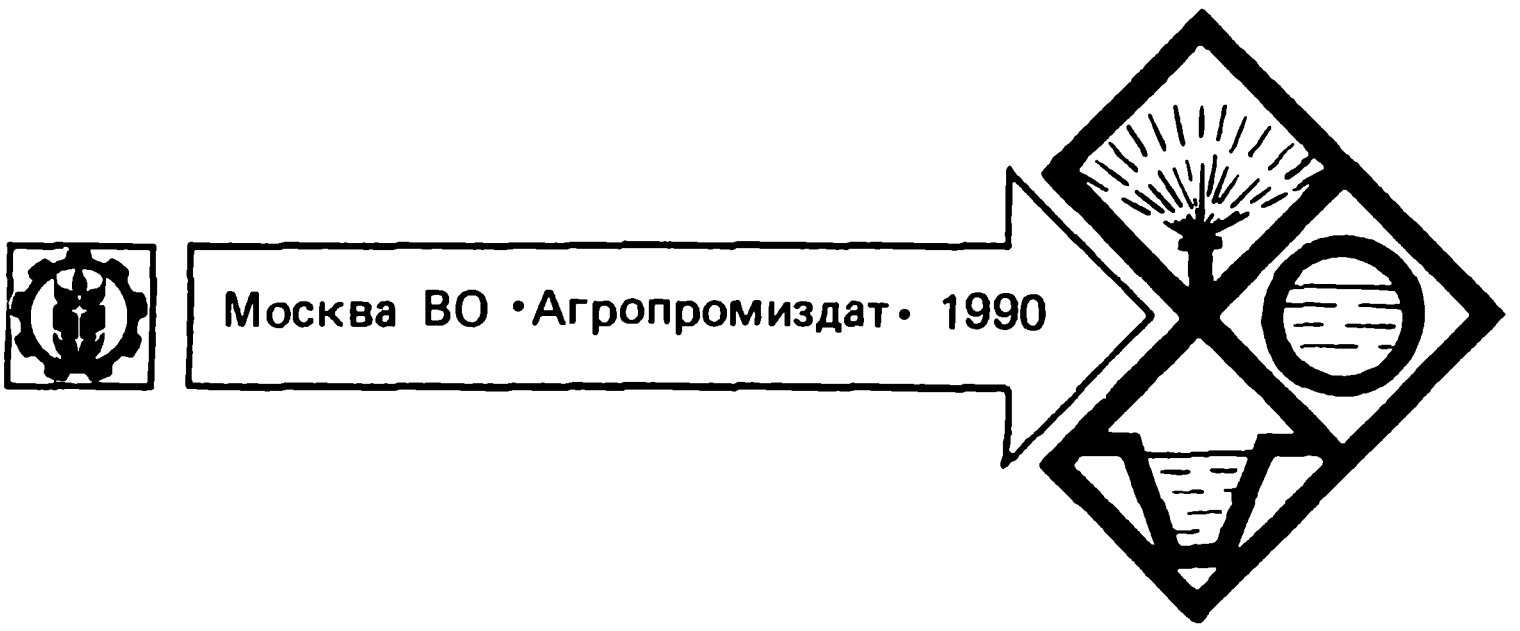
УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Ю. С. Толчельников

Эрозия и дефляция почв Способы борьбы с ними

Допущено Главным управлением высших учебных заведений Государственной комиссии Совета Министров СССР по продовольствию и закупкам в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений по агрономическим специальностям.



Москва ВО •Агропромиздат• 1990

ББК 40.64
Т55
УДК 631.6.02:631.459(075.8)

Редактор *Г. В. Елизаветская*

Рецензенты: доктор биологических наук *Б. Г. Розанов* (МГУ), доктор с.-х. наук, профессор *Г. Н. Попов* (Саратовский СХИ)

Толчельников Ю. С.

Т55 Эрозия и дефляция почв. Способы борьбы с ними. – М.: Агропромиздат, 1990. – 158 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

ISBN 5–10–002031–8

Изложены основы учения о эрозии и дефляции почв. Приведены сведения о формах проявления и факторах их развития. Детально рассмотрены способы предотвращения эрозии и дефляции. Даны математические зависимости интенсивности эрозии и дефляции от природных и антропогенных факторов.

Для студентов по специальности "Агрономия".

Т $\frac{3804000000-389}{035(01)-90}$ 207–91

ББК 40.64

ISBN 5–10–002031–8

© Ю. С. Толчельников, 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

Разрушение почвы в результате эрозии и дефляции проявляется в различных формах: смыв, размыв, развевание, перевевание, образование промоин и оврагов, пыльные бури и др. Эти явления охватывают огромные площади во всем мире. Водной эрозии подвержены 31 %, а ветровой – 34 % суши. В Мировой океан ежегодно смывается до 60 млрд т почвенного материала. Особенно сильно смыв возрос в последние десятилетия в связи с интенсивной распашкой пригодных для земледелия почв. В настоящее время распаханность суши составляет 10...11 %, а в странах Европы она достигает 31 %.

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства защита почв от эрозии и дефляции и охрана окружающей среды от загрязнения – важнейшие проблемы мирового земледелия.

В нашей стране 58 % земельного фонда находится в холодном поясе (тундра, лесотундра, северная тайга, высокогорья), где земледелие практически невозможно из-за недостатка тепла, 15 % площади занимают пустыни и полупустыни. Таким образом, лишь не более четверти территории страны имеет благоприятные условия для выращивания сельскохозяйственных культур. Но именно эти земли утрачивают плодородие и разрушаются под воздействием эрозии и дефляции.

Активизация эрозии и дефляции почв, которая наблюдается в последние десятилетия, связана не только с увеличением площадей пахотных земель и ростом нагрузки на пастбища, но и с появлением новой тяжелой почвообрабатывающей техники, уплотняющей почву и разрушающей ее структуру. Применение таких машин и внедрение глубокой обработки почв оказывает своеобразное, ранее не имевшее существенного значения воздействие на почву, которое в современных условиях необходимо учитывать при разработке мер по предупреждению эрозии и дефляции.

В степной полосе получила распространение новая для этих мест форма эрозии – ирригационная, возникшая в связи с внедрением орошения. Она обусловлена подачей на поля дополнительной к атмосферным осадкам воды и непосредственным воздействием на почвенные агрегаты энергии капель, выбрасываемых дождевальными машинами.

Изучение процессов эрозии и дефляции и разработка на этой основе приемов защиты от них почвенного покрова приобретают особенно

важное значение в связи с интенсификацией земледелия. Поэтому крайне важно, чтобы специалисты различных отраслей сельского хозяйства представляли опасность проявления этих видов деструкции почв, знали факторы, вызывающие их, и приемы борьбы с ними.

В последнее время существенное развитие получили методы борьбы с эрозией и дефляцией, базирующиеся на новых видах почвозащитных зональных систем земледелия. Широкое распространение получили новые экспрессные аэрокосмические методы контроля за состоянием почв и растительности, которые с заданной периодичностью позволяют получить документально точную и непосредственно компьютерно-картографическую информацию о развитии эрозии и дефляции почв того или иного региона и характере противоэрозионных и противодефляционных мероприятий.

Все эти вопросы рассмотрены в соответствующих главах книги. Эрозия и дефляция почв рассмотрены отдельно с одинаковой степенью детальности. Это разделение имеет принципиально важное значение, так как, имея некоторое сходство по результатам воздействия на почву на начальных стадиях, они существенно различны по механизму воздействия и формам его проявления на зрелых стадиях развития. Следовательно, требуются разные способы защиты земель от этих неблагоприятных воздействий.

Часть I. ЭРОЗИЯ И ДЕФЛЯЦИЯ ПОЧВ

Глава 1. ЭРОЗИЯ И ДЕФЛЯЦИЯ КАК ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ ДЕСТРУКЦИИ ПОЧВ

1.1. Понятие эрозии и других форм деструкции почв

Термин "эрозия почв" происходит от латинского слова – разъединение, разрушение. До недавнего времени его использовали в широком смысле, подразумевая под ним всякое разрушение (деструкцию) и снос верхней части почвы, независимо от того, какими силами они вызываются.

В узком смысле *эрозия* – это смыв и размыв почвы поверхностным стоком временных водных потоков. В этом смысле употребляется термин "эрозия" в нашем пособии.

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 дефляцию обычно изучают как один из видов эрозии. Более подробно о ней будет сказано в главе 3.

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. Карствование 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 и северной тайги и наблюдается в период оттаивания почвы. В этот момент поступающие на склоны более повышенных участков талые воды просачиваются 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 берегов – 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 эрозии 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 и дефляция. 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. Поэтому в книге основное внимание уделено рассмотрению процессов эрозии и дефляции и способов борьбы с ними.

1.2. Распространение эрозии и дефляции почв

Интенсивные эрозия и дефляция почв начались одновременно с сельскохозяйственной деятельностью человека. Сведение лесов, неуме-

ренный выпас скота, распашка почв без соблюдения определенных правил приводят к смыву, размыву и развеванию почвы.

Интенсивная эрозия обрабатываемых почв началась одновременно с их распашкой. При пахоте уничтожался переплетенный корнями дерновый горизонт, который, словно ковер, защищал почву от внешних воздействий. Лишенные этой защиты пахотные почвы быстро разрушались, появлялась сеть промоин и оврагов. Первыми с явлениями эрозии столкнулись народы Древнего Китая, Египта, Месопотамии и других стран ранних цивилизаций.

Первые земледельцы не видели связи между своей хозяйственной деятельностью и пагубными последствиями, которые она вызывала. Ф. Энгельс в работе "Диалектика природы" писал: "Людям, которые в Месопотамии, Греции, Малой Азии и в других местах выкорчевывали леса, чтобы получить таким путем пахотную землю, и не снилось, что они этим положили начало нынешнему запустению этих стран..."*. Но и позже, при капиталистическом способе производства, когда стали ясны разрушительные последствия хищнического использования земли, оно продолжалось в целях быстрого извлечения максимальной прибыли. В связи с этим Ф. Энгельс писал: "Какое было дело испанским плантаторам на Кубе, выжигавшим леса на склонах гор и получавшим в золе от пожара удобрение, которого хватало на одно поколение очень доходных кофейных деревьев, – какое им было дело до того, что тропические ливни потом смывали беззащитный отныне верхний слой почвы, оставляя после себя лишь обнаженные скалы! При теперешнем способе производства как в отношении естественных, так и в отношении общественных последствий человеческих действий принимается в расчет главным образом только первый, наиболее очевидный результат"**.

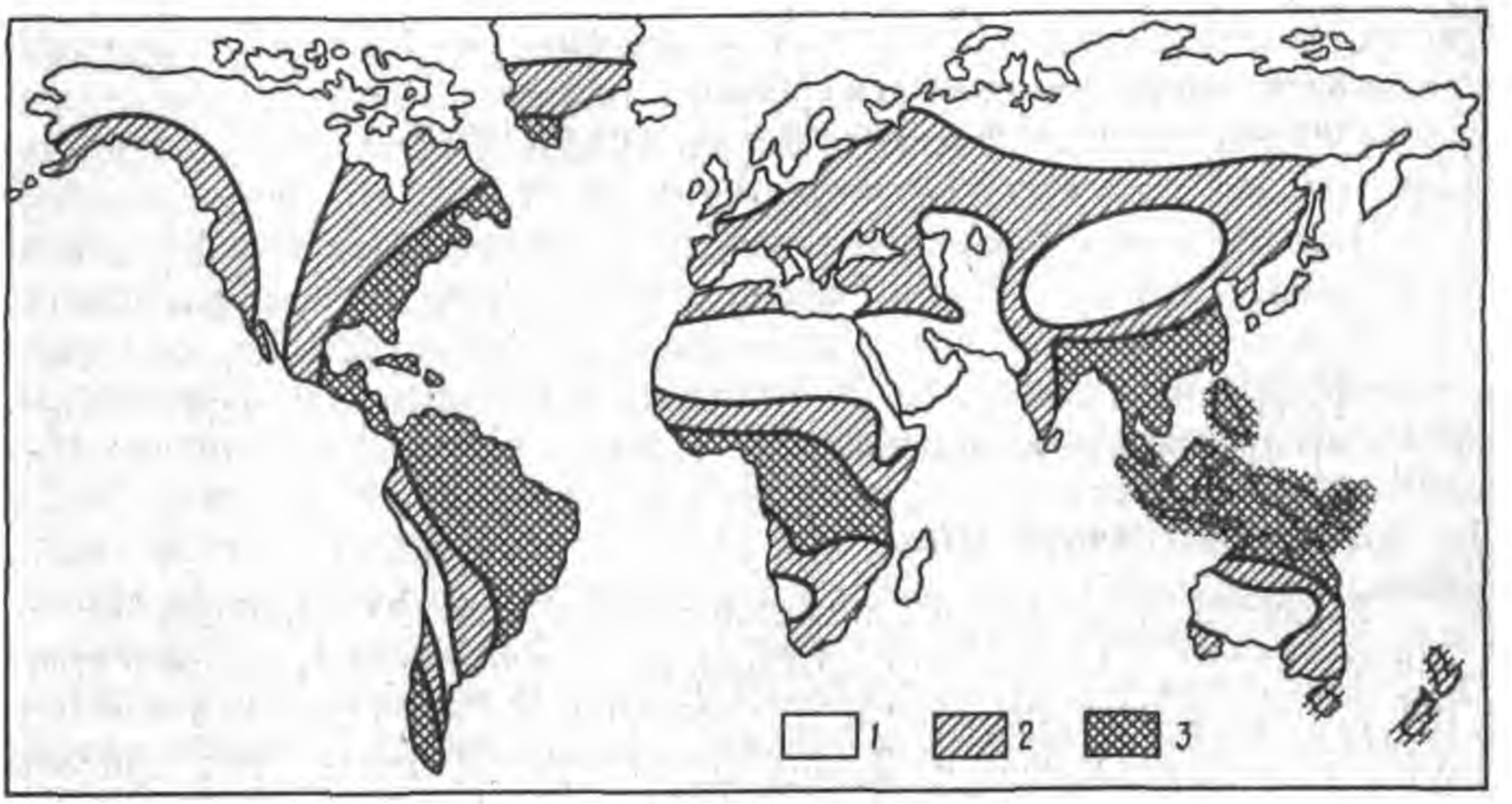
Большой интенсивности процессы водной эрозии достигли в прошлом столетии в США. Здесь ко второй половине XIX в. были распаханы практически все пригодные под зерновые культуры земли. Эрозия почв охватила всю огромную территорию Великих Равнин Северной Америки, приняв в конце прошлого столетия и в первой половине XX в. катастрофические размеры.

Ущерб, причиняемый эрозией сельскому хозяйству, проявляется не только в разрушении почв, но и в выносе из них питательных элементов – N, K, P, Ca, Mg. Из почвенного покрова мира эрозия уносит с полей и пастбищ в 60 раз больше элементов питания растений, чем их поступает с удобрениями. Эрозия не только уносит элементы питания, но и разрушает почву в целом. Производительность эродируемых почв снижается на 35...70 %.

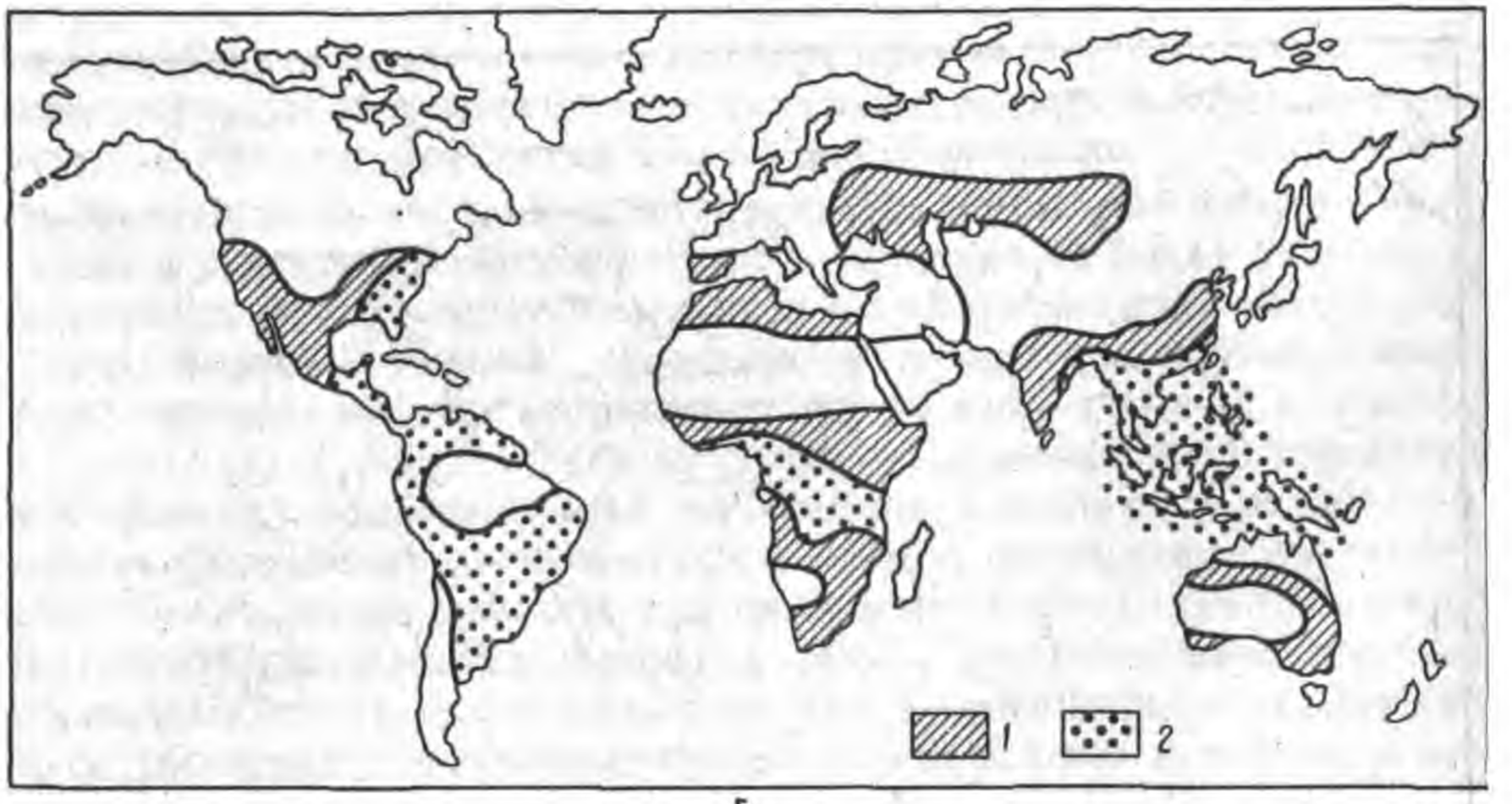
---

* Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 20. С. 496.
** Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 20. С. 498.

Разрушение плодородного слоя в результате эрозии происходит быстро, иногда за несколько лет, а для естественного восстановления слоя толщиной 25 см требуются сотни лет. Иными словами смыв пахот-



а



б

Рис. 1. Распределение осадков и распространение эрозии и дефляции:

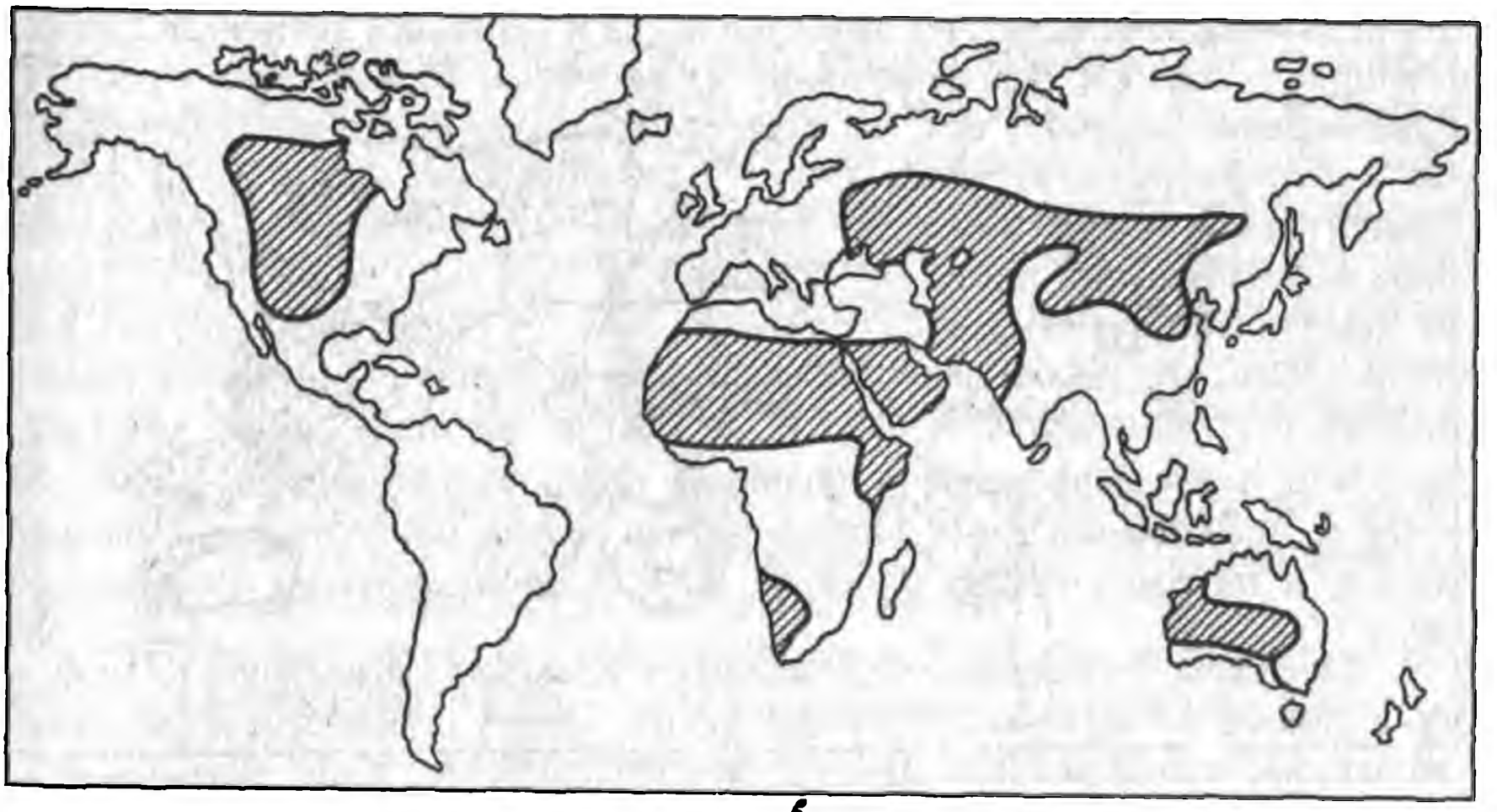
а – среднее годовое количество осадков (*1* – 0...400 мм; *2* – 400...1000 мм; *3* – более 1000 мм); *б* – проявление эрозии (*1* – районы, подверженные сильной

ного слоя сводит на нет результат работы естественных сил природы, созданный за несколько сотен лет. Насколько быстрее идет эрозия на распаханных участках по сравнению с территорией, занятой лесом или травяными сообществами, говорят следующие данные американского ученого Х. Беннета:

Время смыва 18-сантиметрового слоя тяжелосуглинистой опесчаненной почвы при крутизне склона 10°

Растительный покров	*Число лет, необходимое для смыва*
Лес	500 000
Травы	3225
Разные культуры в севообороте	70
Хлопчатник	32
Пропашная монокультура	15

Эрозия почв развита на всех континентах (рис. 1). Наиболее интенсивное освоение земли, сопровождающееся уничтожением лесной и степной растительности, произошло за последние 100...200 лет. За это время выбыло из строя примерно 2 млрд га, то есть в среднем в год терялось 10...20 млн га земель, в основном от эрозии и дефляции.



б

эрозии; *2* – районы, подверженные эрозии после удаления растительности); *в* – проявление дефляции (заштрихованы районы, подверженные интенсивной дефляции)

По масштабу проявления эрозии первое или одно из первых мест в мире занимает Китай. Две трети его территории имеют горный или холмистый рельеф, на большей части территории расположены легкоэродируемые почвы на лёссовых отложениях, значительная часть страны относится к зоне с муссонным, ливневым характером осадков.

Эрозия сильно развита также в Канаде, Индии, Австралии и многих других странах.

В результате почвенной эрозии в Европе ежегодно сносится 84 т/км^2 плодородного мелкозема, в Африке – 700 т/км^2.

Смыв почв в бассейнах различных рек Италии составляет от 88,3 до 2500 т/км^2, что соответствует ежегодной потере верхним горизонтом почвы 0,088 и 2,5 мм. В других районах земного шара средние ежегодные потери почвы от эрозии значительно больше – от 1,5 до 6,4 мм в год, причем эти потери характерны для территорий низменностей. В горах потери почв от эрозии значительно больше.

В нашей стране эрозия и дефляция также причиняют значительный ущерб сельскому хозяйству, являются причиной порчи и разрушения почв на значительных площадях. Интенсивное развитие эрозии на территории нашей страны началось после отмены крепостного права, с развитием капитализма. При отмене крепостного права крестьянам были отданы, в числе прочих, неудобные земли (по склонам балок, оврагов и рек), не распахиваемые помещиками. Распашка этих земель вызвала вспышку эрозионных процессов. В связи с развитием капиталистических отношений в сельском хозяйстве быстро возрастали площади пахотных земель за счет сведения лесов и распашки целинных степей. Говоря о районах Причерноморья и Заволжья, В. И. Ленин отмечал: "Расширение посевов, вот что всего более характерно для этого района в пореформенную эпоху. Очень часто обработка земли здесь самая примитивная – все внимание устремлено исключительно на запашку как можно большей площади" (Ленин В. И. Пол. собр. соч. Т. 17. С. 122). В Центрально-Черноземной России в 1846 г. было распахано 41,2% территории, под лесом находилось 20% территории, под целинной травянистой растительностью – 23,2%. В 1887 г. площадь пашни возросла до 69%, а площадь лесов и целинной степи сократилась до 25,6%. К 1914 г. практически были распаханы все земли, пригодные для земледелия, и площадь пашни достигла 80%, а площадь лесов сократилась до 6...7 %.

Сплошная распаханность, особенно в условиях расчлененного рельефа, привела к быстрому развитию эрозии. Этому способствовали также некоторые традиционные приемы землеустройства: поля размещались вдоль склонов, земельные участки разделялись глубокими бороздами, собиравшими склоновый сток и превращавшимися в овраги, обработка почв велась вдоль склонов.

К 1917 г. все или почти все земли на склонах были в различной сте-

пени эродированы, так как меры по защите почв от эрозии практически нигде не применяли.

Эрозионные процессы развиваются всюду, где в природные процессы вмешивается человек. Так, промышленное освоение Крайнего Севера вызвало интенсивное оврагообразование на вечной мерзлоте вследствие уничтожения и нарушения растительного покрова, причем здесь овраги растут быстрее, чем в средней полосе.

Эрозии подвергаются почвы и лесной зоны. Здесь после сведения лесов и распашки без применения противоэрозионных мероприятий в условиях расчлененного рельефа на почвах с низкой противоэрозионной устойчивостью эрозия охватывает большие площади ранее плодородных земель. Но наиболее остро стоит вопрос об эрозии почв в черноземной зоне, где она развита наиболее интенсивно и приводит к наиболее значительным потерям плодородия почв.

Распаханность черноземов европейской территории СССР достигает 85...90 %, причем распашке подверглись черноземы на склонах крутизной до 15° и более.

Эрозия почв — бич сельскохозяйственного производства многих районов степной зоны. На Украине эродировано почти 26 % площади черноземов, эрозии подвержено 30 % пашни, почти 50 % пастбищ.

Особенно больших размеров эрозия достигает там, где сельское хозяйство ведется без соблюдения агротехнических приемов и без выполнения противоэрозионных мероприятий.

В некоторых районах страны (Предкавказье и юг Украины, на легких почвах юга Западной Сибири) серьезный вред причиняет дефляция, которая разражается с огромной силой в отдельные годы, вызывая пыльные бури. В марте—апреле 1960 г. в результате пыльной бури, которая охватила Северный Кавказ и юг Украины, был снесен слой почвы 7...10 см, в течение трех дней с этой территории было перенесено 25 км^3 почвы. Этот объем равен объему кряжа длиной 25 км, высотой 4 км и шириной 1,5 км. В Ростовской области и на Северном Кавказе 2—7 января 1969 г. на площади более 800 тыс. га был снесен слой почвы 3...7 см, испорчено 8 млн га посевов, а на площади 2 млн га посевы погибли полностью.

Эрозия и дефляция существенно ухудшают не только почвы, но и всю экологическую обстановку регионов, в которых они получают развитие, и экологические условия Земли в целом.

Разрушение почвенного покрова снижает биологическую продуктивность биосферы, приводит к неблагоприятным изменениям в круговороте химических элементов и их балансе, нарушается равновесие, сложившееся в биосфере.

В ряде случаев эрозия является ведущим фактором загрязнения поверхностных вод. В составе эрозионных стоков в воду поступает 90 % всех глинистых фракций, 79 азота, 53 фосфора и 98 % бактерий.

За последние 20...30 лет в водоемы европейской территории СССР

поступают стоки, содержащие много соединений азота и фосфора, что связано со смывом удобрений с полей. В результате этого происходит эвтрофикация водоемов, повышается их неполезная продуктивность, когда усиленно развивается фитопланктон, прибрежные заросли, водоросли, начинается цветение воды. В глубинной зоне водоемов в результате поступления азота и фосфора усиливаются анаэробные процессы с накоплением таких вредных для живых организмов продуктов, как аммиак, сероводород и др. Образуется дефицит кислорода. Это приводит к гибели ценных видов рыб и растений, вода становится непригодной не только для питья, но и для технических целей. Эвтрофированный водоем утрачивает хозяйственное и биогеоценологическое значение. Таким образом, вследствие стока поверхностных вод и эрозии почв происходит загрязнение гидросферы.

Особенно велик вынос удобрений с полей при их неправильном внесении, например при внесении зимой или ранней весной по снегу. При зимнем и ранневесеннем внесении удобрений, когда поверхность поля покрыта ледяной коркой и инфильтрация вод понижена, с полей, имеющих даже незначительный уклон (0,008...0,014), с поверхностным стоком выносится 50...100 % аммиачной селитры, 40...70 – калия, 30... 40 – фосфора, 40...60 % извести от внесенного количества. Для предотвращения смыва удобрения необходимо вносить после оттаивания почв и прекращения стока талых вод.

Материалы, полученные во многих странах мира, широко применяющих минеральных удобрения, свидетельствуют о резком возрастании поступления азота и фосфора удобрений в водоемы в последние десятилетия. Так, содержание фосфора во многих озерах Северной Америки за последние 30...40 лет увеличилось в 5...20 раз, на территории ГДР за последние 80 лет содержание питательных элементов в водоемах возросло в 50...5000 раз. Здесь количество фосфора и азота, обнаруженное в водоемах, составляет соответственно 1...5 и 10...25 % их количества, внесенного на поля. В Эстонии содержание фосфора в реках, пересекающих лесные ландшафты, составляет 0,01...0,03 мг/л, а в реках сельскохозяйственных районов – 0,12...0,16 мг/л. В реках лесных районов концентрация нитратов колеблется в пределах 1...3 мг/л, в сельскохозяйственных районах весной она в 10...20 раз больше.

Приведенные данные убедительно свидетельствуют о том, что эрозия почв является не только сельскохозяйственной, но и экологической проблемой. Следует иметь в виду, что наибольший экологический ущерб от эрозии выражается не в загрязнении гидросферы, а в снижении биологической продуктивности суши. Это приводит к ослаблению функционирования основного механизма биосферы (системы растительность – почвенный покров), поддерживающего сложившиеся биогеохимические циклы Земли, в том числе циклы, определяющие благоприятное соотношение кислорода и диоксида углерода в атмосфере. Для предотвращения возможных отрицательных изменений в биосфере необходимо

всемерно сберегать почвенный покров от разрушения, закрыть его каждый квадратный сантиметр, дециметр и метр травянистой, кустарниковой и древесной растительностью. Эта задача может быть решена в значительной мере в рамках защиты почв от эрозии.

1.3. Развитие 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. В России начало развития научных представлений об эрозии и способах защиты от нее, то есть начало эрозиоведения, связано с именами М. В. Ломоносова, а также профессоров Московского университета М. И. Афонина и А. Т. Болотова. Последние еще в начале XIX в. указали на огромный ущерб, наносимый эрозией, и предложили меры по предотвращению смыва почвы. В середине XIX столетия широко проводили картографирование смытых почв и оврагов, изучали закономерности эрозии, собирали данные о влиянии смыва почв на урожайность сельскохозяйственных культур.

Специальные работы по изучению эрозии почв в конце XIX в. были выполнены П. П. Тихобразовым. Он предложил такие мероприятия по защите почв от эрозии, как земляные валы на полях для задержания талых вод, нарезка полей вдоль горизонталей, вспашка вдоль горизонталей, которая теперь называется контурной и широко применяется во многих странах мира. В трудах русских ученых конца прошлого века уже содержались количественные оценки эрозии.

В то же время развивались научные представления о дефляции почв и способах борьбы с ней. Следует отметить, что первые сведения о дефляции почв содержались уже в документах времен Киевской Руси.

В России возникла и успешно развивалась агролесомелиорация как отрасль знания, имеющая целью защиту почв и сельскохозяйственных растений от эрозии, дефляции и засухи.

Первая правительственная попытка организации искусственного лесоразведения в степи была предпринята еще при Петре I. В 1696 г. близ Таганрога был заложен дубовый лес, сохранившийся до нашего времени.

С начала XIX в. за степным лесонасаждением было признано государственное значение и каждую весну к посеву и посадке леса привлекали тысячи крестьян. Началась организация опытного дела по созданию в степи лесных массивов и разработка научных основ степного лесоразведения. В ряде передовых помещичьих хозяйств были сделаны попытки создания противоэрозионных и полезащитных полос, разрабатывали способы размещения полос, посадки и ухода.

В имении Моховое Тульской губернии больших успехов в лесоразведении добился И. Н. Шатилов. В 1821 г. он начал выращивать лес в

местности, рассеченной балками и оврагами. Эти лощинно-балочные насаждения сыграли большую противоэрозионную роль. Его сын, И. И. Шатилов, выращивал не только лощинно-балочные леса, но и другие насаждения, сохранившиеся до сих пор.

Началом организованного степного лесоразведения следует считать учреждение в 1843–1844 гг. Великоанадольского и Бердянского опытных лесничеств. Руководителем первого из них был В. Е. Графф, который не только посадил 144 десятины леса и создал дендрарий, но и организовал школу лесоводов, что сыграло большую роль в степном лесоразведении. В 70–80-е годы прошлого века было открыто свыше 30 степных лесничеств и лесных дач.

Во второй половине XIX в. была предложена новая форма защиты полей от засух и суховеев, базирующаяся на идее пространственного влияния леса. Основанием для развития этой идеи послужили представления академика К. С. Веселовского о неблагоприятном влиянии на климат степной полосы Европейской России сухих восточных ветров, зарождающихся на территории Прикаспийской низменности и вызывающих засухи и пыльные бури. Их пагубное влияние считалось возможным устранить с помощью лесных массивов. В связи с этим возникли проекты создания широкой полосы из системы лесных насаждений между Уральским и Кавказским хребтами, которая стала бы преградой на пути восточных ветров. Это была заманчивая, но наивная идея. Тем не менее в 80-х годах прошлого века была сделана попытка создать лесной заслон.

Великий почвовед В. В. Докучаев был первым, кто предложил стройную и всеохватывающую систему мероприятий по защите почв от эрозии, дефляции и засухи и подъему плодородия черноземов и определил место лесных насаждений в системе этих мероприятий. Его система включала регулирование стока рек и устройство прудов в степи, создание определенного соотношения между площадями пашни, луга и леса, проведение противоэрозионных мероприятий, введение приемов обработки почвы, обеспечивающих наиболее полное использование влаги, применение сортов деревьев, приспособленных к местным почвенным и климатическим условиям. Для того чтобы показать возможности предложенного комплекса мероприятий, под руководством В. В. Докучаева были организованы три опытных сельскохозяйственных участка – Каменностепной, Старобельский и Мариупольский. Лесные насаждения на этих сельскохозяйственных участках создавали для защиты посевов от ветров, бурь и суховеев, накопления и регулирования мощности снежного покрова, предотвращения эрозии почв и улучшения микроклимата. В. В. Докучаев полагал, что надлежащая защита сельскохозяйственных угодий может быть обеспечена, если лесные насаждения будут занимать от 10 до 20 % общей площади.

В развитии полезащитного лесоразведения исключительно велика заслуга Г. Н. Высоцкого. В частности, он выполнил большую научную

и организационную работу по осуществлению докучаевской программы на Мариупольском опытном участке, обобщив большой опыт, и установил, что массивное лесоразведение в степи возможно только на черноземах.

После Великой Октябрьской социалистической революции охрана земли стала государственной задачей. В 1923 г. близ города Новосиля Орловской области была создана первая в мире научно-исследовательская опытно-овражная станция. Ее организатор и научный руководитель А. С. Козьменко с сотрудниками внесли большой вклад в исследование эрозии почв и разработку методов защиты от нее. В 30-х годах подобные исследования, координируемые Почвенным институтом им. В. В. Докучаева, широко проводили во многих регионах нашей страны под руководством А. М. Панкова, а затем академика С. С. Соболева, внесшего огромный вклад в развитие эрозиоведения.

В 50-х годах разработка эрозионной проблемы продолжалась в Институте географии АН СССР под руководством Д. Л. Арманда и С. И. Сильвестрова. Здесь были подготовлены крупные работы "Районирование территории СССР по основным факторам эрозии" и "Региональные системы противоэрозионных мероприятий". Исследования по эрозионной проблеме проводили практически во всех союзных республиках, краях и областях страны.

Новый этап развития эрозиоведения отличается интенсивным производственным внедрением противоэрозионных и противодефляционных мероприятий. Он связан с освоением целинных и залежных земель, осуществленным в 50-х годах. Распашка целины, проведенная в ряде случаев с нарушением почвозащитных приемов земледелия, вызвала бурное развитие эрозии и особенно дефляции почв, поэтому потребовались энергичные меры по борьбе с этими явлениями. Развитию деструкции почв способствовало также применение тяжелой техники, разрушающей почвенную структуру, широкое развитие орошения, вызывающего ирригационную эрозию, и другие факторы.

Для обеспечения эффективных мер по предотвращению эрозии и дефляции потребовалось специальное постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 20 марта 1967 г. "О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии". В постановлении борьба с ветровой и водной эрозией рассматривалась как одна из важнейших государственных задач в системе мер, принимаемых партией и правительством для дальнейшего развития сельскохозяйственного производства в стране.

В октябре 1975 г. вышло постановление Совета Министров СССР "О мерах по улучшению организации работ по защите почв от ветровой и водной эрозии". В нем говорилось об усилении внимания к вопросам борьбы с эрозией и дефляцией, обеспечении комплекса организационно-хозяйственных, агротехнических, лесомелиоративных и гидротехнических противоэрозионных и противоселевых мероприятий. В частности, отмечено, что проекты мероприятий по защите почв от эрозии на землях

всех землепользователей должны согласовываться с землеустроительной службой, осуществляющей государственный контроль за использованием земель.

В настоящее время в стране работает несколько сотен научных коллективов, изучающих особенности проявления процесса эрозии в различных природных условиях и разрабатывающих зональные системы противоэрозионных мероприятий. Среди них Всесоюзный НИИ земледелия и защиты почв от эрозии в Курске, Институт защиты почв от эрозии на Украине. Под руководством акад. ВАСХНИЛ А. И. Бараева значительно расширились работы по созданию и внедрению почвозащитных систем земледелия в Казахстане и Сибири.

Для исследований современного этапа характерна разработка теоретических основ эрозиоведения, математических подходов к решению проблемы познания закономерностей развития эрозии и созданию методов ее предупреждения. В этой связи следует упомянуть работы Ц. Е. Мирцхулавы, Г. И. Швебса, М. С. Кузнецова и других ученых.

Таким образом, дело защиты почв от эрозии и дефляции в нашей стране является поистине государственной всенародной задачей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие формы деструкции почв распространены на земном шаре?
2. Какие регионы Земли в наибольшей степени подвержены эрозии и дефляции?
3. Какие периоды можно выделить в развитии науки об эрозии и дефляции почв?

Глава 2. ЭРОЗИЯ ПОЧВ

2.1. Сущность эрозии почв

Эрозия, как было сказано выше, представляет собой разрушение почв под действием поверхностных временных водных потоков. Оно происходит вследствие размыва потоками поверхности почв, перевода смещенных частиц во взвешенное состояние и переноса их на другие участки. В местах, где скорость потока падает, минеральные частицы оседают, образуя переотложенные пролювиальные и делювиальные наносы и намытые почвы.

Явление смыва почв связано с отрывом от поверхностного слоя отдельных частиц и целых агрегатов. Механизм смыва почв можно представить как взаимодействие эродирующей силы потока $F_{эр}$, действующего на частицу, с силой сцепления частицы с почвой $F_{сц}$. Эродирующая сила потока, действующая на частицу, зависит от скорости потока v, толщины слоя воды h и отношения массы частицы m к площади ее поперечного сечения S:

$$F_{эр} = f\ (F_{сц}\ v,\ h,\ m/S)\ .$$

Сила $F_{эр}$ возрастает с увеличением v и h и уменьшением m/S.

Сила сцепления почвенной частицы $F_{сц}$, в свою очередь, зависит от плотности частицы ρ и прочности ее связи с другими частицами $F_{св}$, зависящей от содержания в почве коллоидов и многих других факторов:

$$F_{сц} = f(\rho, F_{св}).$$

В распространенных уравнениях для размывающей силы потока толщина слоя воды обычно не указывается. Однако очевидно, что сила бокового давления на частицу в приземном слое воды при одной и той же скорости будет возрастать по мере увеличения движущейся массы воды.

Эрозия происходит тогда, когда $F_{эр}$ становится больше $F_{сц}$. Скорость водного потока, при которой начинается отрыв твердых частиц от поверхности почвы, называется *критической скоростью потока* $v_{кр}$.

При одной и той же плотности суммарное поперечное сечение частиц на единицу объема возрастает по мере уменьшения их размеров. Поэтому критическая скорость потока меньше на почвах с более мелкими микроагрегатами и гранулометрическими частицами, чем на почвах с крупными частицами.

Таким образом, интенсивность отрыва поверхностным стоком почвенных частиц и агрегатов тесно связана с текстурой и гранулометрическим составом почв и почвообразующих пород и с тем, насколько донные скорости поверхностного стока превышают критические (неразмывающие) значения для данной почвы.

Помимо указанных факторов, на интенсивность отрыва частиц от почвы большое влияние оказывает турбулентность потока, связанная с неровностью поверхности почв. В турбулентном потоке оторвавшиеся частицы интенсивнее поднимаются к поверхности потока и переносятся дальше.

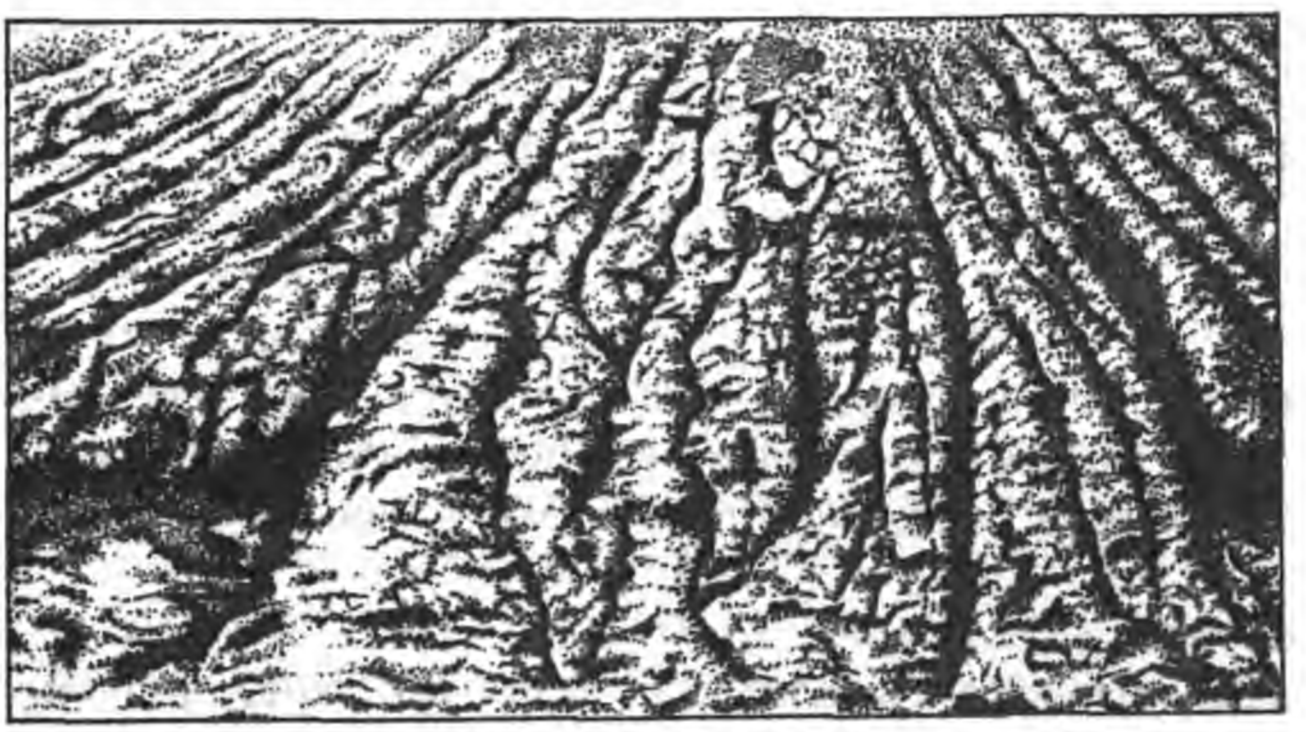
2.2. Формы проявления и виды эрозии почв

Виды эрозии почв специалисты рассматривают с двух позиций: по характеру воздействия на почву, то есть по форме проявления, и по происхождению поступающей на почву воды.

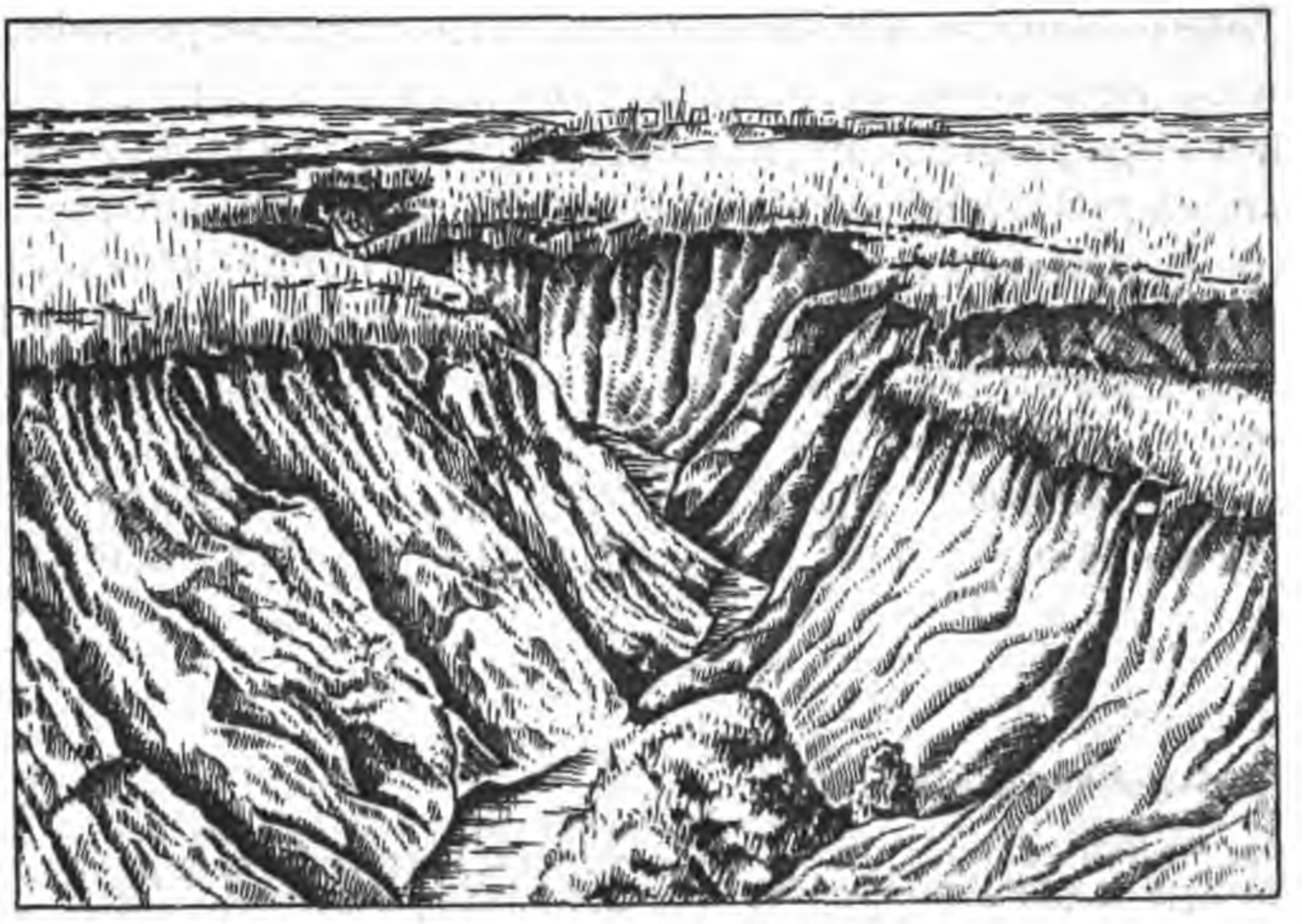
Формы проявления эрозии. По форме проявления различают поверхностную (плоскостную) эрозию, или смыв почвы; струйчатую эрозию; размыв почвы, или овражную эрозию. Результаты проявления этих форм эрозии можно видеть на отдельных массивах земель, но часто они наблюдаются совместно.

Плоскостная (поверхностная) эрозия наблюдается на выровненных склонах, характеризующихся равномерным распределением стока. Она приводит к равномерному по территории смыву почвы (рис. 2, *а*). В результате плоскостной эрозии происходит "срезание" верхних плодородных слоев и укорачивание профиля почв.

а



б



в

Интенсивность эрозии Q измеряется потерей почвой ее массы m с единицы площади S в единицу времени t и выражается в т/га или мм/год:

$$Q = m/St.$$

В этих же единицах измеряют и скорость почвообразования. Поэтому из сопоставления скорости эрозии и скорости почвообразования судят о степени эрозионной опасности почв. Эрозионно опасными почвы считают в том случае, когда скорость эрозии превышает скорость развития почвенного профиля в глубину. В том же случае, когда скорость эрозии почв оказывается меньше, чем скорость почвообразования, почвы не считают эрозионно опасными, а эрозию, как уже отмечено выше, называют нормальной.

Скорость роста гумусового профиля при формировании разных почв несколько различна, однако в среднем ее считают равной 0,2 мм/год. Исходя из этого, при интенсивности эрозии, не превышающей 0,2 мм/год, или 2...3 т/га в год, ее считают нормальной. В этом случае эрозию не принимают во внимание. При потере почвами 3...6 т/га в год эрозию относят к слабой, при потере 6...12 т/га в год – к средней, а при сносе мелкозема в количестве, превышающем 12 т/га в год – к сильной.

В соответствии с этими представлениями эрозию почв ряда районов СССР следует относить к сильной. Например, абсолютные потери почвы на Среднерусской, Волыно-Подольской, Приволжской, Приобской возвышенностях составляют 20...30 т/га в год.

Струйчатая эрозия (рис. 2, *б*) возникает в том случае, когда по склону сток перераспределяется и образует струи разной интенсивности, приводящие к появлению промоин и рытвин глубиной до 0,5... 1 м. Иными словами, к струйчатым формам эрозии относят размыв почвы с образованием мелких отрицательных форм рельефа, которые устраняются сельскохозяйственной обработкой почвы. Они не имеют продольного профиля и повторяют профиль поверхности склона.

Формы струйчатой эрозии причиняют большой ущерб сельскохозяйственному производству не только тем, что приводят к смыву плодородного гумусового горизонта, но и тем, что разрушают поверхность пашни, затрудняют сельскохозяйственную обработку. При отсутствии мер защиты эта форма эрозии перерастает в овражную.

Овражная эрозия – форма линейной эрозии, когда промоины достигают глубины более 1 м и при их наличии поля сплошной сельскохо-

Рис. 2. Формы проявления эрозии:

а – склоны речной долины с почвами, смытыми в результате плоскостной эрозии; *б* – струйчатые размывы почвы на склоне после ливня; *в* – овраг в черноземной зоне

зяйственной обработке не поддаются (рис. 2, *в*). В отличие от форм струйчатой эрозии овраги имеют свой продольный профиль, отличающийся от профиля поверхности, в которую он врезан. Ущерб, наносимый сельскому хозяйству овражной эрозией, огромен. Овраги особенно вредны тем, что разрушают поверхность ландшафта и выводят из сельскохозяйственного использования земли не только на месте самих оврагов, но и на прилегающих территориях.

Овраги в нашей стране ежедневно "съедают" 100...200 га пашни, а общая площадь земель, выведенных из сельскохозяйственного использования в связи с этим, в 3...4 раза превышает площадь самих оврагов. Площадь оврагов только на европейской территории СССР составляет 5 млн га. Во всем мире ежегодные потери почв от оврагов составляют 3 млн га.

В развитии оврагов можно выделить четыре стадии: I — промоины или рытвины, II — врезание висячего оврага вершиной, III — выработка профиля равновесия, IV — затухание развития. На протяжении одного оврага можно наблюдать различные стадии его развития, при этом каждой стадии развития продольного профиля соответствует определенная форма поперечного профиля рельефа.

По положению в рельефе овраги подразделяют на береговые (склоновые), расположенные на склонах, и донные, расположенные по дну балок. Выделяют овраги первичные, впервые прорезающие поверхность склонов, и вторичные, прорезающие и углубляющие днища балок. Если в донный овраг впадают устья береговых, или склоновых, оврагов, образуются овражные системы.

Овраги можно группировать по площади водосборного бассейна, высоте вершинного перепада, глубине, степени пораженности территории оврагами.

О степени пораженности территории оврагами можно судить по проценту площади, непосредственно занимаемой оврагами: по суммарной протяженности оврагов, измеряемой протяженностью овражной сети на 1 км^2; по плотности оврагов, измеряемой числом оврагов, приходящихся на 1 км^2; по расчлененности склонов оврагами, определяемой средним расстоянием между двумя оврагами; по объему оврагов, исчисляемому в м^3/км^2. Определяя степень пораженности какой-либо территории оврагами, необходимо учитывать только овраги, а не овражно-балочную сеть в целом.

М. Н. Заславский предложил следующую шкалу для составления картограмм суммарной протяженности овражной сети: менее 0,1 км/км^2; 0,1...0,25; 0,25...0,5; 0,5...0,7; более 7 км/км^2.

Для характеристики степени расчлененности склоновые земли группируют в зависимости от среднего расстояния между двумя оврагами следующим образом: слабая — более 1000 м, средняя — 500... 1000, сильная — 250...500, очень сильная — менее 250 м.

Годовую интенсивность линейной эрозии оценивают по ряду пока-

зателей: по объему почвы, вынесенной из промоин и оврагов, то есть по годовому увеличению объема всех промоин и оврагов на данной территории; по приросту площади, занимаемой промоинами и оврагами; по увеличению их общей протяженности.

Общесоюзной классификации оврагов по величине (глубине, длине, интенсивности роста) не существует. В разных районах используют различные классификации, соответствующие особенностям развития овражной сети. В регионах, где преобладают неглубокие овраги, те из них, глубина которых достигает 10 м, считаются глубокими и очень глубокими, тогда как в районах распространения лёссов, где нередки овраги глубиной до 100 м и более, такие овраги считают неглубокими. В районах с невысокой интенсивностью роста оврагов годовой прирост 2 м считается весьма интенсивным, тогда как на орошаемых почвах, сформированных на лёссах, где овраги могут расти со скоростью до 200 м в год, интенсивность роста 2 м считается незначительной.

Виды эрозии. Наблюдаемая в настоящее время интенсивная эрозия обусловлена главным образом деятельностью человека, поэтому ее называют антропогенной. Помимо антропогенной, выделяют геологическую эрозию, идущую на нераспаханных территориях более медленными темпами.

Антропогенная эрозия возникла с появлением скотоводства и особенно с началом земледелия, когда естественный растительный покров стравливался скотом или сводился полностью, а почва распахивалась.

Эрозия почв, как было отмечено выше, возникает при наличии стока, то есть для ее проявления необходимы появление на поверхности почвы слоя воды и уклон, обеспечивающий ее сток. В зависимости от специфики появления стока на поверхности почвы различают три вида эрозии: талых вод, ливневую, ирригационную. Каждый из этих видов эрозии может рождать как плоскостную, так и струйчатую и овражную эрозию.

Эрозия от талых вод — смыв почвы водами, поступающими при таянии снега. Она характеризуется большой длительностью процесса, охватывает большие территории, но, как правило, отличается небольшой интенсивностью, так как в период снеготаяния почва большую часть времени находится в мерзлом состоянии и не поддается сносу. Так, в районах Подмосковья при продолжительности снеготаяния, равной 1 месяцу, смыв оттаявшей почвы наблюдается только в течение одной недели. По данным М. С. Кузнецова, потери мелкозема за это время составляют только 1...10 т/га.

Несмотря на относительно малую интенсивность эрозии от талых вод в расчете на единицу объема стока, в целом в определенных природных условиях (особенно на зяби и под посевом озимых) она может достигать значительной величины и причинять большой ущерб сельскохозяйственному производству.

Ливневая эрозия — смыв почвы водами, появляющимися на поверх-

ности при выпадении дождей. Продолжительность ее воздействия на почву измеряется часами и минутами. Однако количество смываемой почвы при этом обычно больше, чем при снеготаянии, и достигает 10... 100 т/га за год.

При ливневой эрозии разрушение почв происходит по двум причинам: в результате смыва и размыва почв потоками стекающих по поверхности вод, не успевших впитаться в почву, и вследствие разрушения почвенных агрегатов каплями дождя. Мощность размывающего потока поверхностных вод зависит от интенсивности дождя и его продолжительности, а также от длины склона и других факторов, которые будут рассмотрены ниже. Разрушающее воздействие дождя на почвенные агрегаты определяется количеством капель, поступающих в единицу времени, и их размерами. Чем крупнее капля, тем большей скоростью и большей кинетической энергией она обладает и тем большее разрушение она причиняет. При ударе капля разрушает почвенный агрегат и частицы почвы вместе с брызгами попадают в струйки воды на поверхности почвы и выносятся ими с поля. Эрозионная роль дождя велика, так как дождевые капли при ливнях обладают большой энергией. Об этом свидетельствует то, что брызги от дождевых капель, ударяющихся о почву, вместе с минеральными частицами поднимаются на высоту 40...60 см. Кроме того, крупные капли создают турбулентность временных потоков и увеличивают их транспортирующую и "роющую" способность.

Ирригационная эрозия возникает при орошении. В зависимости от способа орошения она делится на подвиды: эрозия при поливе по бороздам, при поливе по полосам, при поливе по чекам, при поливе дождеванием.

При разных способах полива количество сносимой почвы существенно различается. Наименьшая эрозия наблюдается при поливе дождеванием и по чекам, а наибольшая – при поливе по бороздам, когда она может быть намного больше, чем снос почв при дождевой эрозии или эрозии от снеготаяния. Поэтому полив по бороздам стараются заменить поливом дождеванием, который при его правильной организации дает минимальный сток. Эрозия в сухие сезоны при таком виде полива вообще возникать не должна. Она появляется лишь при неправильном поливе, когда скорость поступления воды на почву превышает скорость ее впитывания почвой, которая изменяется по мере набухания и разрушения агрегатов.

Динамика скорости впитывания воды почвой зависит не только от свойств почвы, но и от качества дождевальных машин, так как каждая из них дает разную интенсивность дождя и разный размер капель и оказывающих разное разрушающее воздействие на почвенные агрегаты (рис. 3).

Образование стока связано с неспособностью почв впитать всю воду, подаваемую при поливе дождеванием. Предотвратить указанные

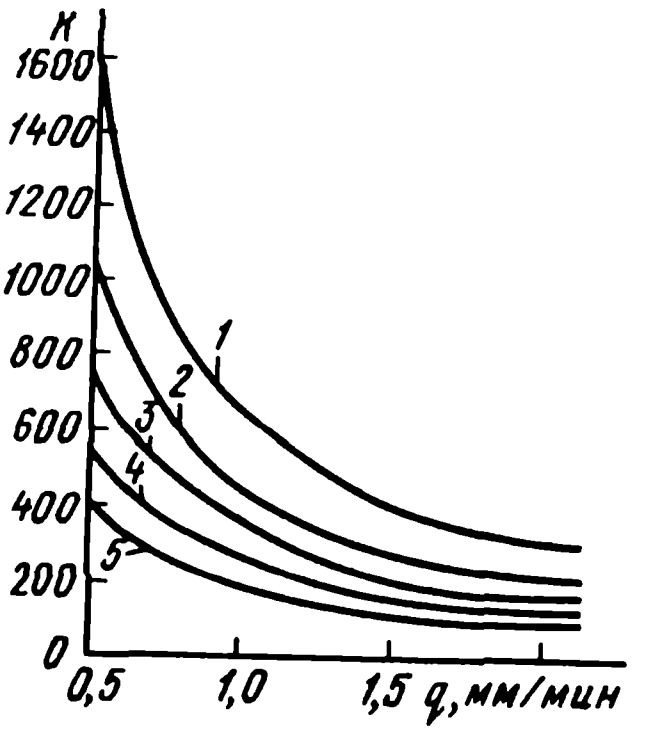


Рис. 3. Зависимость коэффициента впитывания воды K суглинистой почвой при поливе дождеваниями от диаметра капель d и интенсивности дождя q:

1 – d = 0,5 мм; *2* – d = 1 мм; *3* – d = 2 мм; *4* – d = 2,5 мм; d = 3 мм

негативные явления на широко распространенных слабоструктуренных почвах черноземного и каштанового типов можно только в результате применения почвозащитной технологии полива, которая основывается на использовании эрозионно допустимых поливных норм (ЭДПН), применении агротехнических приемов, направленных на увеличение впитывающей способности почв, соблюдении оптимальных сроков полива.

Основой предотвращения эрозии почв при дождевании на орошаемых землях является определение параметров безнапорного впитывания воды в почву методом экспериментального дождевания в полевых условиях, расчет на их основе эрозионно допустимых поливных норм, учет динамики эрозионно допустимых поливных норм в течение оросительного периода (вводят коэффициенты, учитывающие растительный покров, уклон местности, плотность почвы и др.).

Имея расчетную интегральную кривую дефицита водного баланса для конкретной культуры, построенную по общепринятой методике, и расчетный календарный график изменения эрозионно предельно допустимых поливных норм, проектируют эрозионно безопасный режим орошения.

Увеличение впитывающей способности почв (а следовательно, эрозионно предельно допустимых поливных норм) достигается включением в систему основной обработки почвы безотвального рыхления культиватором КПГ-250 или ГУН-4 на глубину 30...35 см, проведением предполивных культиваций пропашных и овощных культур, внесением высоких (до 100...200 т/га) доз органических удобрений.

Формирование дождевого стока. Не каждый дождь вызывает поверхностный сток. Он появляется лишь тогда, когда интенсивность дождя q превышает интенсивность впитывания воды почвой K, которая изменяется со временем t по мере выпадения дождя и насыщения почвы влагой. Это изменение описывается формулой А. Н. Костякова:

$$K_t = K_0 \ (t/t_0)^{\alpha},$$

где K_t – интенсивность впитывания воды почвой через интервал времени t, прошедший от начала дождя, мм/мин; K_0 – начальная интенсивность впитывания, мм/мин; α – эмпирический коэффициент.

В природе могут наблюдаться три варианта воздействия интенсивности дождя (q, мм/мин) на сток. Первый вариант – сток может появиться в самом начале дождя. Это явление случается, когда интенсивность начального впитывания воды почвой $K_0 < q$. Второй вариант – сток появляется через некоторое время после начала дождя. Он характерен для времени, когда скорость впитывания снижается до интенсивности дождя ($K_t = q$). Третий случай – сток не появляется. Это может быть при малой интенсивности дождя, когда скорость впитывания не снижается до интенсивности дождя:

$$K_t > q.$$

Чаще всего мы наблюдаем второй случай, когда сток появляется через некоторое время после начала дождя, после насыщения почвы влагой и снижения ее впитывающей способности.

Поглощение воды почвой – сложный процесс, зависящий от вида почвенного порового пространства, начальной влажности и характера поступления воды на почву.

В сухом состоянии почва разбита трещинами усыхания, ходами червей и насекомых. Первые порции воды быстро проникают по таким пустотам, образуя "провальное" увлажнение. Следующие порции влаги проникают по капиллярным порам и постепенно отсасываются от поверхности почв. Скорость капиллярного впитывания у разных почв различна и значительно меньше, чем скорость провального увлажнения почв.

После заполнения крупных пор и капилляров дальнейшее поступление воды в почву заставляет двигаться капиллярную влагу. Образуется сплошной фронтальный нисходящий поток влаги, интенсивность которого зависит от многих факторов, связанных со свойствами почв, и системы их обработки. Обычно почвенная толща имеет более рыхлое сложение, чем почвообразующая порода. Она характеризуется хорошей водопрочной структурой, содержит множество вертикальных трещин и пор. В связи с этим до полного насыщения пор и пустот почвенной толщи вода впитывается быстро, а после заполнения пустот почвенной толщи скорость впитывания воды резко снижается.

Водовпитывающая способность почвы зависит не только от свойств почв, но и от параметров дождя – его интенсивности (см. рис. 3), длительности и размеров капель (табл. 1).

Очевидно, что чем интенсивнее и длительнее дождь, тем меньше водовпитывающая способность почвы. Кроме того, водовпитывающая способность почвы снижается с увеличением размера капель. Это явление объясняется разрушающей деятельностью капель. С увеличением размеров капли с большей энергией разбивают почвенные комочки и тем самым способствуют более быстрому их разрушению и заполнению межагрегатного пространства верхней части почвы. Это обстоятельство заставляет ирригаторов создавать конструкции дождевальных

1. Основные параметры дождя, создаваемого дождевальной техникой для тяжелосуглинистых почв при скорости ветра 3...5 м/с

Марка машины, режим работы	Приведенная интенсивность дождя, мм/мин	Средний диаметр капель, мм	Допустимая норма полива, $м^3/га$
"Кубань"	1,1	1,0	390
ДДА-100МА, насадки вверх, длина бьефа 400 м	1,0	1,5	300
ДДА-100МА, насадки вниз, длина бьефа 400 м	1,2	2,5	150
"Фрегат" без учета углов	1,05	1,1	380
"Днепр" с учетом углов	1,0	1,5	300
"Волжанка"	0,58	1,5	525
Шлейф Метельского ДШ-20/600	0,55	1,65	520
КСИД-10	0,12	1,5	340
ДДН-70	1,85	2,0	120
ДДН-100	1,7	2,25	115

машин, обеспечивающие меньший размер капель. Из таблицы 1 видно, что размеры капель, создаваемых дождевальными установками разных конструкций, различны. В последние годы конструкторы стремятся создать машины, обеспечивающие дождевание при малых размерах капель: если первые конструкции давали дождь с размером капель 2...2,5 мм, то последние отечественные их образцы имеют дождь с размером капель 1,1 мм.

При дождевании машиной "Фрегат" при малых размерах капель и малой интенсивности дождя скорость *впитывания воды почвой* возрастает в 2...3,5 раза по сравнению с дождеванием машинами, дающими дождь с более крупными каплями.

Наиболее благоприятным для почв и растений является мелкодисперсное дождевание, при котором интенсивность энергии разрушения каплями почвы минимальна, а приземный слой воздуха получает дополнительное увлажнение.

Свойства водных потоков. Эрозию почв вызывают потоки воды, каждый из которых движется по руслу определенной формы. Разные русла могут пропускать в единицу времени различное количество воды, которое определяется скоростью ее движения в русле, зависящей от уклона русла, шероховатости его поверхности, формы поперечного сечения и степени извилистости. Все эти показатели учитывают при расчете русловых потоков и противоэрозионных мероприятий. Рассмотрим кратко каждый из перечисленных показателей.

Расход воды – объем воды, протекающей через поперечное (живое)

сечение потока в единицу времени. Между расходом, скоростью и живым сечением потока имеется тесная связь. Через поток с поперечным сечением в виде параллелограмма (например, поток в лотке с прямыми вертикальными стенками) при постоянной скорости u за время t пройдет объем воды, равный объему параллелепипеда с основанием S и высотой, равной скорости u, умноженной на время t. Расход воды в этом случае будет

$$Q = Sut/t = Su.$$

Это уравнение справедливо для потока, в котором скорость во всех точках живого сечения одинакова. В реальных потоках средняя скорость в каждой точке живого сечения меняется в зависимости от расстояния до дна потока. Наибольшая скорость обычно наблюдается у поверхности потока, наименьшая – у дна. Расход воды Q в таких потоках определяется живым сечением S и средней скоростью потока v, то есть

$$Q = Sv.$$

Для характеристики поперечного сечения руслового потока в расчетах используют понятие *гидравлического радиуса* R, который представляет собой соотношение площади живого сечения руслового потока к его смоченному периметру p. Смоченным периметром называют длину периметра потока в плоскости его поперечного сечения.

При поперечном сечении потока в форме прямоугольника с основанием b и высотой h периметр смоченности p равен $b + 2h$. Гидравлический радиус широких потоков ($b \gg h$) приблизительно равен глубине потока, то есть $R \approx h$.

Реальные потоки прорывают русла, поперечное сечение которых редко имеет прямоугольную форму, но приведенное соотношение между гидравлическим радиусом и средней глубиной потока применимо к руслу любой формы, если ширина потока намного превосходит его глубину. При характеристике движения потока различают ламинарное и турбулентное течения.

Ламинарным называют такое течение жидкости, при котором существующее внутреннее трение слоев воды не вызывает образования вихрей. В этом случае трение слоев обусловлено только взаимодействием молекул воды и возникает между ее слоями, движущимися с разной скоростью. Различия в скорости движения обусловлены замедлением движения слоев на границе с дном и стенками русла, оказывающими на них тормозящее воздействие. При увеличении расстояния от дна русла H на постоянную величину ΔH изменение скорости потока происходит на одну и ту же величину Δv, то есть градиент скорости $\Delta v/\Delta H$ разных слоев потока является величиной постоянной, равной v/H. Зависимость между скоростью потока и расстоянием от дна носит прямолинейный характер (рис. 4).

Преодоление различий в скорости слоев происходит под воздействием определенной силы F. Если рассмотрим взаимодействие между

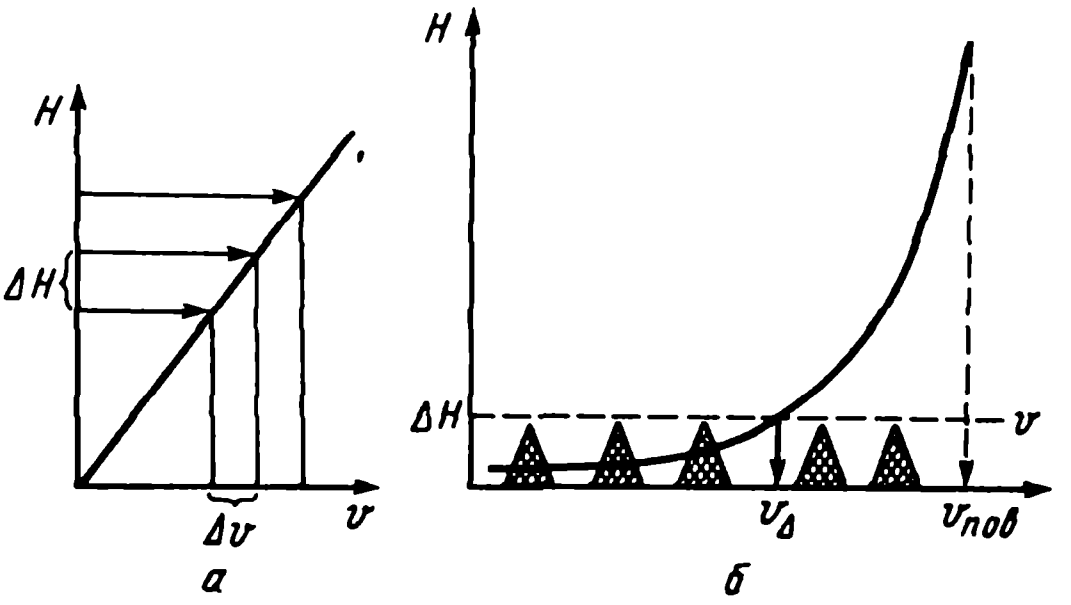


Рис. 4. Зависимость скоростей ламинарного (*а*) и турбулентного (*б*) потоков от расстояния до дна русла *H*:

ΔH – прирост расстояния H; *v* – скорость потока; *Δv* – прирост скорости *v*; $v_Δ$ – длинная скорость; $v_{пов}$ – скорость потока у поверхности

слоями воды в придонном слое в горизонтальной плоскости *A*, разделяющей два слоя потока с разными скоростями, то увидим, что нижний слой, обладающий меньшей скоростью из-за близости к дну русла, тормозит верхний слой с силой трения *F*, характеризующейся формулой

$$F = \mu A v/H,$$

где μ – динамическая вязкость, величина, обратная текучести. Она характеризует внутреннее трение жидкости и измеряется в Па · с. Вода при 20 °С характеризуется величиной динамической вязкости, равной $1{,}002\,10^{-3}$ Па · с. Эта величина резко уменьшается при нагревании.

Внутреннее трение жидкости в ламинарном потоке может быть охарактеризовано также кинематической вязкостью υ, выражаемой через отношение динамической вязкости μ к плотности жидкости ρ:

$$\upsilon = \mu/\rho.$$

Турбулентное течение жидкости возникает, когда скорость потока жидкости превышает определенное критическое значение. В этом случае в жидкости начинают образовываться вихри, препятствующие течению, то есть *турбулентным называется вихревое течение жидкости*. Внутреннее трение в таком потоке обусловлено не только взаимодействием молекул, но и взаимодействием вихрей.

Скорость в каждой точке турбулентного потока непрерывно изменяется во времени, поэтому для описания турбулентных потоков используют представление о пульсации скорости. Для ее измерения применяют термоанемометры. Турбулентный поток характеризуют значением средней скорости его за период измерения по данному направлению и пульсацией скорости. Среднюю скорость потока находят путем многократного измерения "мгновенной" скорости в точке по трем направлениям.

Пульсация скорости турбулентного потока – разность между "мгновенными" и средними значениями его скорости. Скорость в какой-либо точке турбулентного потока можно разложить на три составляющие:

$$u = \bar{u} + u'; \; v = \bar{v} + v'; \; w = \bar{w} + w',$$

где u – продольная составляющая скорости потока; v – горизонтальная поперечная составляющая; w – вертикальная поперечная составляющая.

Горизонтальной чертой в приведенных выражениях помечены средние значения скорости, штрихом – средние значения пульсации.

Пульсация скорости играет большую роль в отрыве частиц почвы водными (а также воздушными) потоками от ее поверхности. Даже при невысокой средней скорости потока, но при больших значениях пульсации скорости частицы отрываются от поверхности почвы. Пульсация вызывает нарушение межагрегатного сцепления и разрушение агрегатов, что снижает устойчивость почвы к эрозии и дефляции. Таким образом, турбулентные потоки значительно эрозионно и дефляционно опаснее ламинарных.

Турбулентный поток, как и ламинарный, имеет минимальную скорость в слое, непосредственно прилегающем к дну, а максимальную – в поверхностном слое. Однако градиент скорости в турбулентном потоке в отличие от ламинарного не является постоянной величиной, а уменьшается с увеличением расстояния от дна потока (см. рис. 4). Сила трения F, приложенная к горизонтальной поверхности площадью A в турбулентном потоке, определяется по формуле

$$F = \rho K A \frac{\partial v}{\partial H},$$

где K – коэффициент турбулентности; ρ – плотность жидкости; ρK – турбулентная вязкость потока.

Поскольку градиент скорости в турбулентном потоке изменяется с глубиной, в формулу вводят производную $\frac{\partial v}{\partial H}$.

В природе значительно чаще встречаются турбулентные потоки. Они в основном и вызывают эрозию почв. Для количественной характеристики различий ламинарных и турбулентных потоков используют число Рейнольдса

$$\mathrm{Re} = hv/\nu = hv\rho/\mu,$$

где h – глубина потока.

Число Рейнольдса характеризует относительную роль сил вязкости в потоке. Чем меньше число Рейнольдса, тем большую роль в движении жидкости играют силы вязкости. Значение числа Рейнольдса дает представление о характере движения жидкости. Так, при $\mathrm{Re} < 500$ русловый поток является ламинарным, при $\mathrm{Re} > 1000$ – турбулентным. При промежуточных значениях поток может быть турбулентным либо ламинарным в зависимости от ряда других факторов.

Число Re используют для моделирования процессов эрозии и дефляции в лабораторных условиях. Для получения модели, адекватно отражающей свойства объекта, необходимо, чтобы число Рейнольдса для модели было равно Re натуры. Этого добиваются подбором величин v, h и ν в модельных опытах.

Распределение скорости по вертикали в турбулентном русловом потоке описывается криволинейной зависимостью. Как уже отмечалось, минимальной скоростью обладают придонные слои, максимальной – поверхностные.

На характер и скорость потока значительно влияет степень шероховатости русла (наличие выступов). Средняя скорость потока на расстоянии от дна потока, равном средней высоте выступов Δ, создающих шероховатость, называется *донной скоростью* v_Δ.

Скорость потока в какой-либо точке в зависимости от ее расстояния до дна русла описывается формулой

$$v_h = v\ (h/H)^{1/6},$$

где v_h – скорость потока на расстоянии h от дна; v – средняя скорость потока; H – глубина потока.

Если $h = \Delta$, то

$$v_\Delta = v\ (\Delta/H)^{1/6}.$$

Чем меньше глубина потока и больше размер выступов, тем ближе средняя скорость потока к донной.

Вода в русле движется под действием силы тяжести. Как было отмечено выше, скорость движения воды возрастает по мере увеличения расхода воды и уклона русла и уменьшается под влиянием силы трения, значение которой определяется шероховатостью русла и физическими свойствами жидкости. Для расчета скорости турбулентных потоков используют формулу Шези, которая учитывает все перечисленные условия, влияющие на скорость потока, и имеет следующий вид:

$$v = C\sqrt{HI},$$

где v – скорость турбулентного потока; C – коэффициент Шези (скоростной множитель); $I = \mathrm{tg}\alpha$, где α – угол наклона поверхности воды, при равномерном установившемся движении воды угла наклона ее поверхности и дна русла совпадают.

Коэффициент Шези показывает, насколько быстро изменяется скорость турбулентного потока при изменении уклона и глубины. Для крупных рек его принимают равным 50, для малых потоков – 10...20. Точное значение коэффициента Шези необходимо знать при расчетах противоэрозионных мероприятий. Его определяют расчетным методом, для чего выведен ряд уравнений, из которых наиболее часто используют уравнение Маннинга:

$$C = R^{1/6}/n,$$

где R –гидравлический радиус; n – коэффициент шероховатости.

Коэффициент шероховатости учитывает не только шероховатость дна и стенок русла, но и степень извилистости русла, гидродинамические особенности растений, произрастающих в русле, то есть все основные факторы торможения движения водного потока. Значение коэффи-

циента шероховатости обычно определяют опытным путем. Коэффициенты шероховатости наиболее типичных видов русл имеют следующие значения:

Характеристика русла	*n*
Бетонный канал	0,012...0,017
Сборные железобетонные лотки	0,012...0,015
Задернованное русло канала	0,03...0,035
Поливная борозда	0,01...0,02
Временный водоток в овраге	0,04...0,05

2.3. Факторы эрозии почв

Степень развития водной эрозии почв той или иной территории определяется природными и антропогенными факторами. К их числу относятся климат, рельеф, растительный покров, животный мир, свойства почв и почвообразующих пород, хозяйственная деятельность человека, социально-экономические условия.

Рассмотрим каждый из указанных факторов.

Климат. Эрозия проявляется в различных районах земного шара по-разному. В нашей стране наиболее интенсивно она проявляется в зоне степей и лесостепей европейской части СССР. В азиатской части СССР в этих географических зонах преобладают процессы дефляции. В пустынях и полупустынях эрозия также распространена в значительно меньшей степени, чем дефляция. Почвы лесной зоны в меньшей мере подвержены этим деструкционным процессам. Причиной таких различий в географическом распространении эрозии почв прежде всего является климат.

Из климатических особенностей наибольшее значение для проявления эрозии имеют осадки. Региональное распределение интенсивности эрозии связано с тем, что в зоне степей и лесостепей европейской территории СССР выпадает сравнительно большое количество осадков, равное 400...650 мм в год, причем значительная их часть – в виде ливней. В зоне сухих степей количество осадков уменьшается до 300...400 мм. В лесостепной и степной полосе азиатской части СССР, где климат более континентальный, количество осадков составляет также 300...400 мм. Судя по указанному выше распространению эродированных почв, с увеличением количества атмосферных осадков эрозия почв в степной и лесостепной полосе возрастает. Именно по этой причине интенсивность эрозии повышается не только при переходе от зоны сухих степей к зоне лесостепи, но и по мере понижения континентальности климата, при переходе с востока азиатской на запад европейской части СССР.

Следует отметить, что, несмотря на то что в зоне лесов осадков выпадает больше, чем в степной и лесостепной, эрозия почв там проявляется в значительно меньшей степени (рис. 5). Однако это явление уже связано с противодействием эрозии лесной растительности, меньшей степенью распаханности лесной зоны, характером выпадения осадков.

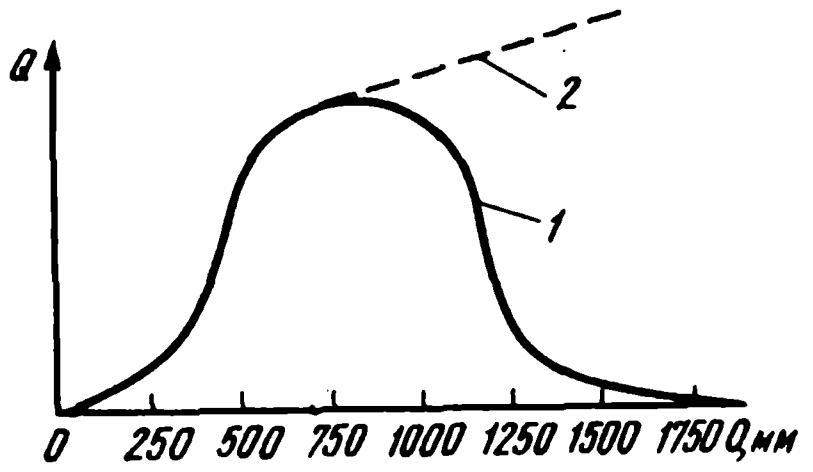


Рис. 5. Зависимость между среднim годовым количеством осадков *O* и почвенной эрозней *Q*:

1 – при сохранении естественной растительности; *2* – при удалении естественной растительности

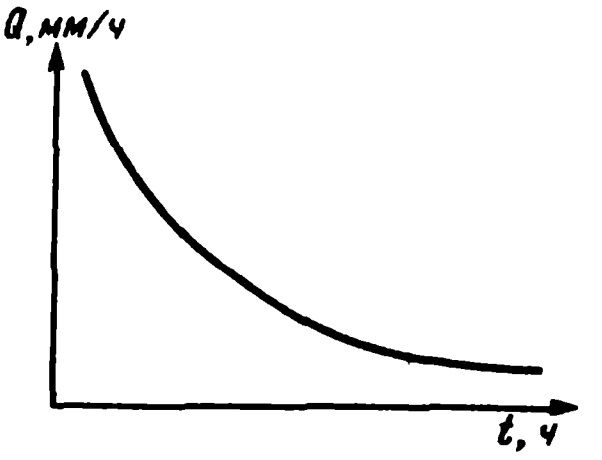


Рис. 6. Завнсимость между интенсивностью эрозии *Q* и продолжительностью дождя *t*

Большую роль в развитии эрозии почв в лесостепной и северной части степной зоны играет то обстоятельство, что значительное количество жидких осадков здесь на почву поступает весной и ранним летом при отсутствии развитого растительного покрова. Обнаженная почва сильно разрушается дождем прежде всего потому, что подвергается воздействию дождевых капель, разбивающих почвенные комочки, тогда как на участках, покрытых растениями, удары дождевых капель глушатся растительным покровом. Кроме того, интенсивность эрозии в это время велика еще и потому, что почва под слаборазвитой растительностью не скреплена корневыми системами.

Большое влияние на эрозию почв оказывает характер осадков. При выпадении одного и того же количества осадков за более короткое время эрозия возрастает (рис. 6). Если на севере преобладают затяжные дожди малой интенсивности, то в степной полосе они выпадают в виде ливней. За один-два дня здесь может выпасть вся среднемесячная норма осадков, составляющая 40...50 мм. Почва, естественно, не успевает впитать такое обилие влаги, избыток воды начинает стекать по склонам. Зависимость стока вод и смыва почвы от интенсивности дождя на примере серой лесной почвы приведена в таблице 2.

2. Зависимость стока и смыва почвы от интенсивности дождя

Интенсивность дождя, мм/мин	Сток, % количества осадков	Смыв почвы, т/га
0,25	5	0,22
0,5	19	0,75
1	56	6,6
2	61	35

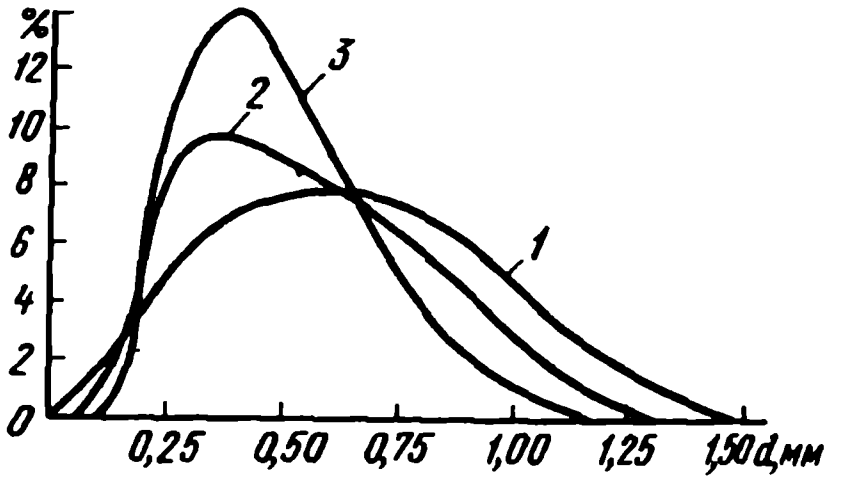


Рис. 7. Распределение капель (в %) по диаметру при выпадении дождя разной интенсивности:

1 – 65...115 мм/ч; *2* – 115:..165 мм/ч; *3* – свыше 165 мм/ч

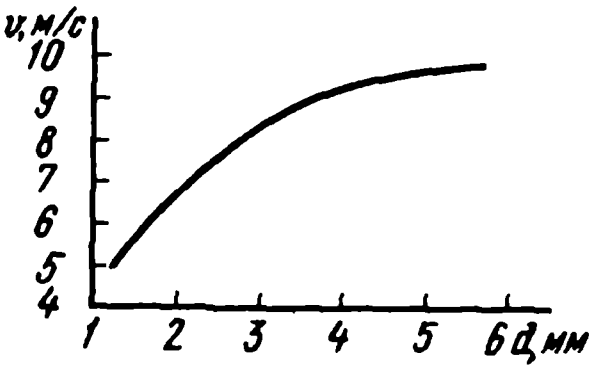


Рис. 8. Зависимость конечностей (приземной) скорости дождя от диаметра капель

На интенсивность эрозии сильно влияет размер дождевых капель, который зависит от интенсивности дождя (рис. 7).

Диаметр капель в затяжных осадках составляет 1...1,5 мм, в ливневых он равен 3...5 мм. Масса таких капель в 5...15 раз, а скорость их в приземном слое воздуха в 2 раза больше. Следовательно, сила удара капель при ливневых осадках в 10...30 раз больше, чем при затяжных. Кроме того, скорость капель, а следовательно их разрушительная сила возрастает до известных пределов по мере увеличения диаметра капель (рис. 8).

Эрозионные процессы зависят также от степени континентальности климата, характера зим и длительности весеннего снеготаяния. Вследствие этой климатической особенности эрозия почв в европейской части СССР проявляется значительно сильнее, чем в азиатской. Ослаблению интенсивности эрозионных процессов в азиатской части СССР способствует более континентальный климат, вследствие которого в Сибири и Казахстане наблюдается менее мощный слой снежного покрова и, следовательно, меньший объем талых вод и задержка снеготаяния. Последнее объясняется длительным периодом утренних заморозков, когда разница между положительными дневными и отрицательными ночными температурами здесь достигает 10...15°. Из-за таких резких колебаний суточных температур воздуха большой величины достигает испарение воды с поверхности снега. Кроме того, здесь часто наблюдается перерывы в снеготаянии, обусловленные временным возвращением похолоданий, которые могут задержать снеготаяние на несколько дней и даже недель.

Специфической особенностью Сибири и Северного Казахстана является то, что из-за сильных морозов и малоснежных зим почвы подвержены сильному морозобойному растрескиванию. При снеготаянии большая часть талых вод проникает в трещины и по ним стекает в микро-

понижения. Вследствие этого значительная часть талых вод стекает не по поверхности, а внутрипочвенно, что исключает эрозию почв.

Все это сказывается на интенсивности эрозии, предотвращение которой, особенно в степной и лесостепной зонах европейской территории СССР, оказывается главнейшей природоохранной проблемой.

Рельеф. От особенностей рельефа во многом зависит размер и скорость поверхностного стока и, следовательно, скорость разрушения и сноса почвы.

Прежде чем рассмотреть влияние рельефа на эрозию почв, отметим, что интенсивность эрозии, или количество материала, смываемого за одно и то же время t, возрастает с увеличением скорости потока v.

Из графика, приведенного на рисунке 9, видно, что при малых скоростях поток не оказывает ощутимого разрушающего воздействия на почвы. Эрозия в этом случае незначительна и равна допустимой, или нормальной.

Скорость течения воды, при которой начинается ее разрушающее воздействие на почвы, называется критической скоростью $v_{кр}$. Для смыва частиц разного размера существует своя критическая скорость.

Критическая скорость потока воды или ветра для частиц диаметром d выражается следующим уравнением:

$$v_{кр} = \frac{1}{K} \sqrt{\frac{d\,(\gamma - \gamma_0)}{\gamma_0}\, g}.$$

где K – эмпирический коэффициент; d – диаметр частиц; γ – плотность частиц; γ_0 – плотность движущейся среды; g – ускорение свободного падения.

Различные особенности рельефа по-разному влияют на скорость потока и интенсивность эрозии. Наибольшее влияние на скорость потока оказывает крутизна склона α, с увеличением которой скорость потока резко возрастает.

Крутизну склона выражают отношением разности высот двух точек A и B склона Δh к горизонтальной проекции AC расстояния между этими точками l (рис. 10).

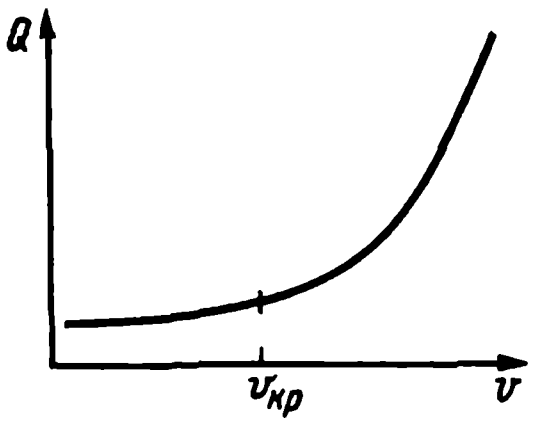


Рис. 9. Зависимость интенсивности смыва почвы Q от скорости потока v

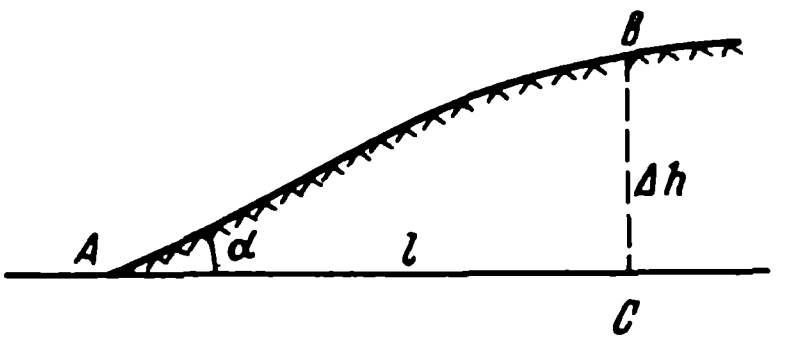


Рис. 10. Зависимость крутизны склона α от превышения местности Δh на единицу длины l

В камеральных условиях углы наклона склонов α определяют по топографическим картам, используя формулу

$$I \approx \operatorname{tg}\alpha = \Delta h / l,$$

где Δh – разность высот двух точек местности; l – расстояние на карте между этими точками (длина проекции склона).

Крутизну средних и крутых склонов обычно оценивают в градусах. На местности крутизну склонов определяют с помощью эклиметров, а в камеральных условиях – по высоте сечения горизонталей и расстоянию между ними.

Малые углы наклона характеризуют также отношением превышения, в метрах на километр расстояния h (м)/1000 (м), то есть выражают в тысячных долях длины склона.

В зависимости от крутизны склона, используемые в сельском хозяйстве, делят на пологие, покатые, крутые и обрывистые.

На выровненных участках земной поверхности углы наклона малы и составляют меньше 1°, на пологих склонах – 1...2°, покатых – 2... 5°, крутых – 5...10°. Участки склонов, где крутизна более 10°, считаются очень крутыми. Такие склоны без специальных мелиоративных мероприятий в сельском хозяйстве не используют.

Эрозионные процессы непосредственно связаны с крутизной склонов. Именно крутизной склонов в первую очередь определяется степень смытости почв (табл. 3).

3. Степень смытости почв в зависимости от крутизны склона

Характеристика склонов	Крутизна, °	Возможная степень смытости
Ровные участки	Менее 1	Отсутствует
Пологие склоны	1...2	Слабая
Покатые ”	2...5	Средняя
Крутые ”	5...10	Сильная

О степени подверженности эрозии почв того или иного природного массива в целом дает представление коэффициент (густота) эрозионной расчлененности территории

$$K = L / S,$$

где L – длина всех оврагов и балок рассматриваемой территории, м; S – площадь массива, м^2.

По значению коэффициента эрозионной расчлененности можно судить о характере рельефа местности, наиболее целесообразном ее использовании и необходимых противоэрозионных мероприятиях. По

густоте расчленения территорию делят на следующие районы: слаборасчлененные ($K < 0,5$), среднерасчлененные ($K = 0,5...1$) и сильнорасчлененные ($K > 1$).

Математическое выражение зависимости интенсивности эрозии от уклона имеет следующий вид:

$$Q = KI^n,$$

где Q – интенсивность эрозии, т/га в год; K – коэффициент пропорциональности; I – уклон, $\mathrm{tg}\alpha$; n – эмпирический показатель.

На паровых полях Молдавии смыв почвы увеличивается пропорционально уклону склона в степени 3,11 ($Q = 0,004I^{3,11}$). В других условиях эмпирический коэффициент имеет иные значения. Его физический смысл, как и коэффициентов в других эмпирических формулах, не расшифрован.

Крутизна склонов определяет систему противоэрозионных мероприятий и вид использования территории. Приближенно зависимость степени проявления эрозии и вида использования территории от крутизны склонов можно охарактеризовать следующим образом:

при крутизне склонов меньше 1° почва не подвергается смыву, эти участки можно использовать под любые культуры, они не требуют никаких противоэрозионных мероприятий;

на участках крутизной 1...3° может проявляться слабый смыв почв, для их защиты от эрозии вспашку следует проводить поперек склонов, а под пар и зябь рекомендуется безотвальная вспашка;

при крутизне склона 3...5°, когда проявляется средний смыв почв, рекомендуются кормовые почвозащитные севообороты с большим участием многолетних трав;

при крутизне склонов от 5 до 8° может проявляться сильный смыв почв; такие участки ограниченно используют в сельском хозяйстве, требуется залужение на бровках балок и оврагов;

при крутизне больше 8° почвы сильно смываются; эти земли до последнего времени считались непахотопригодными, подлежали залужению и закреплению в отдельных местах искусственными сооружениями; в последние годы склоны крутизной от 8 до 15° используют под кормовые севообороты с выполнением специальных агротехнических противоэрозионных приемов и технических сооружений только в условиях высокоинтенсивного сельского хозяйства, обеспечивающего высокую культуру агротехники, в районах, испытывающих дефицит в площадях пахотопригодных почв;

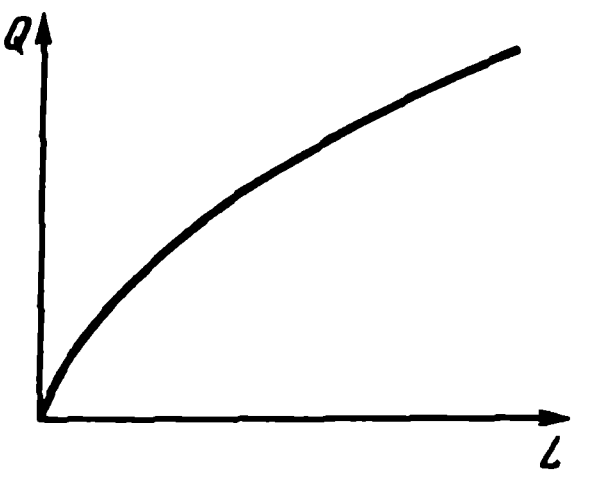


Рис. 11. Зависимость интенсивности эрозии Q от длины склона L

склоны круче 15° не подлежат сельскохозяйственному использованию без проведения специальных мероприятий.

На эрозию почв влияет не только крутизна склона, но и его длина (рис. 11). При большой длине склона его нижняя часть получает больше поверхностных вод, чем верхняя и средняя части, и почвы нижней части длинных склонов эродируются значительно сильнее, чем почвы коротких склонов при той же крутизне. Именно по этой причине наблюдаются овражная эрозия, оползни и обвалы в нижней части склонов холмистых территорий и межгорных понижений. Зависимость интенсивности эрозии Q от длины склонов выражается следующим образом:

$$Q = K\ (L)^m,$$

где K – коэффициент пропорциональности; L – длина склона; m – эмпирический коэффициент, равный 1...2,5.

Зависимость интенсивности эрозии от длины склона особенно сильно проявляется в горных районах, где долины характеризуются длинными склонами. Даже при средней интенсивности дождя (за сутки выпадает 20...30 мм осадков) вследствие стока с длинного склона на его нижнюю часть поступает большое количество воды, приводящее к катастрофическим последствиям. Тот, кто был в горных районах, знаком с этим явлением. Небольшие речки после дождя средней интенсивности длительностью более суток превращаются в огромные бурлящие мутные потоки, которые несут смытую со склонов почву, выкорчеванные с корнями кустарники и деревья и разливаются по улицам селений и городов.

Причина таких явлений в горных районах заключается в том, что на длинных склонах образуются большие водосборные площади, с которых в долины поступают огромные массы воды. В равнинных усло-

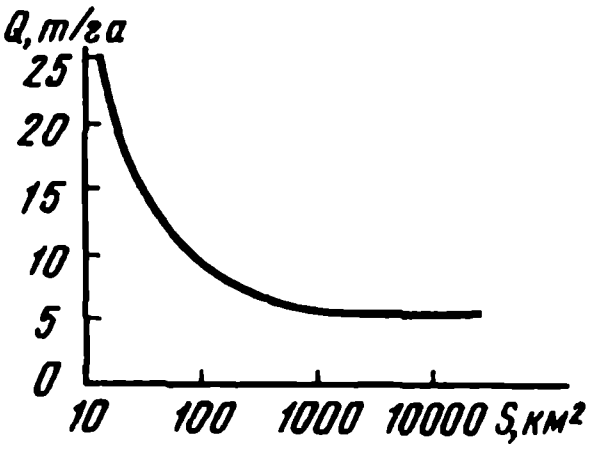


Рис. 12. Зависимость количества наносов на пойме Q от водосборной площади S

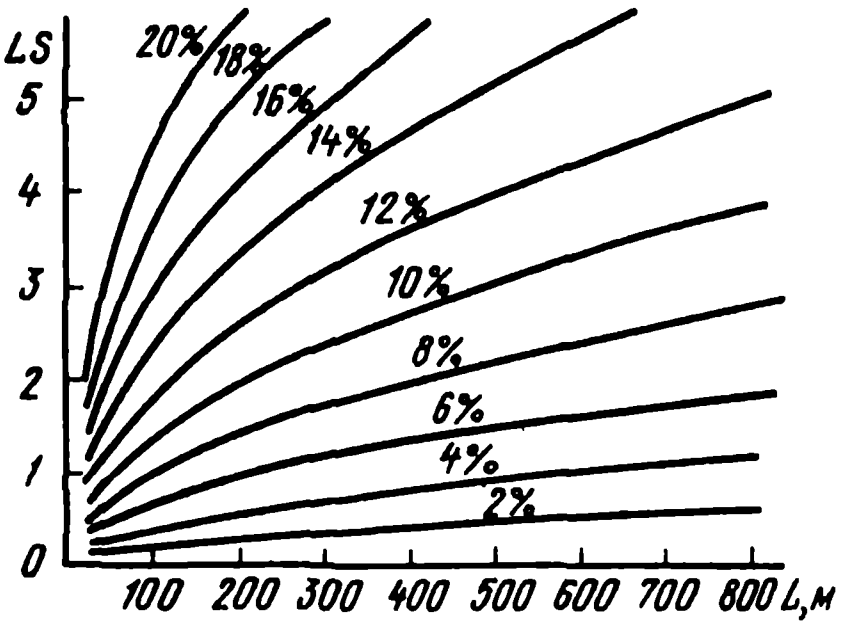


Рис. 13. Комбинированный коэффициент эрозии LS, зависящий от уклона α и длины склона L

виях на коротких склонах таких больших водосборов не образуется, поэтому там у подошв склонов скапливается значительно меньше воды.

Длина склонов определяет размер водосборной площади, а следовательно, площади, с которой сносится мелкозем, и количество осадочного материала, поступающего на пойму. При одинаковой крутизне склонов с увеличением площади водосбора количество поступающего с него материала резко возрастает (рис. 12).

В последнее время разработан ряд эмпирических уравнений, связывающих интенсивность эрозии (объем смываемой почвы) с крутизной и длиной склона. Фактор крутизны склона Q_I выражается уравнением

$$Q_I = 0{,}43 \cdot 0{,}30I \cdot 0{,}043I^2 / 6{,}613,$$

где Q_I – фактор крутизны (зависимость объема смываемой почвы от крутизны склона); I – крутизна склона, %.

Фактор длины склона Q_l выражается уравнением

$$Q_l = (l/22{,}13)^m,$$

где l – длина склона, м; m – показатель степени.

Показатель совместного влияния длины и крутизны склонов на смыв почвы (рис. 13) называется топографическим фактором (фактором рельефа) Q_S. Он характеризуется следующим выражением:

$$Q_S = (l/22{,}1)^m \cdot [n^{1+m} - (n-1)^{1+m}] \cdot (0{,}065 + 4{,}56 \sin I_n + 65{,}4/\sin^2 I_n),$$

где l – длина отрезка склона, м; I_n – уклон конкретного участка склона, %; n – номер этого участка, считая от водораздела; m – безразмерный коэффициент, равный 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 соответственно при крутизне 1; 1...3; 3...5 и >5 %.

Значение фактора рельефа (смыв почвы) определяют из универсального уравнения Уишмейера–Смита:

$$A = RQ_SKCP,$$

где A – смыв почвы, т/га; R – эрозионный индекс дождей; Q_S – фактор рельефа; K – фактор эродируемости почв, т/га; C – коэффициент почвозащитных свойств посевов; P – фактор противоэрозионных мероприятий.

Практически значение фактора рельефа находят по отношению потерь почвы с единицы площади поля длиной l к смыву с эталонной площадки такой же ширины и длиной 22,1 м и уклоном 9 %. Длина склона l представляет собой расстояние от места отложения переносимого материала до начала склона.

Скорость потока v зависит не только от крутизны склона, но и от других факторов – шероховатости поверхности, толщины слоя стекающей воды и др. Приближенно зависимость скорости потока от угла наклона в совокупности с другими факторами характеризуется следующим образом:

$$v = H^{0{,}67} I^{0{,}5} / n,$$

где v – скорость потока, м/с; H – толщина слоя потока, см; I – уклон поверхности, %; n – коэффициент шероховатости.

Коэффициент шероховатости – величина, трудно поддающаяся измерению, поэтому ее приближенные значения известны для малого числа объектов.

Вид поверхности	*Коэффициент шероховатости*
Поверхность пустыни	0,03
Поверхность снега	0,05...0,1
Незасеянная пашня	1,0
Пшеничное поле в период колошения	5,0

На интенсивность эрозии влияет и форма склонов (рис. 14). Это связано с выработкой эрозионными процессами форм с устойчивым эрозионным профилем. Устойчивые эрозионные профили в разрезе имеют вогнутую форму, а их основание находится на плоскости базиса эрозии. В связи с тем что профиль выпуклых склонов более удален от устойчивого эрозионного профиля, такие склоны испытывают более сильное эрозионное воздействие.

Снос почв и горных пород продолжается не беспредельно. Максимальная глубина эрозионных врезов не может быть ниже определенного уровня – базиса эрозии.

Базисом эрозии называется горизонтальная поверхность, на уровне которой прекращается эрозия, то есть ниже которой не опускаются воды поверхностного стока. Базис эрозии совпадает с уровнем водной поверхности водоприемника, расположенного в нижней части склона, или какой-либо впадины, не заполненной водой. Такие впадины часто встречаются в сухих районах.

Различают местный и всеобщий базис эрозии. Местным базисом являются наиболее пониженные элементы местности, например, для оврага, открывающегося в долину реки, базисом эрозии служит уровень реки в межень. Всеобщий базис эрозии – уровень Мирового океана.

Превышение водораздельного пространства над уровнем базиса эрозии называется глубиной базиса эрозии. Чем глубже базис эрозии, тем больше скорость потока и сильнее эрозия почв.

Интенсивность эрозии зависит и от экспозиции склона, которая воздействует на скорость эрозии почв, в связи с тем что почвы склонов разной экспозиции получают разное количество солнечного теп-

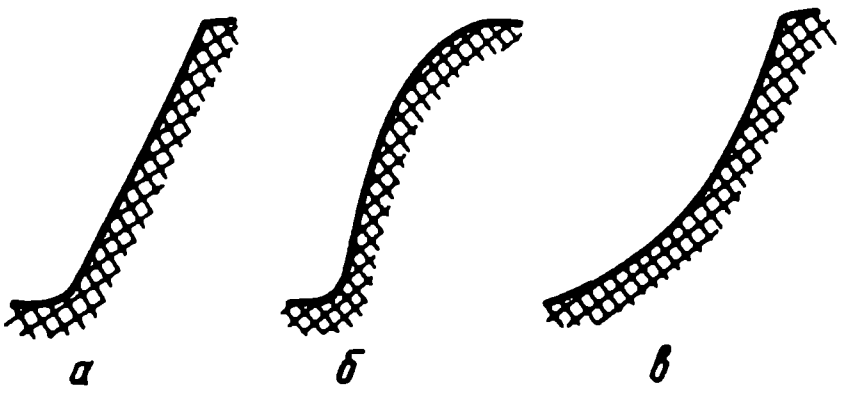


Рис. 14. Формы склонов:

а – прямые; *б* – выпуклые; *в* – вогнутые

ла. Вследствие этого они имеют различия во влажности, тепловом режиме, имеют разные амплитуды температурных колебаний, различаются по скорости выветривания, по составу естественного растительного покрова. Все эти факторы приводят к различиям в скорости эрозии почв, которая в северном полушарии обычно больше на склонах южной экспозиции. 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.

На интенсивность эрозии влияет тип водосбора. Для территории Молдавии коэффициент пропорциональности для прямого типа водосбора равен 1,0, для собирающего – 1,2, а для рассеивающего – 0,8.

Растительный покров. Влияние растительного покрова на скорость эрозии многогранно. Прежде всего, корневая система растений скрепляет структурные элементы почвы и этим препятствует ее размыву и смыву. Многие растительные сообщества имеют гораздо более развитую корневую массу по сравнению с надземной. Это разнообразные травяные сообщества: степные, луговые, горно-луговые. Так, на типичных черноземах зеленая масса составляет 3...4 т/га, а корневая масса – около 20 ц/га (величины даются в сухом весе). Следовательно, масса корней превышает массу надземной части в 5...6 раз. В сухой степи это превышение достигает 10...12 раз, а на горных лугах – почти 100 раз. На горных лугах мощная корневая система образует своеобразный панцирь, предохраняющий почву от размывания и сноса. Поэтому уничтожение естественной растительности в горах в результате пастьбы приводит к катастрофически быстрому разрушению и сносу почвы.

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.

Благодаря корневым системам увеличивается пористость и фильтрационная способность почв. В почвах, густо пронизанных корнями, влага лучше впитывается в почву, эрозия снижается. За счет корневых систем плотность дернины в 1,2...1,7 раза ниже, чем остальной части гумусового горизонта.

В естественных растительных сообществах поверхность почвы покрыта слоем полуразложившегося лиственного опада. Это лесная подстилка или степной войлок. Они обладают хорошей водопроницаемостью и влагоемкостью. Поэтому под пологом леса или в целинной степи не образуется поверхностного стока. При распашке почв этот фактор снижения эрозии исчезает. Растительный опад и стебли растений увели-

чивают шероховатость поверхности почв и в результате этого повышают водовпитывающую способность и снижают эрозию. Кроме того, растительность прикрывает поверхность почвы и служит физической защитой от разрушающего воздействия дождевых капель.

Известно, что сведение тропических лесов и распашка почв вызывают чрезвычайно быстрое разрушение почвенного покрова тропиков вследствие эрозии. Местное население для борьбы с этим явлением издавна применяет особую систему возделывания полевых культур, используя свойство леса защищать почву. Полезные культуры (например, кукурузу) они возделывают на мелких участках — между куртинами, оставляемыми при вырубках леса, или между посаженными древесными растениями, например бананами.

Сельскохозяйственные культуры по-разному защищают почву от ливневой эрозии (табл. 4). Наименьшую почвозащитную эффективность имеют пропашные культуры, затем идут горох, ячмень, овес. Пшеница и рожь лучше защищают почву от эрозии, чем ячмень и овес, значительно более мощным почвозащитным воздействием, чем зерновые, характеризуются посевы трав. На многолетних травосмесях эрозия так же мала, как на целинных участках.

Чем лучше развивается надземная масса растений, тем выше их почвозащитная эффективность, поскольку густой растительный покров ослабляет разрушительное воздействие капель дождя на почву. Кроме того, большей надземной массе соответствует у одной и той же культуры бо́льшая масса корней, скрепляющих почву. Таким образом, созда-

4. Влияние сельскохозяйственных культур на сток и смыв почвы (выщелоченный чернозем, уклон 5°, влажность почвы 18...22 %)

Показатели	Пар	Кукуруза	Озимая пшеница	Стерня озимой пшеницы	Горох	Люцерна
Осадки, мм	66,2	49,5	56,5	46,6	62,6	41,5
Интенсивность дождя, мм/мин	1,7	1,8	2,3	2,2	2,3	1,8
Водопоглощение, мм	65,3	40,1	52,8	37,5	48,5	41,4
Интенсивность водопоглощения, мм/мин	1,6	1,5	2,2	1,5	1,8	1,8
Сток, мм	0,7	9,5	3,7	14,2	14,1	0,1
Смыв почвы с 1 м^2, кг	0,05	0,5	0,02	0,05	0,28	0,001
Мутность стока, г/л	61,3	52,1	3,7	3,6	15,8	0,77
Мутность стока от паровых стоковых площадок, %	100	84,9	6,05	6,0	25,8	1,2
Почвозащитная эффективность, %	0	15	94	94	75	99

вая необходимые условия для произрастания сельскохозяйственных культур, не только обеспечивают получение высоких урожаев, но и защищают почву от эрозии.

Повышение противоэрозионной роли сельскохозяйственной растительности с ростом урожайности показано на рисунке 15.

Животный мир. В ряде случаев животные существенно влияют на противоэрозионную стойкость почв. В одних условиях они усиливают эрозию, в других – существенно уменьшают ее. Например, в районах полупустынь и сухих степей нашей страны резкое увеличение стада сайгаков после введения закона об их охране привело к сильному стравливанию естественной растительности черных земель, что резко усилило развитие оврагов на этой территории. Во многих районах Каракумов к такому же результату приводит чрезмерная нагрузка на пастбища при увеличении поголовья овец.

Деятельность землероев – сусликов, сурков, разрыхляющих почву и создающих норы и бугорки из выбросов, уменьшает эрозию. Дождевые черви, разрыхляя почву, увеличивают фильтрационную способность почв и также способствуют уменьшению эрозии.

Свойства почв. Скорость развития эрозии зависит не только от пере-

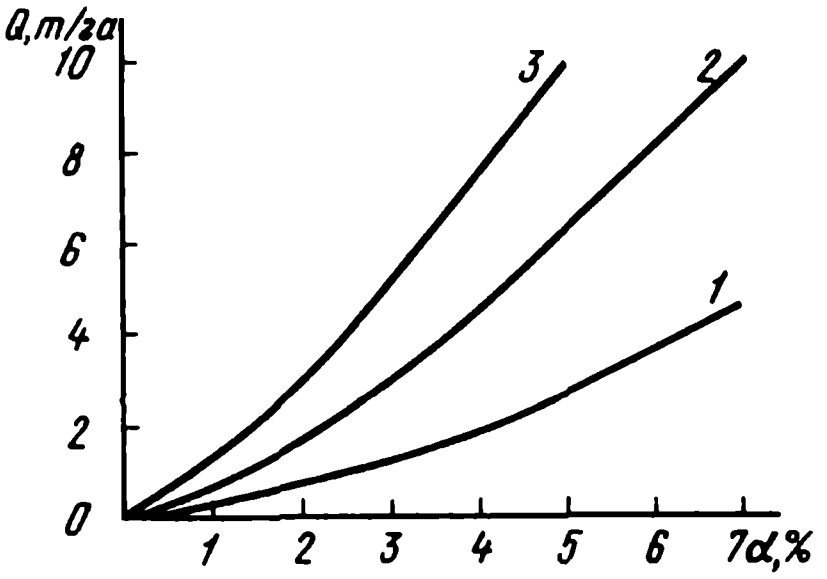


Рис. 15. Влияние уклона поверхности почвы α на ее эрозию Q при различной урожайности кукурузы:

1 – 2,7 т/га; *2* – 1,8 т/га; *3* – 0,9 т/га

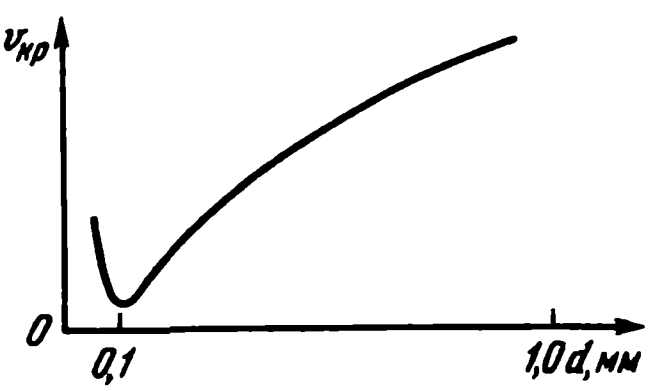
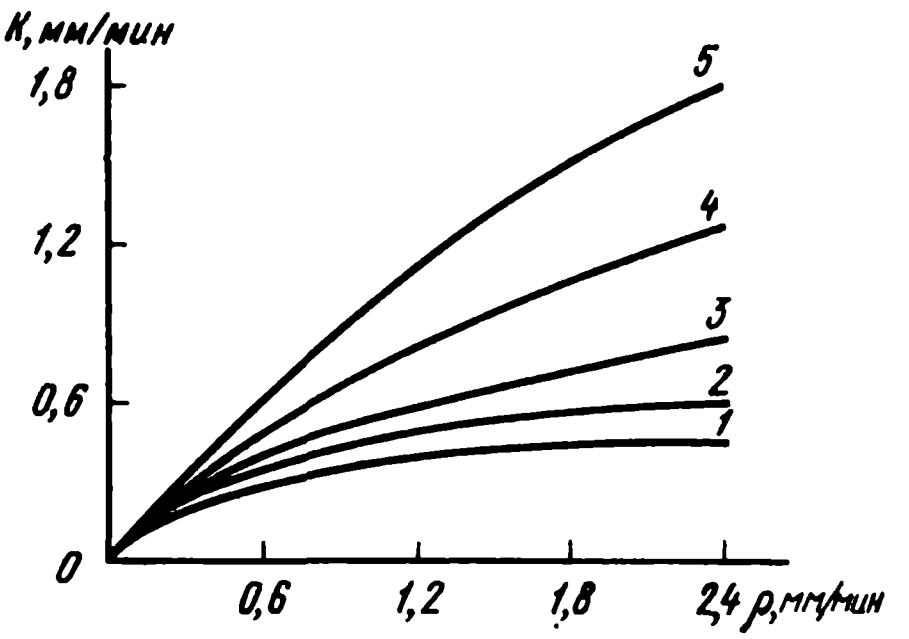


Рис. 16. Зависимость критической скорости потока от диаметра почвенных частиц

Рис. 17. Зависимость интенсивности впитывания воды K подзолистыми почвами разного гранулометрического состава от интенсивности дождя ρ:

1 – глинистые и тяжелосуглинистые; *2* – средне- и легкосуглинистые; *3* – супесчаные; *4* – песчаные; *5* – песчаные слабозадерно-ванные



численных внешних факторов, но и от свойств самих почв, их способности противостоять эрозии. Эта способность почв называется противоэрозионной стойкостью и является величиной, обратной эродируемости: чем выше противоэрозионная стойкость почв, тем меньше скорость их эрозии. На территории нашей страны наибольшей противоэрозионной стойкостью обладают черноземы.

Противоэрозионная устойчивость зависит от многих свойств почв, но прежде всего от гранулометрического состава. Почвы, различающиеся по гранулометрическому составу, начинают подвергаться размыву при разной скорости потока, то есть критическая скорость потока (минимальная скорость, при которой частицы начинают отрываться от почвы) для разных почв различна (рис. 16).

Степень возрастания эродирующей способности потока с увеличением его скорости для разных почв также различна. Наименьшую критическую скорость имеют почвы, обогащенные пылеватыми частицами (размером 0,001...0,05 мм).

Влияние гранулометрического состава на противоэрозионную стойкость почв сложно, многообразно и не вполне изучено.

Непосредственное влияние гранулометрического состава на противоэрозионную стойкость почв должно было бы приводить к увеличению эрозии по мере уменьшения размера частиц, так как удельная поверхность частиц, испытывающих боковой напор воды, при этом возрастает. Однако на самом деле наблюдается противоположная картина: с увеличением размеров частиц почвы ее противоэрозионная устойчивость обычно падает. Это объясняется тем, что на эрозию в большей степени, чем размер частиц, воздействуют прочность связи частиц между собой и фильтрационная способность почв. Чем сильнее частицы связаны между собой и чем выше водопрочность агрегатов, тем большую противоэрозионную устойчивость имеют почвы.

Фильтрационная способность почв разного гранулометрического состава различна (рис. 17). У песчаных почв она во много раз выше, чем у бесструктурных глинистых и суглинистых почв. Однако в том случае, когда глинистые почвы хорошо окультурены, они приобретают хорошую водопрочную структуру и довольно высокую фильтрационную способность. В целом же легкие почвы оказываются обычно более подверженными воздействию эрозии, особенно интенсивное развитие на этих почвах имеют формы овражной эрозии: овраги, промоины, рытвины.

От гранулометрического состава отложений зависят и эрозионные формы микрорельефа. На супесях и песках при эрозии образуются крутостенные V-образные промоины и овраги, на глинистых и суглинистых отложениях — пологие корытообразные потяжины, почти незаметно переходящие в плоские неэродированные участки. На лёссах вследствие вертикальной пористости и трещиноватости формируются ящикообразные овраги с отвесными стенками и плоским днищем.

Противоэрозионная стойкость почв сильно зависит от почвенной структуры. Почвы мелкозернистой структуры имеют фильтрационную способность в 10...30 раз выше, чем бесструктурные почвы, поэтому характеризуются во много раз большей противоэрозионной стойкостью. Однако агрегатный и гранулометрический составы почв взаимосвязаны, то есть структура почв зависит от гранулометрического состава.

Зависимость противоэрозионной стойкости почв от их структуры и гранулометрического состава может быть выражена одним уравнением, а именно, коэффициент противоэрозионной стойкости K прямо пропорционален коэффициенту гранулометрической структурности G и обратно пропорционален коэффициенту дисперсности почвенной структуры, определенному по Н. А. Качинскому:

$$K = G \cdot 100/Q,$$

где G – коэффициент гранулометрической структурности (по А. Ф. Вадюниной), равный отношению содержания частиц диаметром менее 0,001 мм к содержанию частиц более крупных фракций при механическом анализе почв (по Н. А. Качинскому); Q – коэффициент дисперсности, равный отношению содержания частиц диаметром $<$ 0,001 мм при микроагрегатном анализе к содержанию частиц того же размера, полученному при механическом анализе.

Противоэрозионная стойкость почв повышается с увеличением содержания гумуса, поскольку от него зависит степень оструктуренности почв. Именно высокая гумусность и оструктуренность черноземов делают эти почвы наиболее эрозионно стойкими.

Состав поглощенных оснований также существенно влияет на скорость эрозии почв. Преобладание в составе поглощенных оснований катиона Ca^{++} увеличивает водопрочность агрегатов и снижает эрозионность почв. Наличие же в составе поглощенных оснований большого количества катионов Na^{+} и Mg^{+}, вызывая солонцеватость почв, усиливает струйчатую и плоскостную эрозию, приводит к формированию потяжин, образующихся при медленном стекании размокшей тестообразной массы. Это явление объясняется тем, что во время дождя солонцовый горизонт сильно набухает, теряет способность фильтровать воду и из-за отсутствия в нем водопрочных агрегатов быстро переходит в разжиженное текучее состояние и подвергается интенсивной плоскостной эрозии.

Присутствие в почве легкорастворимых солей также снижает противоэрозионную устойчивость почв. При высыхании почв соли выпадают из раствора в виде кристаллов, присоединяя большое количество молекул воды, и, раздвигая почвенные частицы, разрыхляют почвенную массу. При выпадении дождя соли растворяются, поверхностный слой переходит в рыхлое, неустойчивое против эрозии состояние. В отличие от солонцовых "текучих" почв засоленные почвы подвергаются размывной эрозии, образующей промоины и овраги с вертикальными стенками.

На противоэрозионную стойкость почв влияет также их влажность. Сухие почвы имеют более прочную структуру, чем влажные. Поэтому повторные осадки более эрозионно опасны, чем первые. Сила их воздей-

ствия возрастает еще в связи с тем, что влажные почвы обладают меньшей способностью впитывать и удерживать влагу и обусловливают более интенсивный сток.

В приведенных выше формулах была рассмотрена зависимость интенсивности эрозии от разных факторов. Воздействие всех перечисленных факторов одновременно учитывается в формуле, разработанной М. С. Кузнецовым и Г. П. Глазуновым:

$$v_{\Delta pw} = 1{,}55 \sqrt{\frac{m_1 m_2 g}{\gamma_0 n'} \left[\left(1 - \frac{p}{100}\right) \bar{d}_w (\gamma - \gamma_0) (\cos\alpha - \sin\alpha) + \right.} + \left. 1{,}25 K l C_w \right],$$

где $v_{\Delta pw}$ – донная размывающая скорость потока для почвы при ее исходной влажности w, м/с; m_1 – коэффициент, зависящий от присутствия в потоке взвешенных наносов и равный, по данным Ц. Е. Мирцхулавы, 0,85...1,4; m_2 – коэффициент, характеризующий связывающее действие корневых систем растений и зависящий от содержания корней диаметром менее 1 мм; g – ускорение свободного падения, м/с^2; γ и γ_0 – соответственно плотность твердой фазы почвы и воды, т/м^3; n' – коэффициент, характеризующий пульсацию скоростей в потоке и равный 2,3 для потока в поливной борозде; p –порозность почвенных агрегатов, % от объема почвы; $\bar{d}_w$ – средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов после мокрого просеивания почвы (по Саввинову) при заданной исходной влажности w, мм; α – угол наклона русла потока, град; K – коэффициент однородности почвы, рассчитываемый по результатам определения сцепления; l – коэффициент, характеризующий сложение почвы и зависящий от ее плотности; C_w – сцепление почвы исходной влажности w (по Цытовичу) после быстрого затопления ее поверхности и насыщения до водовместимости, т/м^3.

Несмотря на громоздкость приведенной формулы, она учитывает не все эрозионные факторы (например, способ агротехнической обработки, тип севооборота и др.). Вследствие этого противоэрозионную устойчивость почвы того или иного участка находят обычно экспериментальным путем, используя для этого или полив напуском, или дождевальные установки, имитирующие интенсивность осадков и размер капель.

Социально-экономические условия. Колоссальный ущерб народному хозяйству эрозия наносит не только из-за снижения плодородия почв и уменьшения площади обрабатываемых полей, но и вследствие разрушения дорог, хозяйственных построек, плотин, заиления водоемов, речных пойм и русл, разрушения сенокосных и пастбищных угодий, выноса с полей удобрений и ядохимикатов.

Еще В. В. Докучаев в книге "Русский чернозем" указывал на то, что черноземы утрачивают плодородие в результате смыва талыми и ливневыми водами верхнего слоя почвы, а также выдувания его ветром.

Возникновение эрозионных процессов вызывается не только природными, но и социально-экономическими причинами. Оно зависит от способа обработки почв, использования земли, организации территории, характера севооборотов. К группе социально-экономических факторов В. В. Докучаев относил также распашку степей, уничтожение лесов.

Важнейшим мероприятием в области социалистического сельского хозяйства, способствовавшим предотвращению эрозии, было изменение системы землепользования. В колхозах появились условия для введения севооборотов, правильной организации территории. Кроме того, оснащение колхозов техникой позволило перейти к углублению пахотного слоя при тракторной пахоте, широкому распространению зяблевой вспашки и черных паров. Все это увеличивало влагоемкость черноземов, уменьшало коэффициент склонового стока и смыва почв. Эти приемы, а также широкое применение удобрений, посев сортовыми семенами значительно повысили урожайность сельскохозяйственных культур, что привело к снижению интенсивности эрозии благодаря более густому стоянию растений. Снижению эрозии способствовала также ликвидация мелких крестьянских наделов, многие из которых размещались на склонах. Появилась возможность обрабатывать почву поперек склона.

Однако одновременно с устранением старых причин эрозии с развитием мощного индустриального социалистического сельского хозяйства появились новые. В крупных социалистических хозяйствах организация территории часто подчинена обработке полей высокопроизводительной тяжелой техникой и не в полной мере учитывает условия стока и опасность появления эрозии. В ряде хозяйств землеустройством занимались малоквалифицированные специалисты, которые старались главным образом создать лучшие условия для более производительной работы сельскохозяйственных машин. В результате этого в таких хозяйствах поля разбиты на одноразмерные 100-гектарные клетки, которые часто расположены не только на ровных приводораздельных пространствах, но и на пересеченной местности. Границы таких полей обычно нарезаны прямолинейно без учета рельефа, стока и эрозии. Вдоль этих границ создавали полезащитные лесные полосы. Прямолинейность размещения границ полей, лесополос и других элементов организации территории в некоторых хозяйствах является основным принципом при проведении землеустройства. Из-за этого территория покрыта сетью разного рода прямолинейных рубежей, которые во многих случаях способствуют развитию эрозионных процессов.

Требование механизаторов – нарезать максимально большие участки – приводит к включению в пахоту площадей, не подлежащих распашке (склоны, верховья балок и др.).

К настоящему времени распахана практически вся территория лесостепной и степной зон нашей страны, пригодная для сельскохозяйственного производства. Распаханность черноземов Украины составляет 84,6 %, а в некоторых областях достигает 89...90 %. Распаханы черноземы на склонах крутизной до 15° и более, а агротехника на них осталась прежней, разработанной для склонов крутизной $< 8°$.

Противоэрозионные агротехнические приемы, разработанные для склонов крутизной 5...6°, не защищают почву от смыва на более кру-

тых склонах. Например, сооруженные на склонах крутизной 6...8° напашные валы-террасы на 80 % разрушаются стоком талых вод. В этом случае поля через 5...100 м покрываются промоинами глубиной от 0,3 до 1 м. Кроме того, иногда лесополосы и другие прямолинейные элементы организации территории в хозяйствах черноземной полосы европейской территории страны бывают размещены под разными углами к направлению склона с уклонами вдоль этих склонов до 27° и более.

Обработка почвы и посев сельскохозяйственных культур, как правило, проводится вдоль длинных границ полей. Расположение границ полей определяет направление обработки почвы и длину рабочих ходов, от которых зависят сток и эрозия. На вспаханном поле большая часть избыточных вод стекает в борозды, образованные на границе полей при вспашке. Установлено, что скорость потока по бороздам в 2...3 раза выше, чем на ровном склоне той же крутизны, а эродирующая энергия потока в 6...7 раз выше, чем на участках, не имеющих борозд.

Размещение длинных границ полей под углом к направлению склона делает невозможным или нерациональным проведение обработки почвы поперек склона. В результате такой планировки полей гребни в меньшей степени влияют на сток и впитывание воды в почву. С увеличением длины гона вдоль склона или под углом к нему возрастает площадь водосбора борозд, а следовательно, объем протекающей по бороздам воды и разрушающая сила потока.

Полезащитные лесополосы при нарезке 100-гектарных клеток также иногда располагали не в соответствии с формами рельефа и направлением ветров. В черноземной зоне Украины при размещении лесных полос под углом к направлению склона потоки воды, образовавшиеся от таяния сугробов на опушках лесополос, поступают не в лесополосу, а движутся вдоль нее и сбрасываются в балки и овраги. Нарезка крупных полей в условиях расчлененного рельефа приводит к местной концентрации стока искусственными рубежами (лесополосы, дороги, границы полей), а это способствует развитию эрозии. В таких случаях размыв и смыв почвы часто происходят там, где в естественных условиях распределение и сброс стока исключали возможность эрозии. Например, появление оврагов наблюдалось в байрачных лесах в местах сброса потоков воды, собирающейся по границам лесополосы придорожными канавами. Так, на территории совхоза им. Г. И. Петровского Чугуевского района Харьковской области более 30 % действующих оврагов образовались возле лесных полос в результате сброса стока от таяния снежных сугробов.

Усилению эрозии почв способствует неправильная агротехническая обработка их, приводящая к антропогенной деградации (выпахиванию), обесструктуриванию почв. Эрозия усиливается при применении неправильных севооборотов: исключение из севооборотов многолетних трав, неоднократный посев пропашных на одном поле и др.

Тяжелая почвообрабатывающая, мелиоративная и уборочная тех-

ника также неблагоприятно влияет на противоэрозионную устойчивость почв. Она разрушает структуру почв, вызывает их уплотнение, уменьшает коэффициент фильтрации.

2.4. Свойства эродированных почв

Процессы эрозии сильно воздействуют на свойства почв. При слабой эрозии почвы в результате смыва теряют часть гумусового горизонта. Пахотный слой становится менее гумусированным из-за припахивания нижележащего безгумусного горизонта. В почвах, подверженных сильной эрозии, гумусированная часть почв смывается и на поверхности обнажаются малоплодородные горизонты A_2 или B.

При сильной эрозии в результате смыва оструктуренного обогащенного гумусом и элементами питания растений гумусового горизонта почва становится менее плодородной. Структура ее становится глыбистой, резко сокращается пористость, водопроницаемость, ухудшается воздухопроницаемость, возрастает плотность.

Вместе с гумусом при эрозии почв смывается большое количество элементов питания растений. Вследствие этого в пахотном слое черноземов, каштановых и других почв сокращается содержание легкоусвояемых форм азота, фосфора, убывает содержание калия и обменных оснований (табл. 5 и 6). Урожаи сельскохозяйственных растений на них существенно снижаются.

5. Изменение свойств черноземов под влиянием эрозии

Почвы	Гумус, %	Сумма обменных оснований, мг. экв/ 100 г	Гидролизуемый N, мг/100 г	Подвижные	
				P_2O_5, мг/100 г	K_2O, мг/100 г
Черноземы					
слабосмытые	4,8	48	5,1	6,9	22
среднесмытые	4,2	39	4,7	5,4	21
сильносмытые	3,4	38	4,2	4,3	20

6. Содержание некоторых веществ в неэродированных и эродированных каштановых почвах Павлодарской области

Степень эродированности	Содержание в пахотном слое на 1 га			
	гумуса, т	N, кг	K_2O, кг	P_2O_5, кг
Целина, не подверженная эрозии	67	3750	603	710
Слабоэродированная пашня	54	3100	650	505
Сильноэродированная "	21	1480	318	492

В слабоэродированных черноземах содержание гумуса в метровом слое на 5...10 %, а в среднеэродированных – на 30...40 % ниже, чем на черноземах, не подвергшихся эрозии. В гумусе средне- и сильноэродированных почв возрастает содержание фульвокислот, а гуминовые кислоты становятся более гидрофильными, что снижает их структурообразующую способность.

В эродированных черноземах понижены численность микроорганизмов, активность почвенных ферментов (табл. 7), содержание наиболее активных илистой и пылеватой фракций из-за их вымывания. Бесструктурность эродированных черноземов приводит к повышению их плотности, понижению водопроницаемости (табл. 8), что, в свою очередь, по цепной реакции, способствует дальнейшему развитию эрозии.

7. Биологическая активность типичного чернозема разной степени смытости, слой 0...20 см

Степень смытости почвы	Гумус, %	$CaCO_3$, %	Выделение CO_2, мг/100 г почвы	Накоплено нитратов, мг/100 г почвы	Микроорганизмы, млн/г почвы		
					бактерии	актиномицеты	грибы
Несмытая	5,1	0	9,5	38,5	5,0	3,4	0,09
Слабосмытая	3,6	1,6	8,1	15,5	2,7	5,0	0,02
Среднесмытая	2,6	4,8	1,8	11,5	3,5	2,8	0,01
Сильносмытая	0,9	13,2	1,2	6,8	3,6	2,0	0,02

8. Водно-физические свойства типичного чернозема разной степени смытости, слой 0...20 см

Степень смытости почвы	Содержание водопрочных агрегатов >>0,25 мм, % массы почвы	Плотность, г/см^3	Порозность, % массы почвы	Влагоемкость, % массы почвы
Несмытая	44	1,29	51	42
Слабосмытая	38	1,33	49	37
Среднесмытая	31	1,36	48	31
Сильносмытая	20	1,43	43	28

Эрозия вызывает заметные изменения свойств дерново-подзолистых почв. В результате эрозии содержание частиц физической глины (<0,01 мм) в этих почвах снижается, причем содержание илистой фракции (частицы размером менее 0,001 мм) изменяется мало, а облегчение гранулометрического состава происходит из-за снижения содержа-

ния более крупных пылеватых фракций (0,01...0,001 мм). Преимущественный вынос пыли обусловлен тем, что она находится в раздельно-частичном состоянии, тогда как ил связан в агрегатах. Наилучшей транспортабельностью должны обладать микроагрегаты размером 0,01... 0,001 мм из-за их низкой объемной массы.

В средне- и сильносмытых дерново-подзолистых почвах, в которых к пахотному горизонту припахивается подзолистый и иллювиальный, гранулометрический состав может быть более тяжелым, чем в несмытых почвах, так как иллювиальный горизонт обладает более тяжелым гранулометрическим составом по сравнению с верхней частью профиля почв. В зависимости от степени "разбавления" пахотного горизонта материалом нижележащих горизонтов при смыве пахотный горизонт дерново-подзолистых почв может становиться или более легким, или более тяжелым.

Точно так же происходит изменение химических свойств смытых дерново-подзолистых почв. Оно связано не только с выносом тех или иных элементов, но и с припахиванием нижних горизонтов. Вынос прежде всего сказывается на содержании тех веществ, которые в верхнем горизонте находятся в максимальных количествах, а именно на содержании гумуса и азота. Наибольшие потери гумуса и азота происходят в почвах более тяжелого гранулометрического состава (табл. 9). Содержание подвижных фосфора и калия в смытых дерново-подзолистых почвах может увеличиваться из-за повышенного содержания этих элементов в иллювиальном горизонте. Нередко по той же причине при смыве происходит снижение кислотности пахотного горизонта и увеличение в нем содержания обменных оснований.

Водно-физические свойства смытых дерново-подзолистых почв ухудшаются. Вследствие приближения к поверхности иллювиального горизонта увеличивается их плотность, уменьшается порозность, понижается скорость фильтрации. Так, в несмытых дерново-подзолистых почвах Западной Сибири скорость фильтрации за первый час наблюдений составляет около 60 мм/ч, а в среднесмытых почвах – только 25 мм/ч. Вследствие уменьшения водопроницаемости снижается количество воды, впитываемой при весеннем снеготаянии и ливневых осадках. В период снеготаяния в полуметровой толще несмытых дерново-подзолистых почв накапливается 40 мм влаги, слабосмытых – 31, а среднесмытых – 27 мм.

В аридных районах нашей страны, например в сероземной зоне, большое распространение имеет ирригационная эрозия, вызывающая также неблагоприятные изменения в свойствах почв. Под ее влиянием уменьшается мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, азота и фосфора, приближается к поверхности горизонт скопления карбонатных конкреций и гипса, ухудшаются водно-физические свойства (табл. 10).

9. Свойства несмытых и смытых дерново-подзолистых почв Смоленской области

Почва	Глубина, см	Содержание частиц, %		Гумус, %
		<0,001 мм	<0,01 мм	
Несмытая	0...10	4,4	17,6	1,58
	10...20	4,3	16,7	1,26
Среднесмытая	0...10	3,4	8,4	0,75
	10...20	3,1	7,6	0,34
Несмытая	0...10	4,2	18,0	1,55
	10...20	4,4	16,8	1,72
Среднесмытая	0...10	3,3	7,1	0,55
	10...20	3,6	7,4	0,43

Продолжение

Почва	N, %	Подвижные		Сумма обменных оснований, мг · экв/100 г	pH солевой
		P_2O_5	K_2O		
		мг/100 г			
Несмытая	0,15	0,0	10,1	4,1	4,6
	0,12	1,4	8,2	3,9	4,8
Среднесмытая	0,07	5,0	6,5	2,0	4,6
	0,02	5,0	4,7	1,5	4,8
Несмытая	0,25	5,0	4,9	6,0	4,8
	0,15	5,0	5,0	5,9	4,6
Среднесмытая	0,12	5,0	8,2	2,8	4,8
	0,07	5,0	8,2	2,7	4,8

10. Свойства смытых и несмытых сероземов Узбекистана

Почва	Мощность гумусового горизонта, см	Гумус, %	N, %	P_2O_5, %
Новоорошаемая несмытая	71	0,9	0,07	0,22
Новоорошаемая смытая	32...41	0,4...0,5	0,04	0,14
Староорошаемая несмытая	76	1,21	0,09	0,16
Староорошаемая смытая	35	0,78	0,07	0,15

Продолжение

Почва	Верхняя граница гипса, см	Содержание частиц, %		НВ, % веса
		<0,01 мм	<0,001 мм	
Новоорошаемая несмытая	150	32	3	19,4
Новоорошаемая смытая	46...119	33	4	19,4
Староорошаемая несмытая	>100	47	20	20,9
Староорошаемая смытая	>100	39	11	19,8

11. Поправочные коэффициенты для расчета урожая на смытых почвах

Почвы	Степень смытости почв			
	несмытые	слабосмытые	среднесмытые	сильносмытые
Дерново-подзолистые	1,0	0,7	0,5	0,4
Серые лесные	1,0	0,8	0,6	0,4
Черноземы выщелоченные	1,0	0,8	0,5	0,4
Черноземы обыкновенные	1,0	0,8	0,6	0,3

В связи с выносом элементов питания при эрозии, ухудшением водно-физических свойств и другими неблагоприятными изменениями на смытых почвах снижаются урожаи сельскохозяйственных культур. Эрозия приводит к снижению продуктивности почв всех типов (табл. 11). В большинстве случаев на слабосмытых почвах урожай снижается на 10...30 %, на среднесмытых — на 30...50, на сильносмытых — на 50...70 %.

2.5. Диагностические признаки и классификация почв по степени смытости

Диагностические признаки смытости. Степень эродированности почв прежде всего проявляется в морфолого-генетических свойствах почвенного профиля. Ее определяют по уцелевшей от эрозии части почвенного профиля, то есть путем сравнения свойств оставшихся горизонтов с морфологическими особенностями генетических горизонтов ненарушенных целинных почв.

Морфологические особенности эродированных почв и являются диагностическими признаками, указывающими на степень их эродированности. Они положены в основу классификации эродированных почв.

Проявления эрозии почв многообразны, разные исследователи для классификации используют различные признаки. Остановимся на признаках эродированности почв, используемых в полевых условиях.

Признаки степени эродированности почв

I. Непахотные почвы

1. Дерново-подзолистые

слабосмытые – частично смыт горизонт A_1

среднесмытые – полностью смыт горизонт A_1, частично A_2

сильносмытые – полностью смыт горизонт A_2, частично B_1

2. Темно-серые лесные и серые лесные, бурые лесные

слабосмытые – смыто не более половины горизонта A_1

среднесмытые – смыт более чем наполовину или полностью горизонт A_1

сильносмытые – смыт частично или полностью горизонт A_1 или $A_1 A_2$ и частично $A_2 B$

3. Черноземы и каштановые

слабосмытые – смыто меньше половины горизонта А

среднесмытые – смыт более чем наполовину или полностью горизонт А

сильносмытые – смыт частично или полностью переходный горизонт В или АВ (в черноземах)

II. Пахотные почвы (глубина вспашки 22...25 см)

1. Дерново-подзолистые

слабосмытые – смыт частично $A_{пах}$, припахивается A_2, под $A_{пах}$ остаются остатки горизонта A_2B_1 или A_2. Горизонт $A_{пах}$ имеет белесоватый оттенок.

среднесмытые – горизонт $A_{пах}$ смыт полностью, распахиваются A_2 и B_1, пахотный горизонт буроватой окраски

сильносмытые – распахиваются в основном горизонты B_1 и B_2. Горизонт $A_{пах}$ имеет красно-бурый цвет

2. Серые и темно-серые лесные

слабосмытые – гумусовый горизонт A_1, имевший первоначальную мощность 30...40 см, смыт на 1/3, горизонты A_2 и В не припахиваются

среднесмытые – горизонт A_1 смыт на 2/3, в пахотный слой вовлекается горизонт A_2B. Пахотный слой имеет буроватый оттенок

сильносмытые – гумусовый горизонт А смыт полностью

3. Мощные и среднемощные черноземы всех подтипов с первоначальной мощностью горизонтов А + АВ $>$ 50 см

слабосмытые – смыто $<$ 1/3 горизонта А. Горизонт $A_{пах}$ не отличается по цвету от несмытых участков. Мощность подпахотных горизонтов А + АВ уменьшается не более чем на 1/4 по сравнению с неэродированными почвами

среднесмытые – смыт более чем наполовину горизонт А. Пахотный горизонт приобретает слабый буроватый оттенок. Мощность подпахотных горизонтов А + + АВ уменьшается наполовину

сильносмытые – полностью смыт горизонт А и частично АВ. Пахотный слой становится бурым, имеет глыбистое строение, образует корку. Мощность горизонтов А + АВ сокращается на 75 %

4. Черноземы всех подтипов и каштановые почвы с первоначальной мощностью A_1 + АВ $<$ 50 см

слабосмытые – смыто не менее 1/3 первоначальной мощности горизонтов А + АВ. В пахотный горизонт вовлекается верхняя часть горизонта АВ

среднесмытые – смыта большая часть горизонтов А + АВ. Пашня по окраске мало отличается от почвообразующей породы. Под $A_{пах}$ залегают горизонты B_K и B_C

сильносмытые – смыта большая часть горизонтов А + АВ. Пашня по окраске напоминает почвообразующую породу. Под $А_{пах}$ залегают горизонты $В_к$ и $В_с$

Хорошим диагностическим признаком смытых почв служит степень гумусированности пахотного горизонта, которая отражается в интенсивности его темной окраски. По цвету пашни, не покрытой растительностью, легко судить о степени эродированности почв. Это свойство почв четко отражается на аэрофотоснимках. По изображению участков разной интенсивности окраски можно выделить контуры разной степени эродированности.

Классификация смытых почв. Первые классификации эродированных почв основывались на учете степени эродированности, которая определялась по морфологическим диагностическим признакам. Впоследствии появились классификации, в которых, помимо степени эродированности, учитывались принадлежность почвенного покрова к элементам рельефа и характер его сельскохозяйственного использования.

Первая классификация, учитывающая комплексный подход к использованию земель и организации противоэрозионных мероприятий, была разработана министерством сельского хозяйства США.

В нашей стране в настоящее время применяют классификацию, подразделяющую земли по степени подверженности эрозии с одновременным их разделением на категории по сельскохозяйственному использованию и видам противоэрозионных мероприятий.

Классификация земель по степени эродированности

Группа А. Земли, интенсивно используемые в земледелии

I категория. Почвы не подвержены водной эрозии. Сток талых и дождевых вод с поверхности почвы не смывает почву нижележащих участков. Необходимости в проведении противоэрозионных мероприятий и регулировании стока нет. Нужны меры по увеличению естественного плодородия почв.

II категория. Почвы подвержены слабой эрозии или сток с этих земель угрожает нижележащим участкам. Для прекращения и регулирования поверхностного стока достаточно применения простейших агротехнических мероприятий: правильное землеустройство, более глубокая вспашка, рядовой засев склонов, обвалование зяби.

III категория. Почвы подвержены средней эрозии. Для ее предотвращения, кроме вышеуказанных мероприятий, особенно на полях пропашных культур, необходимы: прерывистое бороздование междурядий в более сухих районах и поделка поперек склонов валиков (или окучивание) – в более влажных районах, проведение водоотводных полос в ливневых районах, безотвальная обработка с максимальным сохранением стерни в засушливых районах.

Земли этих категорий используют в обычных для данного хозяйства севооборотах.

IV категория. Почвы, подверженные сильной эрозии. Для ее прекращения необходима следующая организация территории: разбивка буферных полос, нарезка полей чередующимися узкими полосами, проведение террасирования, устройство горизонтальных или наклонных валов-террас с широкими промежутками, допускающими проход сельскохозяйственных машин и орудий.

12. Группировка почв по противоэрозионной стойкости

Степень эродируемости почв	Коэффициент эродируемости, т/га	Почвы	Почвообразующие породы	Гранулометрический состав	Гумус, %
Минимально эродируемые	<1,0	Черноземы выщелоченные, обыкновенные, типичные	Лёссовидные суглинки	тс, г	>6,0
Слабоэродируемые	1,1...1,5	Черноземы всех подтипов, темно-серые, лесные	”	тс, г	4,5...6,0
		Подзолы, дерново-подзолистые	Пески	п	<1,5
	1,6...2,0	Черноземы всех подтипов	Лёссовидный суглинок	лс, сс	3,0...5,0
		Темно-каштановые	”	тс	
Среднеэродируемые	2,1...2,5	Темно-серые лесные	Покровные суглинки	сс	
		Серые лесные	”	тс	
		Светло-серые лесные	Покровные суглинки	тс, г	2,5...4,0
		Каштановые, темно-каштановые	Лёссовидные суглинки	сс, тс	
		Дерново-подзолистые	Покровные, моренные суглинки	г	

Продолжение

Степень эродируемости почв	Коэффициент эродируемости, т/га	Почвы	Почвообразующие породы	Гранулометрический состав	Гумус, %
	2,6...3,0	Каштановые, темно-каштановые	Лёссовидные суглинки	лс, сс	
		Темно-серые лесные	Покровные суглинки	лс	
		Серые лесные	”	лс, сс	2,0...3,5
		Светло-серые лесные	”	сс, тс	
		Дерново-подзолистые	”	тс	
		Дерново-подзолистые	Моренные суглинки	сп, сс, тс	
Сильноэродируемые	3,1...4,0	Светло-серые лесные	Покровные суглинки	сп, лс	
		Дерново-подзолистые	”	сп, лс, сс	1,5...2,5
		Дерново-подзолистые	Моренные суглинки	лс	
		Светло-каштановые	Лёссовидные суглинки	сп, лс	
		Дерново-подзолистые	”	сп, лс, сс	1,5...2,5
		Дерново-подзолистые	Моренные суглинки	лс	
		Светло-каштановые	Лёссовидные суглинки	лс, сс	
Чрезвычайно эродируемые	>4,0	Светло-серые лесные	Покровные суглинки	сп, лс	<2,0
		Дерново-подзолистые	”	”	

Примечание: сп – супесь, лс – легкий суглинок, сс – средний суглинок, тс – тяжелый суглинок, г – глина.

Группа Б. Земли, пригодные для ограниченной обработки

V категория. Почвы, подверженные очень сильной эрозии. Земли этой категории при хорошей защите осваивают под сады, виноградники или в почвозащитных севооборотах с многолетними травами. Их можно использовать для временного возделывания сельскохозяйственных культур. Это пастбища и сенокосы, и сильноэродированные пашни, которые могут быть выделены в почвозащитный севооборот с 1...2 полями зерновых культур и 5...10 полями многолетних трав.

Группа В. Земли, подверженные очень сильной эрозии и непригодные для обработки

VI категория. Земли, непригодные для включения в почвозащитный севооборот. Их можно использовать под сенокосы и пастбища с умеренным выпасом. Требуют поверхностного улучшения.

VII категория. Земли с ограниченным выпасом. Требуют поверхностного улучшения.

VIII категория. Земли, не пригодные ни для земледелия, ни для сенокошения, ни для выпаса. Их можно использовать только под лесные угодья.

IX категория. Земли, не пригодные ни под какие земельные угодья, даже для лесоразведения. Это бросовые земли, в состав которых входят обрывы, каменистые осыпи, бедленды.

Данная классификация интересна тем, что она дает достаточно дробное деление территории по степени эродированности почв и одновременно рекомендации по возможному виду сельскохозяйственного использования.

Заслуживает внимания группировка почв по степени противоэрозионной стойкости, разработанная З. П. Кирюхиной и З. В. Пацукевич. Она основана на учете свойств почв – их генезиса, гранулометрического состава, содержания гумуса, литологии почвообразующих пород (табл. 12). Именно эти свойства наиболее сильно влияют на противоэрозионную стойкость почв. Оценка противоэрозионной стойкости дана через коэффициент эродируемости K.

Эта классификация позволяет дать сравнительную оценку потенциальной противоэрозионной стойкости почв разных природных зон и разного литологического состава, формирующихся в однотипных условиях рельефа.

2.6. Изображение смытых почв на аэрофотоснимках

Эродированные почвы всех типов детально изображаются и легко выявляются на аэрофотоснимках. Эти почвы опознаются прежде всего по тону изображения, который из-за различий в содержании гумуса у почв разной степени смытости варьирует от темно-серого (у слабосмытых почв или совсем не подвергнутых эрозии) до светлого (у сильносмытых почв).

Помимо тона, при дешифрировании почв используют такой важный признак, как конфигурация участков определенного тона изображения. Обычно изображения смытых почв образуют светлые контуры, вытя-

нутые вдоль уступов долин и увалов. Наряду с конфигурацией крупных контуров местности при дешифрировании обращают внимание на контуры отдельных форм микрорельефа: вытянутые формы промоин свидетельствуют о сильно выраженных процессах эрозии, округлые западины говорят об отсутствии стока и эрозии (рис. 18).

Тон изображения почв на аэрофотоснимках анализируют обязательно в сочетании с изучением рельефа, который хорошо прослеживается на стереопарах аэрофотоснимков под стереоскопом. Без учета рельефа могут быть ошибки в дешифрировании, так как разным тоном изображаются не только почвы разной степени смытости, но и почвы, отличающиеся почвообразующими породами или влажностью. Кроме того, по тону изображения смытые почвы склонов могут быть подобны намытым почвам подножий склонов.

Следующий признак эродированных почв — формы эрозионного рельефа. На аэрофотоснимках можно детально проследить все особенности развития эрозионных форм: расположение их на склонах мезо-

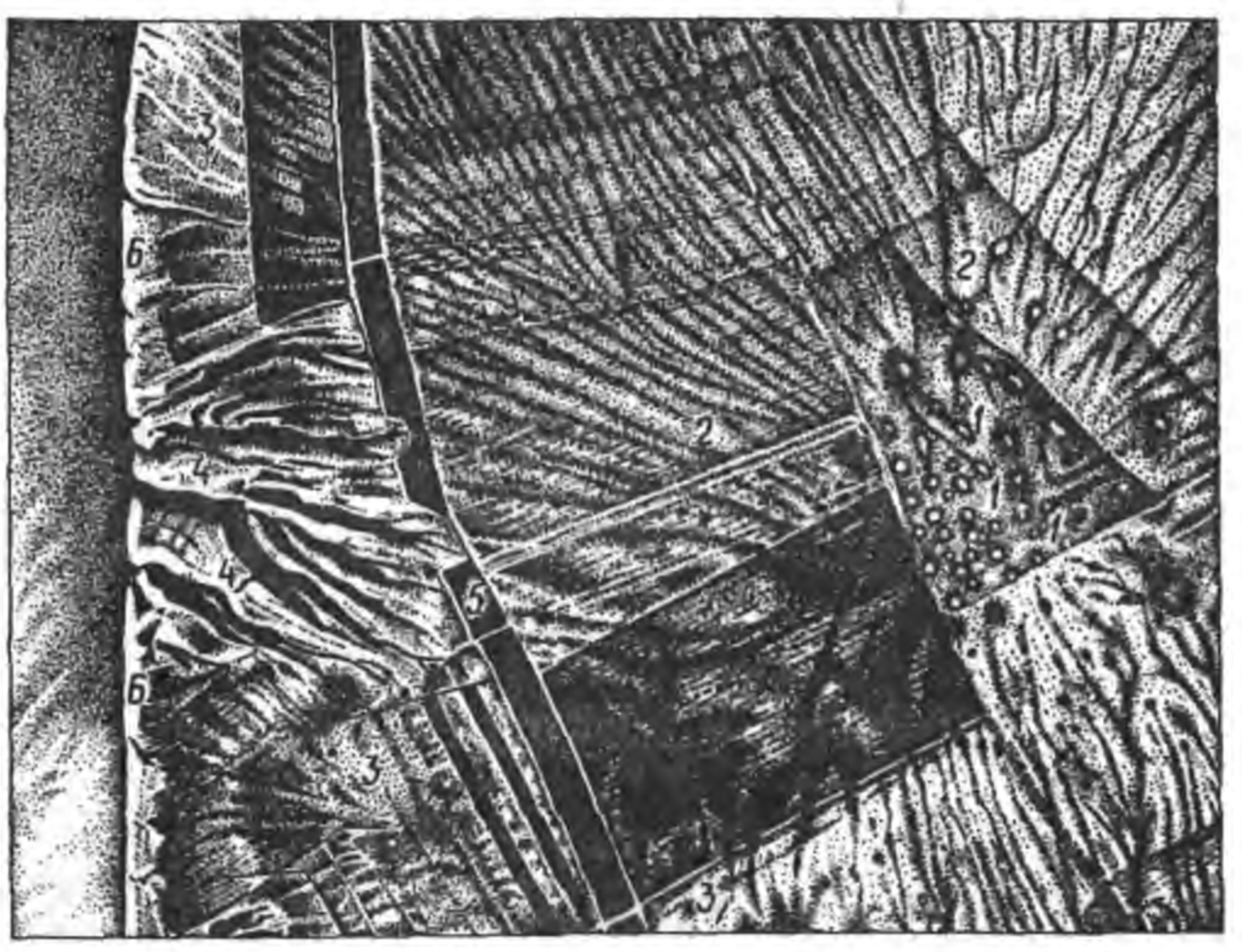


Рис. 18. Аэрофотоснимок распаханного увалистого повышения зоны сухих степей:

1 – плоская вершина увала с сочетанием темно-каштановых тяжелосуглинистых почв, развитых на плоских участках, и лугово-каштановых тяжелосуглинистых почв в западинах глубиной 0,2...0,5 м; *2* – верхняя часть склона увала крутизной 1...5°, изрезанного потяжинами глубиной 0,2...0,3 м, с сочетанием темно-каштановых тяжелосуглинистых слабо- и среднеэродированных почв, развитых на лёссовидных суглинках; *3* – нижняя часть склона увала крутизной 5...15°, изрезанная потяжинами глубиной 0,3...0,5 м, с сочетанием темно-каштановых средне- и сильноэродированных почв; *4* – овраги на склонах крутизной 10...20°; *5* – лесополосы; *6* – обрывы на побережье водохранилища

рельефа, стадию развития, глубину вреза промоин, крутизну и длину их склонов и др.

На аэрофотоснимках хорошо видно, к какому типу по отношению к более древней (материнской) форме рельефа принадлежит молодое эрозионное образование – к долинной, вершинной или склоновой. Среди склоновых эрозионных форм могут быть выделены подбровочные (ниже бровки уступа террасы долины) и надбровочные (выше бровки уступа речной террасы).

Детальное изображение на аэрофотоснимках имеют все стадии развития эрозионных форм, среди которых на склонах обычно различают образования такого последовательного ряда: мелкие промоины, овраги, а на днищах оврагов и балок и на террасах – вымоины, промоины и донные овраги.

При дешифрировании эродированных почв используют и такие показатели, как форму склонов, площадь водосборов, состав растительного покрова, литологический состав почвообразующих пород, вид сельскохозяйственного использования территории.

Важными показателями степени эродированности почв и интенсивности этого процесса служат площадь и тип водосбора (прямой, собирающий, рассеивающий), длина склонов, глубина и густота молодых форм линейного размыва. Чем гуще сеть промоин, тем большую степень смытости имеют почвы.

Исходя из указанных дешифрировочных признаков, на примере почвенного покрова черноземной зоны можно отметить следующие особенности изображения эродированных почв на аэрофотоснимках.

В черноземной зоне дренируемые водораздельные массивы заняты черноземами, эрозия почв здесь не проявляется, поэтому на аэрофотоснимках такие участки изображаются ровным серым тоном, на фоне которого видны округлые, более темные пятна, соответствующие на местности лугово-черноземным почвам, развивающимся в блюдцеобразных впадинах (см. рис. 18).

Пологие коренные склоны и верхние части долинных склонов, сложенных тяжелыми лёссовидными суглинками крутизной 1...2°, заняты комплексами черноземов, не подверженных эрозии, и луговатых черноземов, развитых в потяжинах глубиной 10...20 см. Такие же участки, сложенные более легкими породами, характеризуются отсутствием ориентированных элементов микрорельефа.

На коротких склонах крутизной 1...2° развиты слабоэродированные черноземы в комплексе с луговатыми черноземами.

На длинных склонах крутизной 3...5° на участках с длительно освоенной пашней развиты среднеэродированные черноземы в комплексе с луговатыми черноземами. Здесь встречаются отдельные промоины. На участках, обеспеченных противоэрозионными агротехническими сооружениями, на месте среднеэродированных черноземов развиты слабоэродированные.

К склонам крутизной 5...7° приурочены среднеэродированные черноземы, формирующиеся в комплексе с сильноэродированными черноземами, изрезанными многочисленными промоинами.

Склоны крутизной более 7...10°, как правило, покрыты сильноэродированными и полностью смытыми почвами. На аэрофотоснимках они изображены более светлым тоном, чем почвы предыдущих участков. Большое распространение на таких участках имеют промоины и овраги. У подножий склонов с сильноэродированными черноземами формируются мощные черноземы, в отдельных местах на продолжении промоины они бывают перекрыты пролювиальными наносами, образующими конус выноса мелкозема, поступающего с промоины. В таких местах формируются погребенные черноземы. Из-за малогумусных намытых отложений на аэрофотоснимках они изображаются светлыми размытыми пятнами на фоне темно-серого тона мощных черноземов.

2.7. Эрозионное районирование почвенного покрова

Для разработки противоэрозионных мероприятий большое значение имеет эрозионное районирование территории. Оно может быть проведено по степени эрозионной опасности и по фактической эродированности почв.

Изучение степени эродированности почв — трудоемкий процесс. Поэтому его проводят лишь для отдельных хозяйств при крупномасштабном картировании почв.

Выделение целых природно-административных районов с различной эродированностью земель менее трудоемко. Оно осуществляется на основе изучения комплекса физико-географических показателей и почвенно-эрозионных карт отдельных хозяйств. В связи с этим данный вид эрозионного районирования осуществляется чаще и представлен более полным набором карт и схем.

Первые известные схемы эрозионного районирования для отдельных областей территории европейской части СССР, составленные на основе почвенно-геоморфологических и геолого-геоморфологических исследований, принадлежат С. С. Соболеву и А. С. Козменко. Районирование территории страны по основным факторам эрозии с целью выбора мероприятий по борьбе с эрозией осуществлено под руководством С. И. Сильвестрова. Согласно этому районированию в черноземной зоне европейской территории СССР выделено 11 округов (рис. 19). Позднее С. И. Сильвестровым были разработаны региональные системы противоэрозионных мероприятий. Он впервые применил шкалу балльных оценок по всем основным факторам эрозии и сделал попытку их комплексного учета для получения объективных данных об эрозионной опасности в тех или иных районах, которые различаются степенью организационно-хозяйственной сложности или характером мелио-

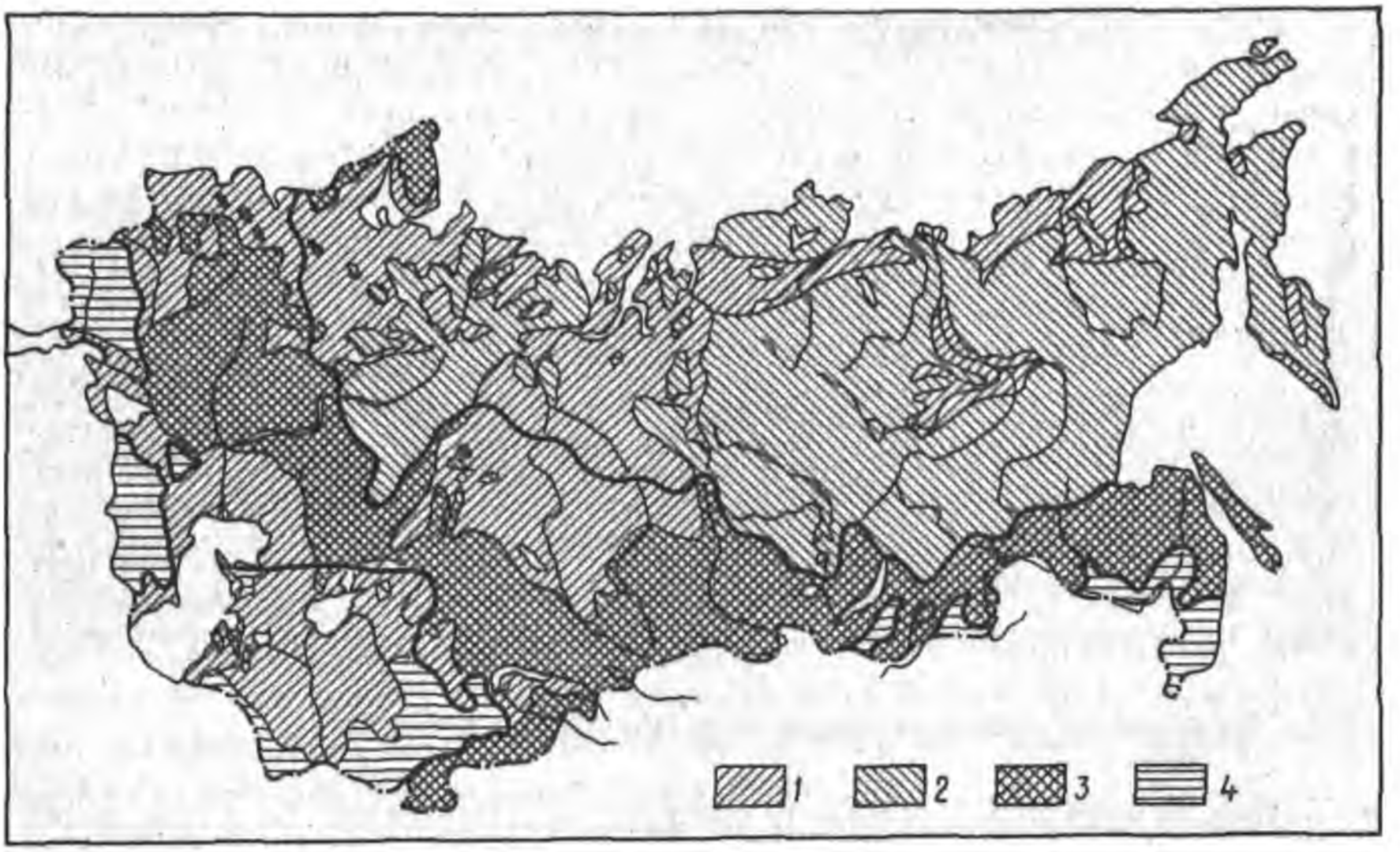


Рис. 19. Районирование территории СССР по эрозионной опасности земель:

1 – эрозионнобезопасные и весьма слабо эрозионно опасные зоны; *2* – зоны возможного проявления эрозии от стока талых вод; *3* – от стока талых и дождевых вод; *4* – от стока дождевых вод

ративной направленности противоэрозионного действия, или тем и другим. По каждому из районов даны дифференцированные рекомендации, направленные на предотвращение эрозии.

Наиболее мелкими единицами районирования являются районы и подрайоны. Территория эрозионного района характеризуется одинаковой эродированностью почв, близкими почвенно-климатическими и геоморфологическими условиями и однотипными противоэрозионными мероприятиями. К настоящему времени составлены довольно детальные карты эрозионного районирования на всю территорию СССР. Например, на территории черноземной зоны Украины выделено 18 эрозионных районов и 86 подрайонов.

2.8. Прогноз эродируемости почв

Правильная организация сельскохозяйственного производства на эрозионно опасных территориях требует разработки прогнозов эрозии почв при возделывании тех или иных сельскохозяйственных культур и противоэрозионных мероприятий при проектировании орошения, когда на поля планируется подача дополнительной воды различной дождевальной техникой.

Для предсказания последствий этих мероприятий предложены различные математические зависимости, оценивающие возможный смыв почв. Математизация прогноза эрозии проходила довольно сложным путем и до последнего времени не имеет окончательного решения. Историю развития методов математического прогнозирования можно разделить на четыре этапа: 1) использование простейших методов статистической обработки первичных материалов; 2) выявление отдельных эмпирических зависимостей с использованием математического аппарата, создание математических моделей влияния на эрозию уклона, длины склона, водовпитывающей способности почв и др.; 3) логико-математическое моделирование, разработанное на основе физического анализа; 4) построение различных априорных математических моделей, создаваемых методами, опирающимися на дедуктивный подход и интуитивную оценку изучаемого явления,, выработанную опытом исследователя, и предназначенных для объяснения конкретных наблюдаемых процессов и их распространение на будущую обстановку.

Существующие модели включают множество трудновычисляемых коэффициентов. Многие из них содержат степенные зависимости от факторов, тогда как сами факторы изменчивы в пространстве и времени. Это очень осложняет построение математических моделей эрозии, которые обладают малой точностью.

Однако разработка моделей эрозии почв развивается и совершенствуется, и некоторые из них имеют широкую известность.

Прежде всего следует отметить формулу Ц. Е. Мирцхулавы (1978), выражающую зависимость смыва почв ($q_{x_2 т}$ в т/га в год) от количества осадков, для участка, имеющего единичную ширину и длину от водораздела до конца эродируемой части склона:

$$q_{x_2 т} = 11 \cdot 10^{-3} \gamma \omega x d \left[\frac{308 \, (\sigma n_0)^{0,6} i^{0,7} m I^{0,8} x_2^{1,6}}{v_{\Delta дон}^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{13 \cdot 10^{-6} v_{\Delta дон}^{3,32}}{\sigma n_0 i^{1,16} m^{2,32} I} - x_2 \right] \frac{T}{x_2},$$

где γ – объемная масса почвогрунтов в состоянии полного водонасыщения, т/м^3; ω – средняя частота пульсационной скорости; d – средний диаметр микроагрегатов (отрывающихся отдельностей), приведенный к диаметру шара равного объема; σ – коэффициент стока; n_0 – коэффициент гидравлического сопротивления; i – средний уклон поверхности; m_1 – коэффициент, учитывающий отклонение движения расчетного слоя воды от реального; I – средняя интенсивность осадков, м/с; x_2 – расстояние от водораздела до конца эродируемой части склона, м; $v_{\Delta дон}$ – допускаемая донная неэродирующая скорость водного потока; T – продолжительность избыточных осадков, то есть время, в течение которого слой выпавших осадков превосходит слой воды, впитывающейся почвой.

Для прогноза смыва почвы стоком талых вод часто используют формулу Государственного гидрологического института

$$M_{sp\,\%} = h^n_{p\,\%} a b k_i,$$

где $M_{sp\,\%}$ – модуль стока наносов за период весеннего половодья (т/га) заданной вероятности превышения $P\%$; $h_{p\,\%}$ – слой стока за период весеннего половодья (см) заданной вероятности превышения $P\%$; a, n – параметры, зависящие соответственно от типа ручейковой сети на склоне и агротехнической обработки; b – коэффициент, учитывающий агротехнический фон предшествующего года, влияющий на сток (зяблевая вспашка, озимь, стерня); k_i – коэффициент, отражающий влияние крутизны склона.

Одним из наиболее простых эмпирических математических выражений, полученных на основе наблюдений на стоковых площадках, является универсальное уравнение смыва почвы Уишмейера–Смита. Оно имеет следующий вид:

$$A = RKILCP,$$

где A – смыв почвы с единицы площади; R – фактор осадков в единицах годового эрозионного индекса осадков, равный сумме произведений кинетической энергии дождевых осадков слоем более 1/2 дюйма (дюйм равен 12,2 мм) на их максимальную тридцатиминутную интенсивность (для упрощения расчетов эрозионный индекс делят на 100); K – фактор эродируемости почв, равный отношению количества смытой почвы с эталонного участка к единице эрозионного индекса осадков (за эталонный участок принят склон крутизной 4,5° и длиной 22,1 м, содержащийся под паром с обработкой вдоль склона); I – фактор крутизны склона, численно равный отношению количества смытой почвы со склона данной крутизны к количеству почвы, смытой с участка крутизной 4,5° при одинаковой длине склона; L – фактор длины склона, равный отношению количества почвы, смытой со склона данной длины, к количеству почвы, смытой с участка длиной 22,1 м при одинаковой крутизне; C – фактор севооборота, равный отношению количества почвы, смытой с поля при данном севообороте и принятой системе обработки почвы, к смыву почв с такого же поля, находящегося под черным паром; P – фактор почвозащитных мероприятий, равный количеству смытой почвы с поля, на котором применяют противоэрозионные мероприятия, к количеству почвы, смываемой с поля, на котором обработку ведут вдоль склона.

Наглядной формой прогнозных моделей эрозии почв служат прогнозные карты. Опыт составления таких карт мал. Наиболее основательная методическая работа по их составлению проделана на географическом факультете МГУ под руководством М. Г. Заславского. Здесь была составлена карта прогноза среднегодового смыва почв с паровых полей Молдавии.

Методика составления прогнозных карт эрозии заключалась в определении эрозионной опасности земель, отличающихся типом почв, составом почвообразующих пород, степенью эродированности почв, крутизной склона и другими природными особенностями, и нанесении контуров этих земель на карту. Для каждого из контуров этой карты был дан прогноз эрозии почв.

Эрозионная опасность земель определялась по четырем первым факторам формулы Уишмейера–Смита, а именно по эрозионному индексу осадков, эродируемости почв, крутизне и длине склонов.

На первом этапе по материалам 10...15-летних циклов наблюдений были определены средние многолетние эрозионные индексы дождевых осадков Молдавии с максимальной тридцатиминутной интенсивностью. На массивах, проектируемых под орошение, дополнительные расчеты проводили с учетом количества воды, подаваемой оросительными системами.

На основе этих расчетов составляли карту многолетних годовых индексов осадков в сумме с нормами дождевания. При разных вариантах оросительных норм должны быть составлены соответствующие варианты карт эрозионных индексов осадков.

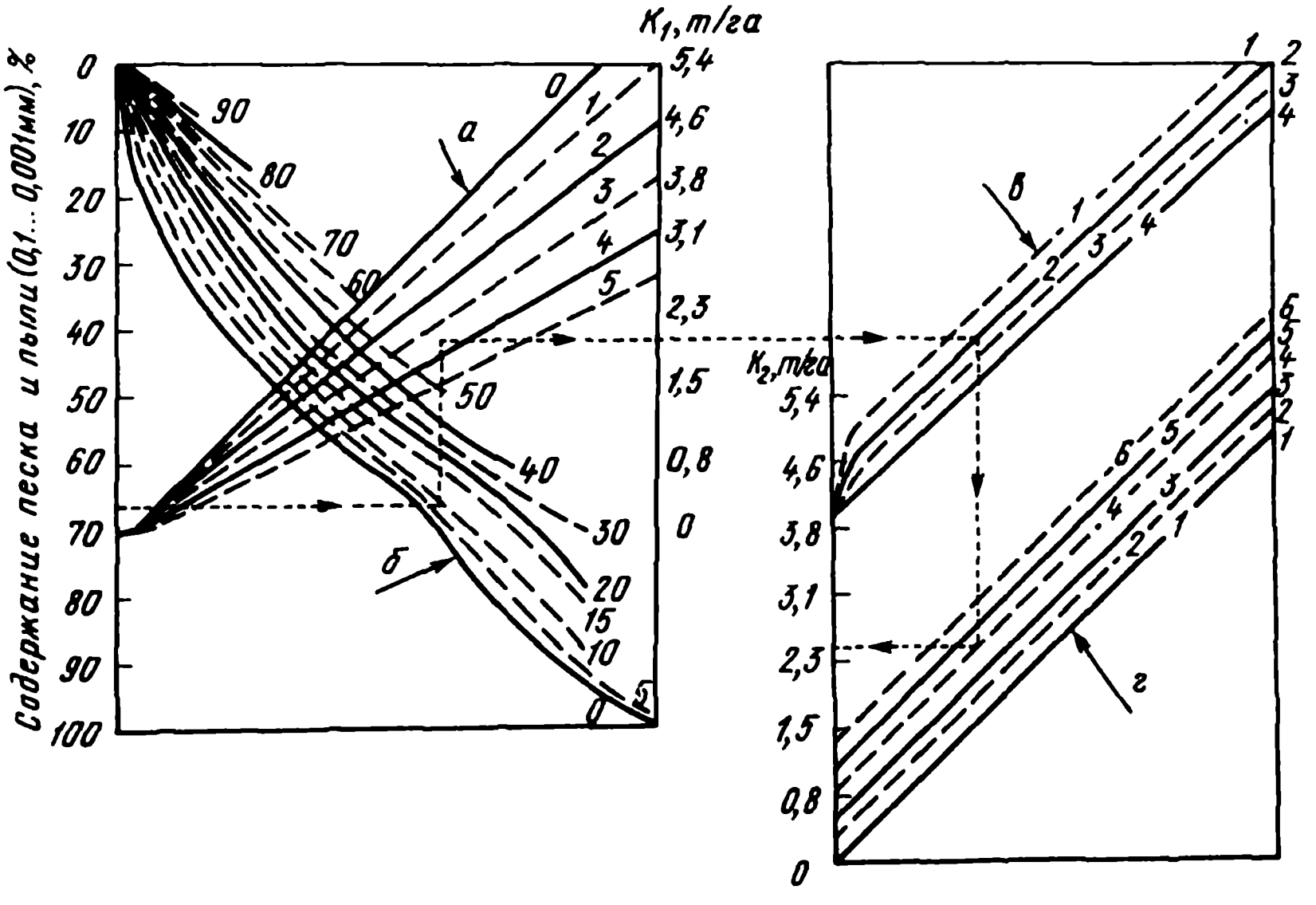


Рис. 20. Номограмма Уишмейера, Джонса, Кроса для определения показателей эродируемости почвы:

а – содержание гумуса, %; *б* – содержание песка, %; *в* – содержание водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм, % (*1* – > 50; *2* – 50...25; *3* – 25...10; *4* – < 10 %); *г* – водопроницаемость, мм (*1* – > 4; *2* – 4...3; *3* – 3...2; *4* – 2...1; *5* – 1...0,5; *6* – < 0,5); K_1 – эродируемость почв в зависимости от механического состава и содержания гумуса; K_2 – эродируемость почв с учетом всех пяти факторов. Стрелками показан ход вычислений

Определение второго фактора при прогнозировании эрозии сводится к выявлению эродируемости почв различных контуров территории, изображенных на карте. Эродируемость почв определяют по номограмме Уишмейера, Джонса, Кроса (рис. 20), которая учитывает следующие пять свойств почв: 1 – суммарное содержание фракций мелкого песка и фракции пыли (0,1...0,001 мм); 2 – содержание песчаной фракции (1...0,1 мм); 3 – содержание гумуса; 4 – степень оструктуренности (содержание водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм): 5 – водопроницаемость почв.

Эти свойства были взяты из фондовых картографических материалов Молдавии. Полученные данные были подставлены в номограмму, и по ним была вычислена эродируемость почв в т/га. Ход этих вычислений имеет следующий вид.

Допустим, что в почве содержится 65 % частиц фракций 0,1...0,01 мм. Находим эту точку на оси ординат левой части номограммы и от нее параллельно оси абсцисс ведем линию до пересечения с пучком кривых содержания в почве фракций 0,1... 1 мм. В исследуемой почве содержание данной фракции составляет 5 %. От этой точки восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой содержания в пахотном слое гумуса. В нашем случае в почве содержится 2,3 % гумуса. Ведем линию до пересечения с этой кривой. Затем параллельно оси абсцисс продолжаем линию до пересечения с концом левой части номограммы, на которой нанесены значения фактора эродируемости K_1.

Таким образом, фактор эродируемости вычисляется по данным содержания гумуса и гранулометрического состава. В рассматриваемом случае получим значение K_1, равное 2 т/га.

Далее продолжаем последнюю линию по правой части номограммы до пересечения с линиями содержания в почве водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм. В рассматриваемой почве их содержится 29 %. Затем опускаем линию к оси абсцисс до пересечения с линиями, характеризующими водопроницаемость почв. В рассматриваемом случае водопроницаемость почвы составляет 2 мм/мин. После пересечения с этой линией ведем линию к оси ординат, на которой показаны значения эродируемости почв с учетом всех пяти показателей – K_0. Найденное значение равно 2,2 т/га. Таким образом, использование при расчетах прогноза агрегатного состава и водопроницаемости позволяет уточнить значение эрозионной опасности почв, полученное при учете первых факторов. Найденное значение говорит о том, что если почва находится под паром, обрабатывается вдоль склона при его уклоне 4,5° и длине 22,1 м, то на каждую единицу эрозионного индекса будет теряться от эрозии 2,2 т/га в год. При эрозионном индексе, равном 26, который наиболее характерен для Молдавии, годовая потеря почв составит 62,4 т/га.

Следующий этап составления прогнозных карт – это учет влияния на эрозию крутизны и длины склонов, отличающихся от стандартных (4,5° крутизна и 22,1 м длина). Данные по крутизне и длине склонов берут с карты уклонов. Влияние крутизны и длины склонов учитывают с помощью эмпирической формулы, полученной американскими исследователями:

$$F(IL) = \frac{\sqrt{L_T\,(1{,}36 + 0{,}97I + 0{,}1385I^2)}}{\sqrt{L\,(1{,}36 + 0{,}97I_C + 0{,}1385I_C^2)}},$$

где $F(IL)$ – фактор крутизны I и длины склона L; L_T – длина стандартной площадки, м; I_C – крутизна стандартной площадки, %.

Путем наложения карты эрозионного индекса дождевых осадков на карту эродируемости разных типов и подтипов, а также карту рельефа были выделены контуры земель Молдавии с различной количественной оценкой их эрозионной опасности. Для этой территории М. Н. Заславским было выделено шесть градаций по степени опасности смыва почвы с пара за год при его обработке вдоль склона: 1 – $<$50 т/га, 2 – 50...100, 3 – 100...150, 4 – 150...200, 5 – 200...250, 6 – более 250 т/га.

Итак, обобщение данных по количеству воды, поступающей на тот или иной природный контур, изображенный на карте, сведений об эрозионной стойкости почв, их водовпитывающей способности и защитной роли агротехнической обработки дает возможность составить представление об эрозионной опасности разных почв, нанести их на карту. Учет всех этих факторов эрозионной опасности – дело сложное, так как до сих пор не на все массивы почв имеется характеристика необходимых для расчетов свойств почв. Поэтому обычно для определения эрозионной опасности пользуются только левой частью номограммы. Однако даже использование номограммы в целом пока дает довольно приближенные результаты. Американские службы используют больший набор данных, а именно все показатели, которые входят в формулу Уишмейера – Смита, то есть, помимо приведенных в номограмме параметров, учитывают влияние на противоэрозионную стойкость почв разных сельскохозяйственных культур и почвозащитное действие противоэрозионных мероприятий. Но при таком расчете возникают свои сложности прогноза, поэтому усовершенствование методики составления прогнозных почвенных карт является одной из проблем специалистов сельскохозяйственного производства.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит сущность эрозии почв? 2. Какие формы и виды эрозии выделяют? 3. При каких условиях возникает ирригационная эрозия почв? 4. Какие природные и антропогенные факторы влияют на эрозию почв? 5. Влияют ли свойства почв на степень развития эрозии? 6. Назовите отличительные признаки и свойства эродированных почв. 7. По каким признакам классифицируют смытые почвы? 8. Какие особенности имеет изображение эродированных почв на аэрофотоснимках? 9. На какие регионы делится территория СССР по степени эрозионной опасности? 10. На каких принципах основан прогноз эрозии почв?

Глава 3. ДЕФЛЯЦИЯ ПОЧВ

3.1. Сущность дефляции почв

Дефляция – разрушение и снос почв ветром. Она происходит в том случае, когда скорость ветра достигает значения, при котором его разрушительная сила превышает силу противодефляционной устойчивости почвы. Рассмотрим, как это происходит.

Движение частиц почвы ветром начинается под влиянием взаимодействия динамических и статических сил, возникающих при обтекании их поверхности воздушным потоком. При движении потока воздуха на шарообразную частицу, лежащую свободно на поверхности почвы, действуют несколько сил: тяжести, лобового напора воздуха, атмосферного давления, сцепления, подъемная сила.

Если суммарное значение силы тяжести частицы, атмосферного давления и силы сцепления оказывается приближенно равной силе лобового напора воздуха, частица начинает двигаться, волочась по поверхности. Если сумма силы тяжести частицы, атмосферного давления и сцепления оказывается меньше подъемной силы, частица поднимается в воздух.

Подъемная сила частицы возникает вследствие того, что в пределах высоты, равной диаметру частицы, скорость движения воздуха различна. Поток, поступающий под нижнюю часть шарообразного комочка, из-за шероховатости поверхности почвы имеет меньшую скорость и бóльшую плотность. В результате этого над частицей образуется область пониженного давления, под частицей – повышенного. Возникает подъемная сила, действующая на частицу (рис. 21).

Минимальная скорость ветра, при которой начинается отрыв, подъем и перенос в воздушном потоке частиц почвы, называется критической (пороговой) скоростью. Для разных почв критическая скорость ветра различна (табл. 13).

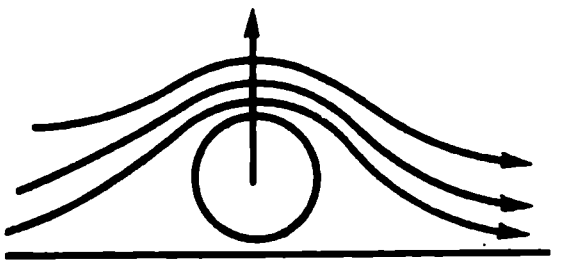


Рис. 21. Схема воздействия воздушного потока на почвенную частицу

13. Пороговая скорость ветра на высоте 10...15 см

Почва, район наблюдения	Название почвы по гранулометрическому составу	Пороговая скорость ветра, м/с
Темно-каштановая, Кустанайская обл.	Супесь	3,0...4,0
Темно-каштановая, Павлодарская обл.	Легкий суглинок	4,0...4,5
Чернозем карбонатный, Башкирия	Тяжелый суглинок	5,5...5,7

Следует отметить, что на пороговую скорость ветра, а значит, и на интенсивность дефляции, влияет множество факторов: климатические условия, гранулометрический состав почвы, плотность минеральных частиц (удельная масса твердой фазы), сила сцепления с другими частицами, защищенность поверхности почв, хозяйственная деятельность человека.

Зависимость критической скорости ветра, или скорости дефляции почв, от размера минеральных частиц (гранулометрического состава) почв сложна, так как, помимо прямого влияния размера частиц на сопротивляемость почвы дефляции, существует множество косвенных взаимозависимостей, которые могут приводить к прямо противоположному эффекту. Остановимся сначала на чисто физических закономерностях зависимости критической скорости ветра от ряда факторов.

Критическая скорость ветра (м/с), по М. И. Долгилевичу, выражается следующим уравнением:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{1{,}05d\,(\gamma - P)\,g + 1{,}57P_0 + 1{,}57K_0P_{сц}}{K_\rho}},$$

где d – диаметр частиц, м; γ – плотность частиц, г/см^3; P – плотность воздуха, г/см^3; g – ускорение свободного падения, 9,8 м/с^2; P_0 – атмосферное давление, г/см^2; $P_{сц}$ – сила сцепления частиц, г/см^2; K_0 и K_ρ – коэффициенты, определяемые экспериментально.

Более простое выражение кртической скорости ветра (м/с) дал У. Чепил:

$$v_{кр} = \sqrt{dR},$$

где d – удельный вес частиц; R – диаметр частиц.

Приведенные формулы справедливы для почвенных частиц $d > 0{,}05$ мм. Для частиц $d < 0{,}05$ мм эта зависимость имеет иной вид, а именно с уменьшением диаметра частиц при размере их $< 0{,}05$ мм $v_{кр}$ вновь начинает расти (рис. 22). Данное явление связано с увеличением сил сцепления между мелкими частицами.

Различной критической скоростью ветра для частиц разного диамет-

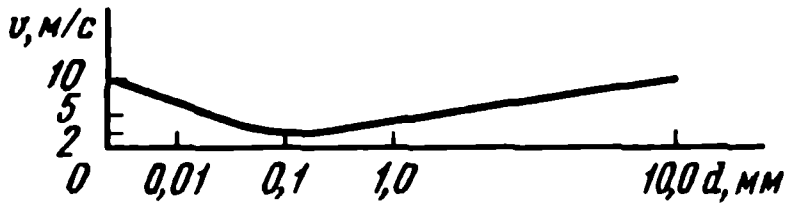


Рис. 22. Зависимость критической скорости ветра на высоте 100 см от диаметра частиц почвы

ра объясняется сортировка минеральных частиц по их диаметру в аридных районах. Эта сортировка приводит к образованию песчаных и глинистых пустынь, а также лёссовых отложений на окружающих пустыни территориях. Примером могут служить пустыни Средней Азии. Сортировка отложений по гранулометрическому составу на пески и глины объясняется тем, что при преобладающей скорости ветров в Каракумах от 2 до 5 м/с на месте остаются частицы менее 0,01 и более 1 мм, а крупнопылеватые частицы размером 0,01...0,05 мм выносятся с территории на большое расстояние, измеряемое сотнями и тысячами километров, и оседают в виде лессов. Именно в результате такой сортировки образовались отложения лессов на периферии пустынь. При сильных ветрах частицы крупнее 0,5 мм перемещаются на незначительное расстояние, вследствие чего образуются песчаные бугры и барханы, а мелкие глинистые частицы из-за большой силы сцепления образуют плотные корки и остаются на месте между буграми. Они могут перемещаться лишь с водными потоками в наиболее низкие места. Это явление наблюдается в период весенних и осенних дождей. Именно таким путем на месте разливов мутных потоков образуются такыры — глинистые отложения с плоской поверхностью.

В переувлажненном состоянии такырная масса не поддается разрушающему воздействию ветра, а при иссушении такыры приобретают сцементированность и также не дефлируются. Именно с этими свойствами связано устойчивое сосуществование в пустынях такыров и перемежающихся с ними песчаных почв.

Однако в основной части сельскохозяйственных районов нет таких контрастных условий, характеризующихся резкой сменой иссушения и увлажнения, а поверхность почвы покрыта растительностью. Поэтому резкой дифференциации почв по гранулометрическому составу — на глинистые и песчаные — в соответствии с формами рельефа — обычно не наблюдается. Вследствие этого на практике при расчете критической скорости ветра специфическим поведением частиц диаметром меньше 0,01 мм пренебрегают и берут средний диаметр частиц. Обычно частицы диаметром больше 1 мм называют ветроустойчивыми, а частицы диаметром меньше 1 мм — дефляционно неустойчивыми. Необходимо отметить, что дефляционная устойчивость частиц зависит не только от их размера, но и от удельной массы, которая определяется их минералогическим составом (табл. 14).

Минералы, преобладающие в почвах (кварц и полевые шпаты), по удельной массе различаются мало, поэтому при расчетах этими различиями пренебрегают и для минеральной массы почв принимают $v_{кр}$ = = 4 м/с.

14. Критическая скорость ветра для минералов с разной удельной массой (диаметр частиц $d = 0{,}25$ мм)

Минерал	Удельная масса, г/см^3	$v_{кр}$, м/с
Гипс	2,30	3,7
Полевые шпаты	2,60	4,0
Кварц	2,65	4,0
Слюды	2,85	4,2
Роговая обмотка	3,17	4,4

Иначе обстоит дело с органическим веществом почв – гумусом, удельная масса которого значительно меньше, чем минералов. Из-за этого скорость дефляции сильно гумусированных почв может возрастать. Особенно велики скорости разрушения ветром осушенных торфяников, которые после распашки интенсивно развеваются.

Наибольшее развитие дефляция этих почв получила в Белоруссии, в основном на территории Полесья. Она начала проявляться 20...25 лет назад в связи с быстрым развитием осушительных мелиораций и распашкой торфяных почв. Понижение уровня грунтовых вод вызвало пересыхание поверхностных слоев торфа, сведение леса привело к образованию обширных открытых площадей и повышенной деятельности ветра.

Дефляция на торфяных почвах Полесья проявляется весной, в начале лета, реже осенью. Ей способствуют сильные ветры, малое количество осадков, низкая относительная влажность воздуха, слаборазвитый покров сельскохозяйственных культур. Ветровая эрозия начинается при скорости ветра на высоте флюгера 8 м/с и более; такие ветры преобладают весной и осенью. Дефляция обычно носит локальный характер, проявляясь на отдельных полях, однако при более сильных ветрах возникают пыльные бури, охватывающие большие территории, продолжительностью до нескольких суток. Основная масса почвенных частиц имеет диаметр, не превышающий 1 мм, 90 % выносимого с полей мелкозема перемещается на высоте до 40 см от поверхности почвы.

Дефляции подвергаются чаще всего поля пропашных культур, в меньшей степени яровых зерновых, еще менее – озимых. Многолетние травы надежно защищают почву от дефляции. В севообороте, где озимые занимают три поля, яровые хлеба – два, травы – два и пропашные – три, средний ежегодный вынос торфа составляет около 1 т/га.

3.2. Факторы дефляции почв

Климат. Подверженность почв дефляции определяется большим числом факторов (рис. 23), среди которых один из основных – это климат.

Зависимость ветровой эрозии почв от климата прослеживается

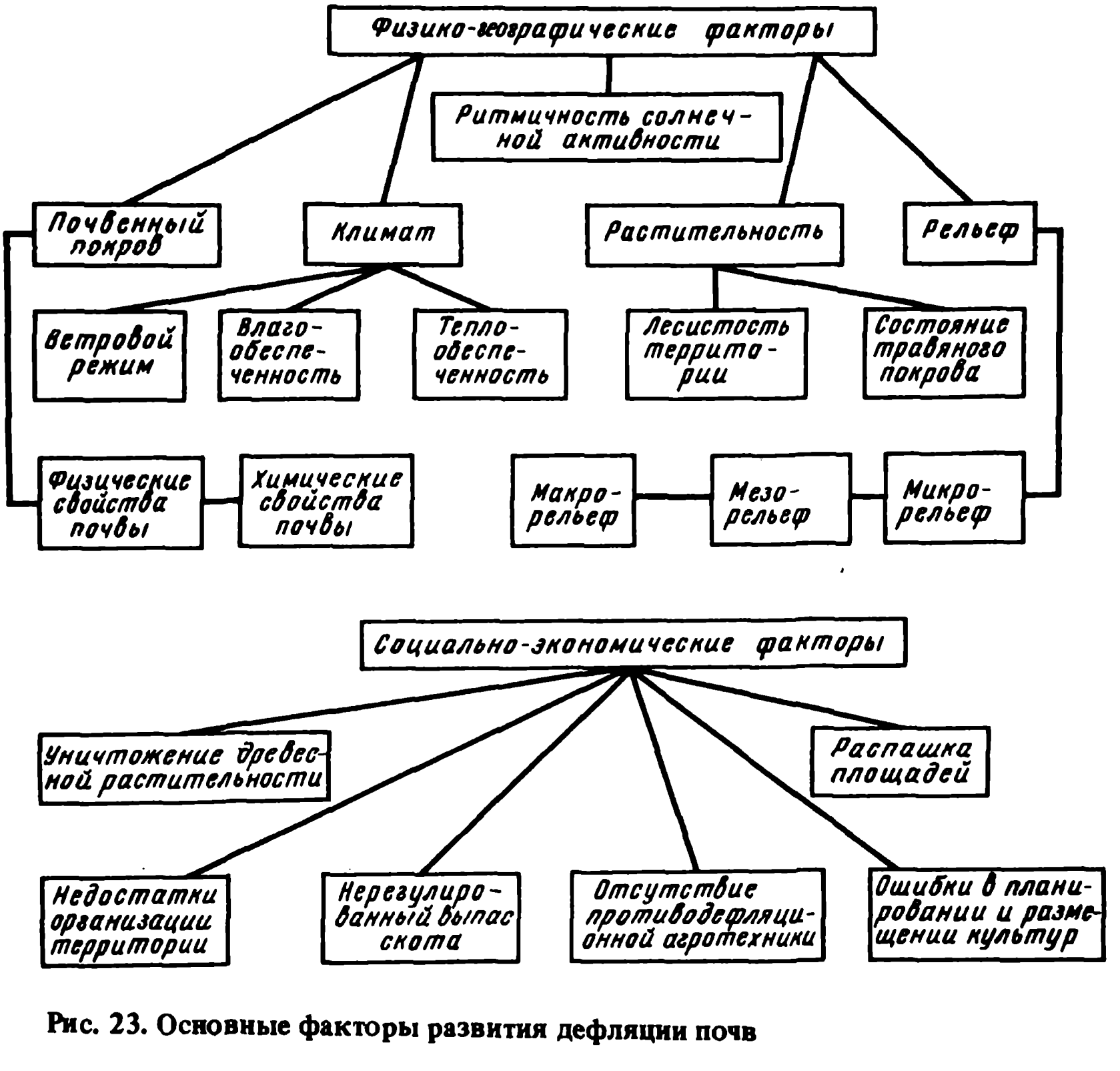


Рис. 23. Основные факторы развития дефляции почв

очень четко и связана с количеством осадков (с увлажнением почв) и температурой, которые в совокупности определяют степень засушливости климата. С ростом засушливости климата и уменьшением увлажненности территории дефляция почв возрастает. Следовательно, дефляция почв носит зональный характер.

Показателем увлажненности территории служит индекс увлажненности $K_у$ – отношение количества атмосферных осадков P к испаряемости E, то есть

$$K_у = P/E.$$

Величина, обратная увлажненности, называется индексом сухости

$$K_с = E/P.$$

По значению индекса увлажненности выделяют следующие пояса потенциально возможной ветровой эрозии: $K_у \geqslant 1$ – пояс отсутствия дефляции, $K_у = 1...0{,}3$ – пояс возможной дефляции, $K_у \leqslant 0{,}3$ – пояс сильно выраженной дефляции.

Дефляция в сильной степени зависит от скорости ветра. Климатический фактор КФ дефляции почв в целом (температура, влажность, скорость ветра) определяется следующим отношением:

$$КФ = 34{,}483 v^3 / (P - E)^2,$$

где v – скорость ветра; $(P - E)$ – увлажненность территории, равная разности количества осадков P и испарения E. В лесостепной зоне эта разность мала, поэтому ею иногда пренебрегают, и тогда климатический фактор эрозии $КФ = 34{,}483 v^3$.

Скорость ветра – один из сильнейших факторов дефляции почв. В результате того что кинетическая энергия ветра прямо пропорциональна кубу его скорости, дефляционная работа ветра, имеющего, например, скорость 4 м/с, будет превышать работу ветра, имеющего скорость 2 м/с, не в два, а в 8 раз.

Зависимость количества перемещаемой почвы Q (г/см) от скорости ветра, по У. Чепилу, имеет следующий вид:

$$Q = C \frac{P}{g} v^3,$$

где C – константа данной почвы, зависящая от ее гранулометрического состава, агрегатного состояния, шероховатости поверхности; P – плотность воздуха, г/см^3; g – ускорение свободного падения, см/с^2; v – скорость ветра, см/с.

Итак, с увеличением скорости ветра после достижения ею критического значения разрушающая энергия возрастает чрезвычайно быстро (табл. 15).

15. Количество переносимого эолового материала (кг, %) через фронт шириной 100 м на темно-каштановых супесчаных почвах и его распределение в приземном слое воздуха (данные Л. Ф. Смирновой)

Высота над поверхностью почвы, см	Скорость ветра, м/с							
	3,5		4,5		6		7	
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
0...5	369	92	891	67	1656	70	4680	68
5...10	21	5	266	20	349	15	1748	25
10...15	6	2	107	8	254	11	288	4
15...20	1	1	34	3	67	3	145	2
20...25	0,5	–	22	2	12	1	45	1
0...25	197,5	100	1320	100	2338	100	6906	100

Массовое перемещение ветром мелкозема, сносимого с почвы, называется ветропесчаным потоком эолового материала. Как видно из таблицы 15, основная масса материала (до 90 %) переносится в приземном слое воздуха на высоте до 10 см. Количество переносимого ветром материала уменьшается с увеличением высоты. Содержание

в воздухе минеральных частиц называется *несущей способностью ветропесчаного потока.*

По мере удаления от края дефлируемого поля ветропесчаный поток все более насыщается мелкоземом. Это насыщение не беспредельно, а происходит до какого-то определенного значения. Максимальное насыщение ветропесчаного потока равно 36,2 т/(га · ч). Это значение постоянно для каждой почвы. После достижения насыщения ветропесчаного потока происходит выпадение материала в осадок, поэтому на дефлированном поле участки сноса чередуются с участками наноса.

Расстояние (м), на котором происходит насыщение и разгрузка песчаного потока, у почв разного гранулометрического состава различно: глинистые почвы – 2000, тяжелосуглинистые – 1500, среднесуглинистые – 1000, легкосуглинистые – 500, супесчаные – 250.

Перемещение эолового материала в пределах ветропесчаного потока осуществляется по-разному. Различают пять типов перемещения частиц почвы, соответствующих определенным формам дефляции: 1) эфлюкция – передвижение среднепылеватых частиц (0,1...0,5 мм) волочением и скачкообразно; 2) экструзия – передвижение более крупных частиц (комочков) перекатыванием за счет ударов (бомбардировки) мелкими; 3) детрузия – сдвиг, соскальзывание с возвышенных микроучастков (с глыб, валиков, гребней); 4) эфляция – передвижение за счет подъема в воздух; 5) абразия – разрушение комочков от ударов более мелкими частицами.

Рельеф. В отличие от эрозии дефляция наблюдается как на склонах, так и на ровных участках. При анализе влияния рельефа на дефляцию необходимо рассматривать его макро-, мезо- и микроформы.

Макрорельеф (горные хребты, возвышенности) создает защиту почв от ветров одних направлений и резко усиливает энергию воздействия ветров других направлений. Например, в Туркмении территория подгорной равнины Копетдага, расположенная между горными хребтами Большой Балхан и Малый Балхан, защищена от ветров северного и южного направлений и совершенно не прикрыта от воздействия ветров западного и восточного направлений. Потоки воздуха, поступая в горловину между хребтами с запада или востока, уплотняются и в результате этого достигают здесь огромной скорости, вызывая развевание и сортировку поступающих со склонов пролювиальных отложений. Именно из-за сильных западных и восточных ветров данная территория называется Межбалханским коридором.

Такое же воздействие на формирование сильных ветров северного и южного направлений оказывает Тургайский прогиб в Казахстане. Хорошо известен преобладанием западных и восточных ветров Армавирский коридор, представляющий собой равнину, простирающуюся между Ставропольской возвышенностью и Донецким кряжем. Явления, подобные тем, что происходят в указанных областях, наблюдаются в крупных речных долинах. Например, сильным ветрам, дующим вдоль

Дона, обязаны непрекращающаяся дефляция и наличие массивов незарастающих песков в его долине, в частности возле впадения рек Песковатки и Толучеевки.

В горных массивах может наблюдаться смена направления ветров в течение суток: днем ветер дует в сторону гор, ночью – вниз с горных склонов. Это явление также стимулирует дефляцию почв.

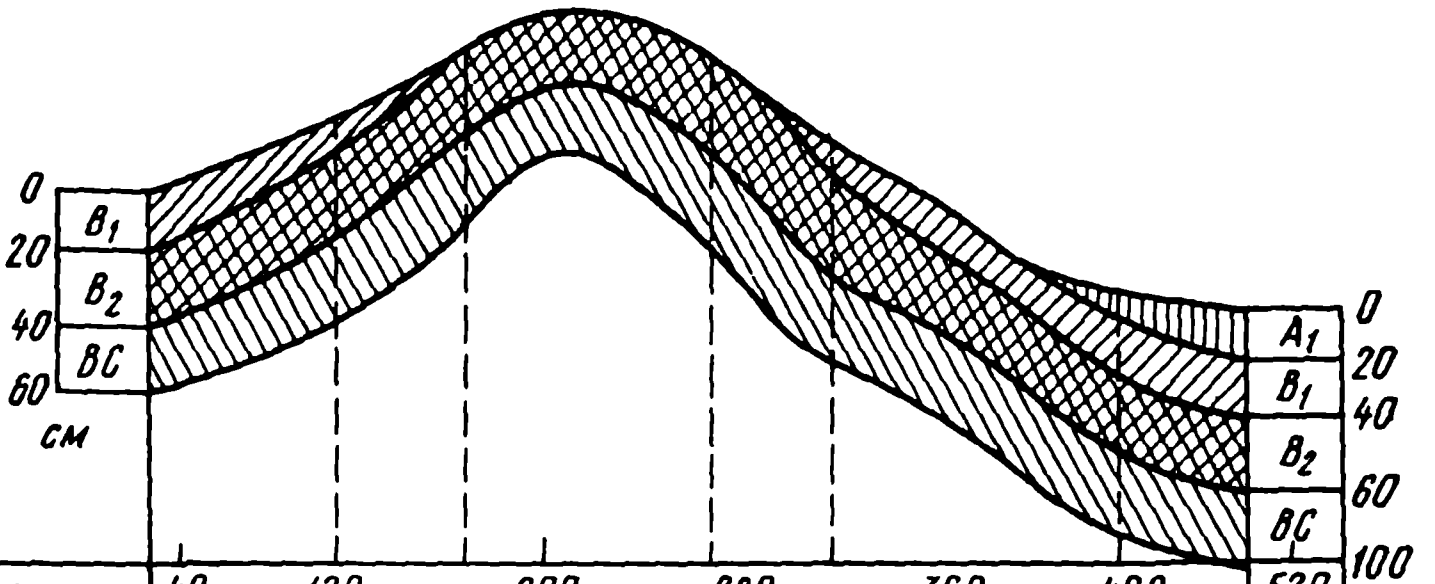
Мезорельеф (превышения от 1...5 до 30...50 м) существенно влияет на дефляцию почв разных участков отдельных полей. Мезорельефом обусловлена более интенсивная дефляция ветроударных склонов, характеризующихся резким увеличением развевающей силы ветрового потока, и меньшая дефляция на заветренных склонах, на которых скорость и несущая способность ветра падают и происходит отложение эолового материала.

Особенно сильное дефлирующее воздействие ветрового потока на почвы наблюдается на верхних частях склонов и вершинах холмов и бровках речных долин (рис. 24).

Влияние рельефа на воздушный поток подчинено законам аэродинамики, согласно которым формы мезо-, микро- и нанорельефа представляют собой элементы шероховатости, оказывающие тормозящее воздействие на воздушный поток. В связи с этим скорость ветра у поверхности почв ниже, чем на некотором удалении от нее.

Изменение скорости ветра с высотой над каждым элементом рельефа оказывается различным. Микронеровности воздействуют на воздушный поток на небольшую высоту, тогда как крупные препятствия вызывают изменения скорости больших слоев воздушного потока.

Микрорельеф, лесополосы и другие препятствия воздействуют на приземный слой воздушного потока следующим образом. Вверх по склону, в направлении движения воздушного потока скорость ветра и его



Расстояние, м		40	120	200	280	360	400	520
Степень выдутости		Слабая	Средняя	Сильная	Средняя	Слабая		Эталон
Крутизна, град		1,5	3,5		3	2		1
Содержание гумуса, т/га	0...25см	46,5	33,8	19,6	30,5	33,8		91,6
	0...50см	80,0	45,4	21,5	42,2	45,4		107,8

Рис. 24. Влияние рельефа на развитие дефляции почв

несущая способность возрастают, вниз по склону — снижаются. Такое изменение скорости ветра объясняется уменьшением живого сечения воздушного потока, движущегося к верхней части склона, и увеличением его сечения при движении вниз по склону. В результате этого наветренные склоны, особенно их верхние части, оказываются сильнодефлированными, а заветренные склоны не затронутыми процессом дефляции.

По этой же причине в районах бугристо-котловинных песков ветровой поток, поднимающий частицы песка с днищ котловин выдувания, со все возрастающей силой поднимает их к слону бугров, а достигнув вершины, он изменяет направление на горизонтальное и вновь увеличивает живое сечение. Вследствие этого ветер здесь резко теряет скорость и несущую способность и разгружает песчаный материал на вершине бугра и на верхней части заветренного склона. Этим явлением объясняется наличие бугристо-котловинного рельефа, элементы которого не только разрушаются, но и непрерывно растут. С увеличением скорости ветра в верхней части наветренного склона связано то, что дефлированность почв возрастает от подножья положительных форм рельефа к их вершине, тогда как подверженность почв водной эрозии в этом направлении падает. Более сильная дефлированность почв вершин мезорельефа объясняется также большей иссушенностью на них почв и изреженностью растительного покрова.

Микрорельеф и нанорельеф, несмотря на малые размеры их элементов, существенно влияют на дефляцию почв. Их воздействие на дефляцию связано с влиянием на скорость ветра в приземном слое воздуха. Их взаимодействие с воздушным потоком подобно воздействию других элементов шероховатости поверхности: комочков почвенной структуры, стерни, всходов растительности и др. Возле поверхности гребнистой пашни скорость ветра в 3,5 раза ниже, чем у поверхности прикатанной почвы. В результате снижения скорости ветрового потока элементами поверхности полевых угодий (гребни, микроборозды и др.) дефляция почв, подвергнутых специальной обработке, резко снижается.

Элементы микрорельефа, оказывая сопротивление ветровому потоку, приводят к образованию с заветренной стороны вихрей, которые со временем рассеиваются. В результате этого часть кинетической энергии воздушного потока после взаимодействия с выступами микро- и нанорельефа (гребни отвальной вспашки, глыбы, комья) переходит в тепловую, часть расходуется на работу по отрыву и перемещению частиц почвы в микроборозды между гребнями пашни.

Роль микро- и нанорельефа, создаваемого отвальной вспашкой, в защите почв от дефляции заключается в осаждении переносимого по полю мелкозема. Это явление наблюдается, когда скорость воздушного потока у вершины гребня пашни или другого выступа незначительно превосходит критическую силу сопротивления почвы дефляции. Когда критическая энергия сопротивления почвы дефляции незначитель-

но превышает критическую силу ветрового потока, мелкозем с развеваемых вершин гребней пашни поступает в понижения между ними и там оседает. В результате этого дефляционного переноса материала с пашни не происходит. При сильном ветре гребни пашни не могут противостоять развевающей силе ветра и защитить почву от переноса материала. Мелкозем не оседает между гребнями пашни и при их разрушении сносится с поля, происходит дефляция почв.

Эрозия и дефляция часто проявляются на одних и тех же массивах пашни, особенно на возвышенных участках – бровках долин, выпуклых частях склонов. Это явление объясняется не только большой ветроударной силой воздушного потока, уплотняющегося на склонах повышений, но и большой податливостью дефляции эродированных почв. Именно с данным явлением связан тот факт, что, несмотря на большую размывающую силу потока воды в нижних частях длинных склонов, наиболее эродированные почвы наблюдаются на вершинах положительных форм рельефа.

Растительность. Она является самым мощным фактором, противодействующим дефляции. На почвах, покрытых целинной растительностью, дефляция практически отсутствует. Влияние растительности обусловлено тем, что она снижает скорость ветра в приземном слое воздуха, очищает поток от минеральных частиц и лишает его их бомбардирующей энергии, скрепляет почву корнями. Древесная растительность исключает дефляцию полностью, травянистая резко ее снижает. Древесные насаждения предохраняют почву от дефляции не только на месте их произрастания, но и, снижая скорость ветра, оказывают почвозащитное воздействие на некотором расстоянии от них. Именно на использовании этого явления основано создание систем полезащитных полос (см. гл. 6).

Защитное действие травянистой растительности распространяется на меньшее расстояние, чем древесной. Главное полезащитное назначение отводимых на поле травяных клиньев – предотвращение дефляции почв на занимаемой ими территории. Чем гуще травянистая растительность, чем мощнее ее корневая система и чем больше ее высота, тем лучше она защищает почвы.

Потери почвы с черного пара в 125 раз больше, чем с поля под многолетними травами. По данным Л. Ф. Смирновой, в Павлодарской области с незащищенной зяби сносится до 5 см почвы в год, тогда как стерня и корни в количестве 40...70 т/га почти полностью защищают почву от дефляции.

Свойства почв. Скорость дефляции почв зависит от многих факторов, связанных со свойствами самих почв, и прежде всего от тех, которые влияют на их ветроустойчивость.

Ветроустойчивость почв – это свойство, обратное дефлируемости (податливости дефляции). Она характеризуется критической скоростью ветра, при которой начинается перенос почвенных частиц, а также коли-

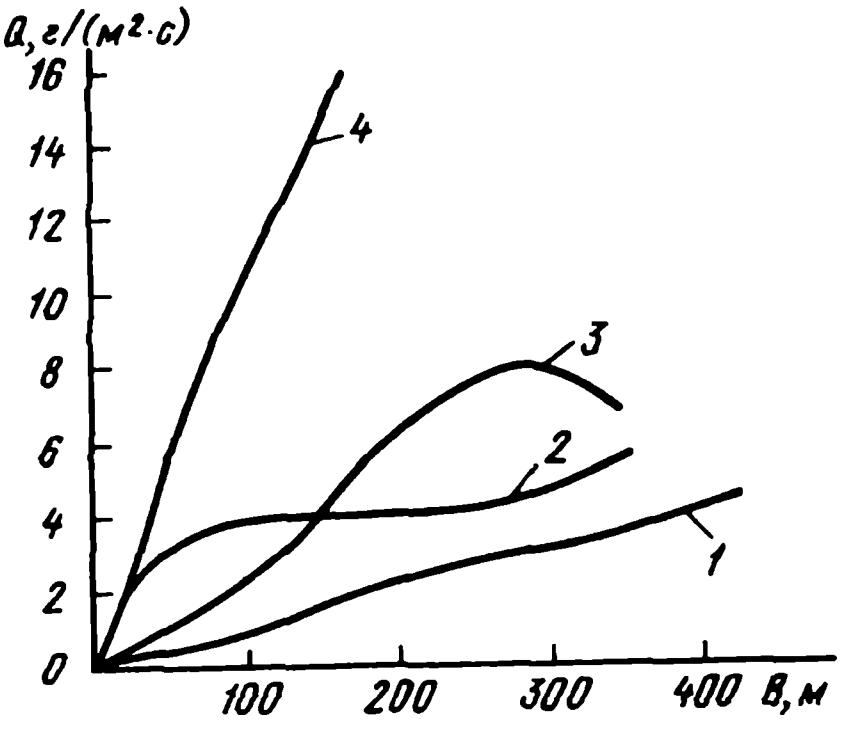


Рис. 25. Интенсивность выдувания почв *Q* различных типов в зависимости от ширины дефлируемого поля *B*:

1 – тяжелая глина; *2* – мелкопесчаный суглинок; *3* – тяжелый суглинок; *4* – супесь

чеством переносимого эолового материала в ветропесчаном потоке на единицу площади в единицу времени.

Ветроустойчивость поверхности почвы можно выразить уравнением

$$Q = 10^{a - bk - cs},$$

где Q – эродируемость, г/5 мин экспозиции; k – комковатость слоя 0...5 см; s – количество условной стерни, экз/м²; a, b, c – коэффициенты регрессии, значения которых находятся в следующих пределах: a – 3,2...4; b – 0,02...0,04; c – 0,002... 0,005.

Ветроустойчивость почв прежде всего связана с их гранулометрическим и агрегатным составом, содержанием карбонатов, составом поглощенных оснований, солонцеватостью.

Разные фракции гранулометрического состава действуют на ветроустойчивость по-разному. Повышение содержания ила увеличивает прочность агрегатов и ветроустойчивость почв, средняя и крупная пыль заметно не влияет на ветроустойчивость, а песок оказывает на нее отрицательное воздействие (рис. 25).

В Северном Казахстане по зависимости степени разрушаемости ветром от гранулометрического состава выделяют 6 групп почв (Е. И. Шиятый): 1 – наиболее слабо разрушаемые – почвы на глинах тяжелых и средних; 2 – слабо разрушаемые – на легких глинах и на тяжелых суглинках; 3 – умеренно разрушаемые – на средних суглинках; 4 – среднеразрушаемые – на легких суглинках; 5 – сильно разрушаемые – на супесях; 6 – интенсивно разрушаемые – на песках.

Зависимость ветроустойчивости почв от гранулометрического состава выражается следующим уравнением:

$$S = 34{,}7 + 0{,}9x_1 - 0{,}3x_2 - 0{,}4x_3,$$

где S – ветроустойчивость (связанность) почвенного комка, %; x_1 – содержание ила (частицы $< 0{,}001$ мм), %; x_2 – содержание мелкого песка (частицы 0,05... 0,25 мм), %; x_3 – содержание среднего и крупного песка (частицы 0,25...3 мм), %.

Пороговая скорость ветра сильно зависит от структуры почв. Чем лучше почвенная структура, тем больше почва содержит зернистых

и мелкокомковатых отдельностей и меньше пылеватых, тогда как в бесструктурной почве преобладают пылеватые частицы.

С ростом агрегированности почв и размеров почвенных комочков пороговая скорость ветра увеличивается, дефлируемость почв уменьшается (табл. 16).

16. Пороговые скорости ветра для комочков почвы разного размера (Бараев, Госсен, 1980)

Почва	Размер комочков, мм	Пороговая скорость воздушного потока, м/с
Чернозем карбонатный легкосуглинистый	0,25	3,8
	0,25...0,5	5,3
	0,5...1,0	6,8
	1...2	11,2
	2...3	13,1
	3...5	17,6

Состав поглощенных оснований также значительно влияет на противоэрозионную устойчивость почв. Почвы с почвенным поглощающим комплексом, насыщенным катионами Ca^{2+}, характеризуются микроагрегированностью. Такие почвы оказывают среднюю сопротивляемость ветру.

Почвы с почвенным поглощающим комплексом, насыщенным катионами Na^{+}, характеризуются большой набухаемостью во влажном состоянии и слитной глыбистой структурой при иссушении. Такие солонцеватые почвы более дефляционно устойчивы, в то время как по отношению к водной эрозии они обладают малой устойчивостью.

Присутствие легкорастворимых солей уменьшает устойчивость почв против дефляции. Например, легкорастворимая соль $Na_2SO_4 \times \times 10H_2O$ при кристаллизации присоединяет 10 молекул воды. Такие соли резко увеличиваются в объеме при образовании кристаллов и сильно раздвигают частицы почвы, поверхность которой становится рыхлой, податливой дефляции. Жителям южных районов хорошо известно явление, когда на месте пухлых солончаков образуются глубокие засоленные котловины—шоры.

На развеваемость почв ветром существенно воздействует их влажность. Наиболее интенсивно дефлируются сухие почвы, влажность которых приближается к содержанию гигроскопической влажности. При увеличении влажности дефлируемость почв снижается, при достижении влажностью наименьшей полевой влагоемкости дефляция почв практически прекращается, а при влажности же почв, равной полной полевой влагоемкости, она никогда не наблюдается.

Причина снижения дефлируемости при увлажнении почв состоит в увеличении сцепления отдельных частичек с почвой и в увеличении их удельной массы.

3.3. Изменение состава и свойств почв при дефляции

Морфология почвенного профиля. При дефляции почв уменьшается толщина гумусового горизонта, а при сильной дефляции – мощность всего почвенного профиля. На разных участках поля ветром сносится различное количество почвы. Поэтому на одном поле есть участки сильно-, средне- и слабодефлированные. У обыкновенных слабодефлированных черноземов Северного Казахстана мощность горизонта A_1 составляет 28 см, а сильнодефлированных – 20 см. Мощность гумусового горизонта при слабой дефляции чернозема сокращается менее чем на 10 %, при средней – на 10...20 % и при сильной – более чем на 20 %.

Развевание почвы происходит быстро. В Северном Казахстане за 10 лет в результате дефляции был снесен слой темно-каштановой почвы толщиной 20 см. Это составляет более 4000 т/га. Кроме того, слой мощностью в 5 см был перевеян на месте дефлированного участка.

По мере развития дефляции сначала сносится горизонт A_1 и обнажается горизонт B_1, а затем сдувается горизонт B_1 и обнажается горизонт B_2. При сильной дефляции может полностью разрушиться почвенный покров и обнажиться почвообразующая порода. Сильная дефляция меняет весь облик массивов земель и свойства их почв. Ровные участки при сильном развитии дефляции покрываются "выдувами" (ямы глубиной 20...100 см) в одних местах и буграми наносов в других. Однородность почвенного покрова нарушается появлением дефлированных разновидностей с укороченным профилем и образованием погребенных почв на месте наносов.

На рисунке 26 приведены профили участков сильно развеваемых черноземовидных супесчаных почв в районе Среднего Дона. На профилях видно большое число котловин выдувания с полностью разрушенными почвами, чередующимися с эоловыми буграми и шлейфами высотой до 1 м, сложенными вынесенным из котловин выдувания материалом.

Агрегатный состав. В процессе дефляции почв, переноса и отложения мелкозема происходит сортировка минеральных частиц (рис. 27). Частицы мельче 0,1 мм переносятся в воздушном потоке на другие участки, частицы крупнее 0,5 мм остаются на поверхности, а частицы размером от 0,1 до 0,5 мм переносятся скачкообразно по поверхности. Они мигрируют в пределах дефлированного участка поля и образуют здесь эоловые полосы. Дефляция почв тяжелого механического состава приводит к разрушению ветром крупных структурных отдельностей до микроагрегатов и элементарных частиц и вызывает изменение агрегатного состава.

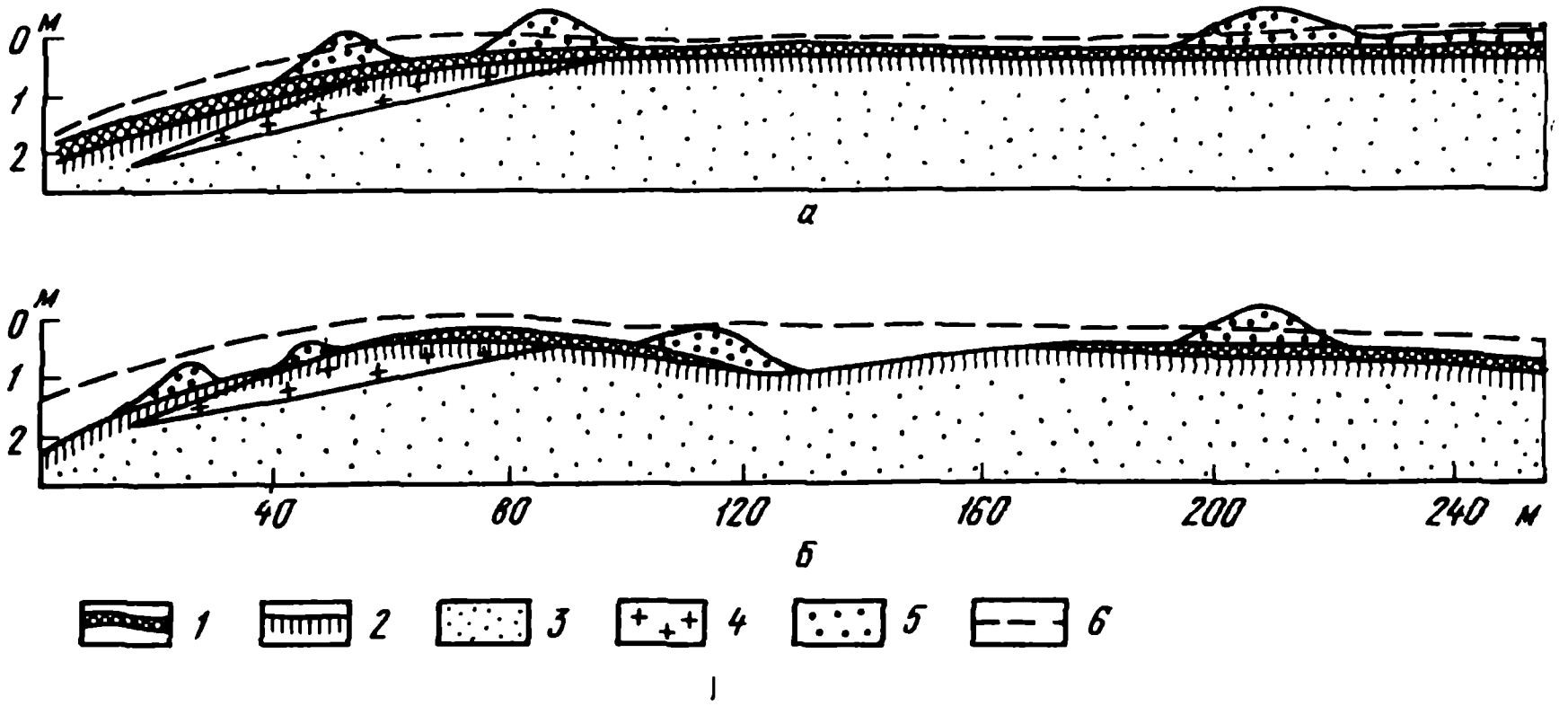


Рис. 26. Геоморфологические профили через развеваемый участок:

а – в 1977 г.; *б* – в 1979 г.; *1* – гумусовый горизонт ($A + B_1$); *2* – иллювиальный горизонт; *3* – белые третичные пески; *4* – серые третичные пески; *5* – эоловый песчаный нанос; *6* – поверхность почвы до развевания

Вследствие того что дефляция начинается при достижении ветром определенной скорости, из почв выносятся микроагрегаты определенного размера и накапливаются микроагрегаты другой крупности. На почвах тяжелого механического состава происходит разрушение крупных агрегатов, вынос пылеватых частиц и увеличение содержания микро-

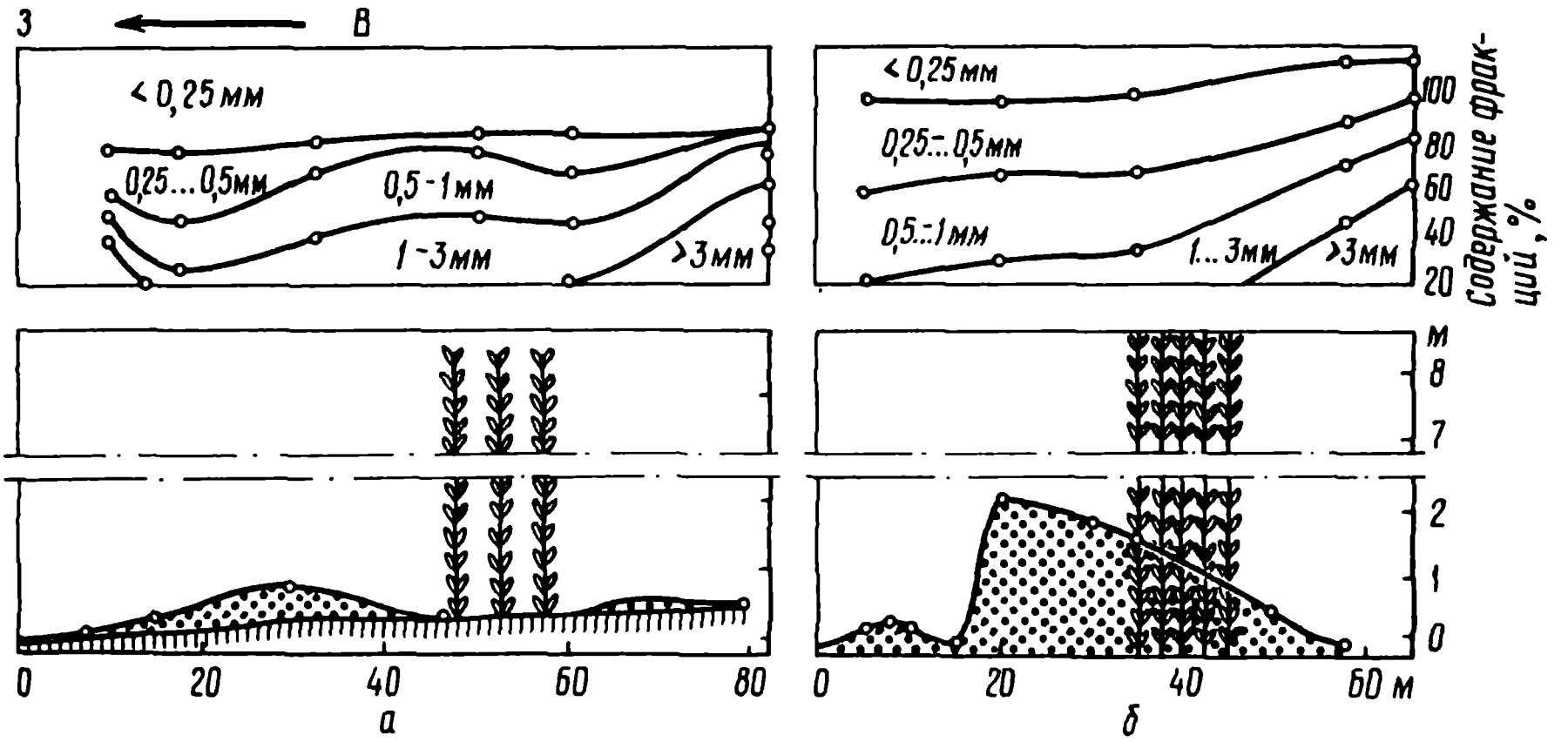


Рис. 27. Сортировка эолового материала при встрече ветропесчаного потока с лесополосами разной конструкции:

состав отложений на разном расстоянии от продуваемой (а) и слабопродуваемой (б) лесных полос

агрегатов. В целом ветер послойно сносит частицы размером меньше критического (< 1 мм). При скорости ветра более 20 м/с происходит снос и более крупных агрегатов – размером 3...5 мм. Чем крупнее ветроустойчивые агрегаты, тем устойчивее почва против дефляции. Коэффициент ветроустойчивости K выражают отношением массы агрегатов > 1 мм к массе агрегатов < 1 мм. С увеличением степени дефлированности почв это отношение убывает. Для целинных черноземов и темно-каштановых почв значение K достигает 4...4,5. В дефлированных почвах K резко снижается.

В Северном Казахстане на недефлированных почвах, развитых на тяжелосуглинистых лёссовидных отложениях, K составляет 2,5... 4,5, в слабодефлированных – 1...0,85, а в среднедефлированных – 0,6...0,5 (табл. 17).

17. Коэффициенты ветроустойчивости K поверхностного слоя (0...5 см) недефлированных и слабодефлированных тяжелосуглинистых почв

Почва	Коэффициент ветроустойчивости	
	недефлированной почвы	слабодефлированной, слаборазвеваемой почвы
Обыкновенный карбонатный чернозем	4,54	1,09
Чернозем южный карбонатный	4,09	0,85
Темно-каштановая карбонатная	4,12	0,89
Чернозем обыкновенный нормальный	2,34	1,09
Чернозем обыкновенный солонцеватый	3,70	0,92
Чернозем южный солонцеватый	4,12	0,89
Темно-каштановая солонцеватая	3,86	0,99

По механической прочности микроагрегаты на массивах слабодефлированных распаханных почв и среднедефлированных почв различаются мало. Лишь в поверхностном слое среднедефлированных почв она несколько ниже. Например, прочность агрегатов на слабодефлированных почвах Северного Казахстана составляет 314 г/агрегат, а среднедефлированных – 240...250 г/агрегат.

У дефлированных почв тяжелого гранулометрического состава, несмотря на слабое изменение микроагрегатного состава, резко меняется водопрочность агрегатов, уменьшаясь в сотни раз. Это объясняется тем, что крупные агрегаты дефлированных почв разрушаются до пылеватых частиц. При увлажнении атмосферными осадками этих почв и последующем просыхании происходит их склеивание коллоидами в структурные отдельности. Однако при первом же увлажнении такие свежеобразованные комочки оказываются разрушенными из-за пептизации клеящего вещества.

Агрегатный состав эоловых наносов, образующихся при дефляции почв, на разных участках поля оказывается резко различным и изменяется в зависимости от вида дефлированных почв, вида встречающихся препятствий ветровому потоку и удаленности от препятствий, осаждающих переносимый материал.

Такое явление наблюдала Л. Ф. Смирнова при дефляции карбонатного чернозема. На месте лесополос слабопродуваемой конструкции и непосредственно за лесополосой происходило отложение мелкозема. Отложения имели вид вала высотой до 4 м.

При наличии на поле лесополос отложение переносимого ветром отсортированного материала происходит в виде валов в лесополосах и непосредственно за ними, в ветровой тени. Содержание агрегатов разного размера в почве, оставшейся на месте выдувания, и в эоловом наносе различно. При этом в поверхностном слое почвы, подверженном дефляции, содержится до 60 % агрегатов крупнее 3 мм и всего около 30 % агрегатов размером от 3 до 1 мм. В эоловых же наносах агрегатов крупнее 3 мм почти нет. Основная часть наносов в полосе и вблизи нее состоит из агрегатов фракций 0,5...1 и 1...3 мм. При удалении от лесополосы в составе агрегатов эоловых наносов возрастает содержание фракции 0,25...0,5 мм, тогда как содержание более крупных агрегатов (1...3 мм) резко убывает.

Гранулометрический состав. Несмотря на большие изменения агрегатного состава, гранулометрический состав тяжелых дефлированных почв практически не изменяется, так как в этих почвах агрегаты разного размера имеют близкий гранулометрический состав (табл. 18).

При дефляции легких почв (супесчаных и легкосуглинистых) из поверхностного слоя выносятся тонкие агрегаты и элементарные части-

18. Гранулометрический состав почвенных агрегатов разного размера и содержание в них гумуса для среднедефлированных почв Северного Казахстана

Почва	Размер агрегатов, мм	Содержание фракций, %		
		1,0... 0,25 мм	0,25... 0,05 мм	0,05... 0,01 мм
Темно-каштановая супесчаная	>1	36,9	40,7	12,4
	<0,1	–	46,7	28,6
Темно-каштановая легкосуглинистая	>1	38,0	26,0	11,4
	<0,1	–	19,7	32,1
Чернозем южный среднесуглинистый	>1	25,8	27,7	9,2
	<0,1	–	21,0	26,2
Чернозем южный тяжелосуглинистый	>1	0,75	9,9	26,0
	<0,1	–	18,3	30,4
Чернозем южный карбонатный глинистый	>1	0,9	6,0	19,0
	<0,1	–	8,6	21,2

Продолжение

Почва	Содержание фракций, %			Гумус, %
	0,01... 0,005 мм	0,005... 0,001 мм	<0,001 мм	
Темно-каштановая супесчаная	1,3	3,5	4,9	1,02
	1,4	5,8	14,6	4,38
Темно-каштановая легкосуглинистая	3,8	5,2	14,4	1,60
	7,9	12,5	23,8	3,56
Чернозем южный среднесуглинистый	7,4	3,8	23,4	2,62
	8,1	12,8	27,2	4,31
Чернозем южный тяжелосуглинистый	6,2	11,6	39,6	2,40
	4,8	8,0	29,0	3,53
Чернозем южный карбонатный глинистый	3,7	19,8	46,6	2,91
	6,6	14,8	41,9	3,02

цы размером менее 0,1 мм. Из-за селективного выноса тонких минеральных частиц легкие почвы при дефляции опесчаниваются. Относительная опесчаненность дефлированных почв тем больше, чем легче их гранулометрический состав. Например, в Северном Казахстане потеря физической глины в слабодефлированных черноземах при песчаном составе составляет 25 %, при супесчаном – 16...25, при легкосуглинистом – 8... 23, а при среднесуглинистом – всего 4 %. При сильной опесчаненности потеря физической глины в супесчаных почвах составляет 35 %, в песчаных – до 50 %. В сильнодефлированных почвах гранулометрический состав изменяется на одну градацию классификации Качинского, то есть супесчаные переходят в связнопесчаные, а связнопесчаные – в рыхлопесчаные.

Скорость опесчанивания легких почв довольно высока. В Кустанайской области за 3...5 лет после распашки потеря физической глины в пахотном слое темно-каштановых супесчаных почв составляет 20... 25 %. Кроме того, чем дальше передвигается эоловый слой от места дефляции, тем больше он сортируется и опесчанивается.

Водно-физические свойства. Существенные изменения в неблагоприятную для растений сторону претерпевают водно-физические свойства почв. И без того малая водоудерживающая способность легких почв при дефляции резко уменьшается. В связи с этим снижается значение максимальной гигроскопической влаги, полной влагоемкости почв, наименьшей полевой влагоемкости, влажности завядания, диапазон активной влаги (табл. 19).

По мере сноса однородного с хорошей зернистой структурой пахотного горизонта и верхней части переходного к породе горизонта плотность черноземовидных дефлированных почв возрастает, объемная масса увеличивается до 1,6...1,7 г/см^3, а общая порозность и порез-

19. Водно-физические свойства дефлированных легких почв Волгоградской области

Почва	Наименование горизонта	Глубина взятия образца, см	Объемная масса, г/см^3	Удельный вес твердой фазы, г/см^3	Общая порозность, %	Гидрологические константы, % массы почвы			
						максимальная гигроскопическая влажность	влажность завядания	наименьшая влагоемкость	диапазон активной влаги (% массы почвы, высушенной при 105 °С)
Черноземовидная супесчаная	Эоловый нанос	0...10	1,45	2,65	45,3	0,6	0,7	4,8	4,1
слабоэродированная глубоко погребенная	A_1	58...68	1,50	2,61	41,4	2,2	2,9	10,7	7,8
	B_1	120...130	1,56	2,63	41,0	1,8	2,4	9,8	7,4
	B_2	185...195	1,57	2,63	40,4	3,2	4,3	13,9	9,6
	BC	205...215	1,59	2,64	40,0	1,2	1,6	7,3	5,7
	C	238...248	1,59	2,65	40,0	0,9	1,3	6,6	5,3
	D	265...275	1,68	2,56	34,7	7,4	10,0	15,4	5,4
Черноземовидная легкосупесчаная среднеэродированная сильно опесчаненная в пахотном слое	$A_{пах}$	0...10	1,60	2,64	39,4	0,9	1,2	7,7	6,5
	A_1	21...35	1,65	2,61	36,7	1,2	1,7	8,0	6,3
	B_1	55...65	1,65	2,63	37,2	1,3	1,7	7,0	5,3
	BC	75...85	1,69	2,65	36,2	1,1	1,5	8,5	7,0
	C_1	100..110	1,70	2,65	35,8	1,0	1,3	5,9	4,6
Черноземовидная легкосупесчаная сильноэродированная глубоко погребенная	Эоловый нанос	0...10	1,52	2,62	42,0	1,0	1,4	4,7	3,3
		30...40	1,55	2,63	41,0	0,7	0,9	7,2	6,3
		75...85	1,60	2,64	39,4	0,8	1,1	6,4	5,3
		105...115	1,65	2,65	37,7	0,8	1,1	7,9	8,8
		140...145	1,67	2,65	37,7	0,4	0,5	5,0	4,5
		170...180	1,67	2,65	37,0	0,6	0,8	6,4	5,6

ность аэрации снижаются. Участки сильнодефлированных почв с обнаженным переходным горизонтом из-за их неблагоприятных водно-физических свойств нельзя использовать под сельскохозяйственные культуры. Древесная растительность также плохо развивается на них.

На дефлированных почвах резко ухудшается водно-воздушный режим, запасы продуктивной влаги убывают. Вследствие высокой плотности дефлированных почв поступающая в них влага быстрее расходуется на физическое испарение.

Еще одна неблагоприятная особенность дефлированных почв состоит в том, что критическая скорость ветра, приводящая к их развеванию, снижается. Для супесчаных почв это снижение составляет 1/4...1/3.

Химический состав. При дефляции меняется состав почв из-за того, что в агрегатах, выносимых прежде всего (менее 0,1 мм), содержится основная часть гумуса, карбонатов, элементов питания растений и физической глины. Поэтому вследствие дефляции почвы обедняются этими соединениями.

В дефлированных почвах наиболее заметно сокращение содержания гумуса. Потери гумуса из поверхностного слоя дефлированных почв возрастают по мере того, как их гранулометрический состав становится более легким. Так, если из пахотного горизонта среднесуглинистой темно-каштановой почвы было вынесено 35 % гумуса, то из легкосуглинистой — 40...60 %. Это объясняется тем, что основная часть гумуса содержится в наиболее тонких фракциях, которые из легких почв выносятся в относительно большем количестве. Кроме того, гумус имеет меньший удельный вес, чем минеральная часть почвы, и для выноса гумусированных частиц нужен ветер с меньшей критической скоростью. Уменьшение содержания гумуса при дефляции связано также с тем, что в обнажающихся сильноэродированных почвах гумусовые соединения быстрее окисляются.

В гумусе эродированных почв возрастает относительное содержание фульвокислот. Это происходит вследствие обнажения нижних горизонтов, которые содержат фульвокислоты в относительно большем количестве, чем верхние.

Вместе с гумусом и минеральными коллоидами при дефляции из почв выносятся элементы питания растений. Из-за этого в пахотном слое супесчаных почв теряется до 15...18 % фосфора и азота, до 8 % калия от их первоначального содержания.

При дефляции почв изменяется соотношение между содержанием различных минералов. В валовом составе увеличивается содержание кремнезема и уменьшается содержание железа и алюминия. Это происходит из-за снижения в процессе дефляции содержания илистой фракции, в составе которой имеется много железа и алюминия. Вследствие этого происходит обеднение почв набухающими высокодисперсными минеральными компонентами.

При сносе верхних горизонтов обыкновенных черноземов в пахот-

ный слой попадает часть карбонатного горизонта $B_к$. В результате этого почва из рода некарбонатных переходит в род карбонатных черноземов. Кроме того, из среднемощных и мощных образуются маломощные черноземы. Солонцеватые исходные черноземы превращаются в солонцевато-солончаковые, так как ближе к поверхности оказывается засоленный горизонт.

Почвы на эоловых отложениях. Образующийся при дефляции материал сносится в понижения рельефа или же откладывается на других участках поля в результате перенасыщения ветропесчаного потока. Как уже было отмечено, образующийся при дефляции тяжелых почв материал по составу и физическим свойствам мало отличается от исходной подвергнутой дефляции почвы. Такой нанос со временем оструктуривается и при закреплении растительностью не отличается от исходной почвы по плодородию.

Иные свойства имеют отложения многократно перевеваемых почв легкого гранулометрического состава. В этом случае почва еще более опесчанивается и теряет плодородие. Ее верхний пахотный горизонт становится неблагоприятным для произрастания растительности. Нижняя часть почвенного профиля, перекрытого эоловым материалом, сохраняет все особенности исходной почвы, которая переходит в разряд погребенных. При малой мощности эолового материала, когда корневые системы сельскохозяйственных растений достигают погребенной почвы, последняя сохраняет свойства среды, обеспечивающей питание растений. В том случае, когда погребенная почва перекрыта мощным слоем отложений, корневые системы растительности не достигают ее и она не влияет на рост и развитие посевов. Плодородие таких почв целиком определяется свойствами эоловых наносов.

3.4. Классификация дефлированных почв

Для более эффективного использования дефлированных почв необходима их детальная классификация. Она должна основываться на таких признаках, как дефлируемость (податливость почв дефляции при распашке), скорость дефляции в момент обследования, фактическая дефлированность (степень подверженности почв дефляции в момент исследования), мощность перекрывающих почву эоловых наносов. Классификационные единицы разных таксономических рангов должны давать представление о дефлированных почвах не только в отдельных точках, но и характеристику дефляции почвенного покрова в целом, то есть должно быть учтено наличие на участке как сдутых почв, так и почв, перекрытых эоловыми наносами.

Единая классификация дефлированных почв к настоящему времени еще не разработана, поэтому рассмотрим частные классификации, учитывающие отдельные свойства дефлированных почв.

Разделение почв по степени дефлируемости. В основу первых классификаций почв по степени их дефлируемости был положен гранулометрический состав. По этому свойству черноземы и каштановые почвы были разделены на две группы: дефлируемые (легкие) и малодефлируемые (тяжелые) почвы. Среди дефлируемых (податливых развеванию) легких почв были выделены сильнодефлируемые, систематически подвергающиеся дефляции и слабо подвергающиеся дефляции. Малодефлируемые тяжелые почвы были отнесены к одной группе — мало нуждающихся в применении почвозащитных севооборотов.

Это грубоориентировочная классификация, так как она проведена на основе одного показателя и не учитывает многие другие свойства, в соответствии с которыми почвы следует относить к той или иной группе по степени податливости развеванию.

В современных классификациях почв по степени дефлируемости учитывается содержание физической глины, микроагрегатов, механическая прочность микроагрегатов, содержание гумуса, карбонатов и поглощенных оснований, а также рельеф, его ориентированность по отношению к преобладающим ветрам, гибель посевов от пыльных бурь, наличие лесополос и др. Эти признаки учтены, например, в классификациях Л. Ф. Смирновой (табл. 20) и М. И. Долгилевича.

Особые классификации по степени податливости дефляции разработаны для торфяных осушенных почв. Основным критерием для разделения их по этому признаку служит степень разложения торфяной массы, мощность торфяного слоя и его ботанический состав (табл. 21).

Комплексная характеристика дефлированных территорий. При картировании почвенного покрова по степени дефлированности необходимо выделять контуры, различающиеся по уровню их изменения под влиянием ветра. Выделение этих контуров затруднено вследствие их крайней неоднородности. В их пределах встречаются участки выдувов почв, так называемые "язвы" дефляции, ровные участки сдутых почв и участки навеянных эоловых наносов. Поэтому приходится выделять комплексы почв той или иной степени подверженности дефляции с выдувами и эоловыми наносами. Например, на развеваемых участках в Кустанайской области почвенный покров представлен как каштановыми почвами разной степени дефлированности, так и эоловыми наносами (см. рис. 26).

Площадь, занимаемая дефлированными почвами и песчаными отложениями, быстро меняется. На рисунке 26 видно, что уже через несколько лет площади дефлированных и навеянных почв меняют свое положение.

Необходимо учитывать глубину и площади выдувов. По глубине выдувы делят на мелкие (меньше 30 см), которые выравниваются при пахоте, глубокие (30...70 см), которые можно выровнять грейдером, и очень глубокие (более 70 см), которые выравнивать механизмами экономически невыгодно.

20. Степень податливости почв дефляции при отсутствии системы защитных мероприятий

Почвы	Целина и залежь				Пашня, используемая под посевы					
	при умеренном выпасе		при сильном выпасе		пласт и оборот пласта		3-й и 4-й годы распашки		5 лет распашки и более	
	вс	зс	вс	зс	вс	зс	вс	зс	вс	зс
Песчаные	Малоподатливы	Неподатливы	Легко и среднеподатливы	Среднеподатливы	Легкоподатливы				Чрезвычайно податливы	
Супесчаные	Неподатливы			Малоподатливы	Среднеподатливы	Малоподатливы	Легкоподатливы	Среднеподатливы	Чрезвычайно податливы	Легкоподатливы
Легкосуглинистые	Неподатливы		Среднеподатливы		Малоподатливы	Неподатливы	Среднеподатливы	Малоподатливы	Легкоподатливы	Легко- и среднеподатливы
Суглинистые и глинистые	Неподатливы		Малоподатливы	Неподатливы	Неподатливы		Малоподатливы	Неподатливы	Среднеподатливы	Малоподатливы

Примечание: вс – ветроударные склоны, зс – заветренные склоны.

21. Классификация органогенных почв Белорусского Полесья по степени податливости ветровой эрозии

Почвы	Степень податливости	Мощность торфа, м	Степень разложения торфа, %	Ботанический состав торфа
Немелиорированные торфяно-болотные, торфяно- и торфянисто-глеевые	Неподатливые	–	–	–
Торфяно-болотные	Слабая	1	30	Древесный, тростниково-древесный, осоково-древесный
Торфяно-болотные	Средняя	1	30...50	Древесно-тростниковый, осоково-тростниковый, осоково-моховой, моховой
Торфяно-болотные	”	0,5...1	50	Древесный, тростниково-древесный, осоково-древесный
Торфяно-болотные	Сильная	1	50	Моховой, гипсово-осоковый, осоково-древесный
Торфяно-глеевые	”	0,3...0,5		
Торфянисто-глеевые		0,2...0,3		

По площади распространения выделяют поля со слабо распространенными (< 10 %), среднераспространенными (10...25 %), сильно распространенными (25...40 %) и очень сильно распространенными выдувами (> 40 %).

Дефлированные территории можно разделить по степени дефляции на пять групп.

1. Слабодефлированные земли — преобладают участки с почвами, слабо затронутыми дефляцией. Площади недефлированных участков составляют 75 % территории. Мощность эоловых наносов не превышает 5...10 см. Мезорельеф сохранен, на поверхности почв дефлированных участков формируется лишь ветровая рябь.

2. Среднедефлированные земли — преобладают участки со среднедефлированными почвами, занимающими 50...75 % территории. В небольшом количестве встречаются слабодефлированные почвы, сильнодефлированные занимают до 10 % площади. Мощность эоловых наносов достигает 10...25 см. При сохранении форм первичного мезорельефа формируется кочковатый микрорельеф. На среднедефлированных супесчаных почвах можно возделывать полевые культуры и плодовые насаждения. На пахотных угодьях с такими почвами необходимы почвозащитные системы земледелия.

3. Сильнодефлированные земли — преобладают участки, дефлированные на глубину 50...70 см, которые занимают 50...70 % территории. Мезорельеф таких участков изменяется, становится мелкобугристым. Распашка сильнодефлированных земель возможна только полосами и в основном для посева многолетних трав. Наиболее эффективное средство защиты почв — лесные насаждения.

4. Очень дефлированные земли — на месте плодородных почв распространены среднебугристые пески с глубокими выдувами и мощными наносами песка. Амплитуда мезорельефа достигает 2...3 м.

5. Чрезвычайно сильно дефлированные территории — почвы всей территории перевеяны, превращены в бугристые пески с высотой бугров 3...5 м. Территорию можно использовать только под куртинно-колковые посадки леса.

Таким образом, при дефляции почв появляется специфическая структура почвенного покрова, возникает сложная комбинация почв разной степени развеянности и погребенности и изменяется микро- и даже мезорельеф территории. Это необходимо учитывать при картировании дефлированных почв.

3.5. Районирование территории СССР по дефляционной опасности земель

Факторы, определяющие дефляцию почв, в разных природных зонах и районах резко различаются. Проявление дефляции и степень ее потенциальной опасности обусловлены сочетанием этих факторов.

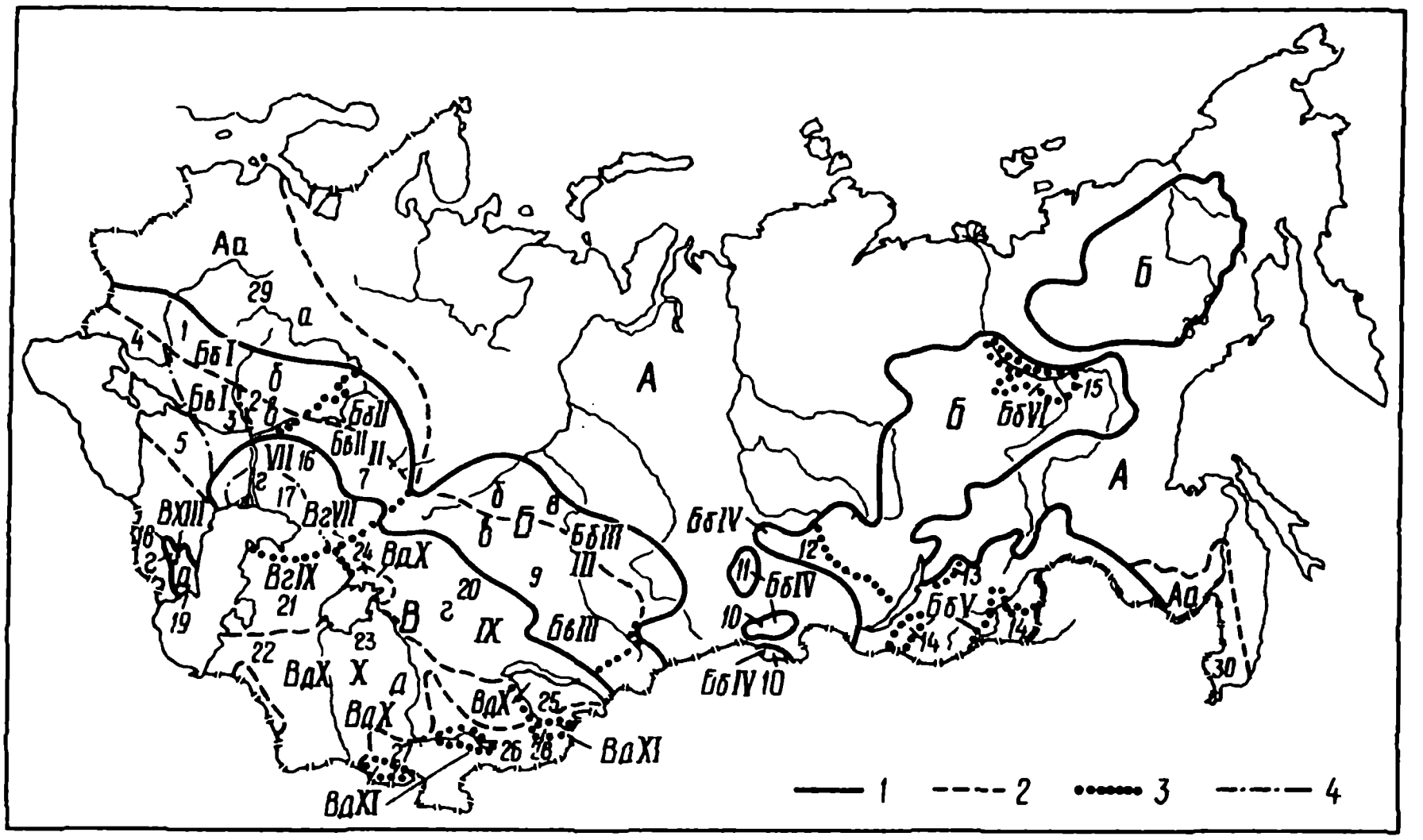


Рис. 28. Районирование территории СССР по дефляционной опасности:

А, Б, В – пояса потенциальных возможностей развития дефляции (*А* – пояс отсутствия потенциальной дефляции, *Б* – пояс активного проявления дефляций, *В* – пояс сильно выраженных потенциальных возможностей проявления дефляции; *I...XI* – области развития дефляции (*I* – Южно-Европейская, *II* – Волго-Уральская, *III* – Западно-Сибирская, *IV* – Присаянская, *V* – Забайкальская, *VI* – Восточно-Сибирская, *VII* – Прикаспийская, *VIII* – Закавказская, *IX* – Казахстанская, *X* – Среднеазиатская равнинная, *XI* – Среднеазиатская межгорных впадин, *XII* – Западно-Европейская, *XIII* – Приморская); *а, б, в, г, д* – зоны развития дефляции почв (*а* – с потенциально возможным развитием дефляции в отдельные годы на легких почвах, *б* – умеренного развития, *в* – интенсивного развития, *г* – очень большой потенциальной возможности развития дефляции, *д* – формирования пустынь); *1, 2, 3, 4* – границы между поясами, областями, зонами и провинциями соответственно

Например, в степной зоне наиболее дефляционно опасными являются земли провинций с континентальным климатом, а в их пределах – почвы безлесных районов с плоским рельефом и легкосуглинистыми почвообразующими породами.

Разные природные районы СССР существенно различаются по возможности развития дефляции почв. По этому признаку К. С. Кальянов провел районирование территории СССР, которое предусматривает шестиступенчатое ее подразделение на региональные единицы различных таксономических рангов: 1 – пояс потенциальных возможностей развития дефляции, 2 – область развития дефляции, 3 – зона развития дефляции, 4 – провинция ветровой активности, 5 – дефляционный округ, 6 – дефляционный район (рис. 28, табл. 22).

Факторы и их характеристики, определяющие потенциальную опасность дефляции почв степных районов

Факторы	Характеристика факторов
Климат	Континентальный. Часто повторяющиеся засухи. Сильные ветры большой скорости (более 5 м/с) в период отсутствия растительного и снежного покрова. Число дней со скоростью ветра более 15 м/с свыше 35. Резкая смена положительных дневных температур ночными заморозками при отсутствии растительного и снежного покрова
Рельеф	Ровный. Наличие ветроударных возвышений, пологоувалистых коридоров, расположенных вдоль направления господствующих ветров
Почвенный покров	Легкосуглинистые бесструктурные почвы, с низким содержанием ветроустойчивых агрегатов, малой влагоемкостью, водоудерживающей способностью и связностью
Растительный покров	Безлесные массивы с высоким (70...90 %) содержанием обрабатываемых земель, с преобладанием в посевах многолетних трав. Отсутствие посевов озимых культур. Слабое развитие корневых систем растений, изреженность посевов. Изреженный растительный покров на сенокосах и пастбищах. Расположение лесных полос и кулис вдоль господствующего направления ветров

Рассмотрим кратко каждый из иерархических уровней районирования.

Дефляционные пояса. Вся территория СССР по степени дефляционной опасности делится на три пояса – *А*, *Б*, и *В* – в зависимости от коэффициента увлажнения.

А – пояс, в котором дефляция отсутствует. Он охватывает северную часть территории страны с коэффициентом увлажнения, превышающим 1. В пределах этой территории иссушения верхнего слоя почвы обычно не происходит и, следовательно, дефляция невозможна или проявляется крайне редко и слабо.

Б – пояс активного проявления дефляции почв. Это территория неустойчивого увлажнения с коэффициентом увлажнения 1...0,33.

В – пояс сильно выраженной потенциальной возможности проявления дефляции почв. Здесь коэффициент увлажнения меньше 0,33. В этом поясе необходимы активные мероприятия по предупреждению дефляции и ликвидации ее последствий.

Зоны развития дефляции. Пояс А, несмотря на обширность занимаемой им территории, зонального деления не имеет. Исключение составляет западная и дальневосточные его части. Здесь выделяется зона *а* потенциально возможного развития дефляции в отдельные годы на почвах легкого гранулометрического состава и на торфяниках. В пределах этой зоны за вегетационный период испаряемость превышает коли-

22. Схема дефляционного районирования территории СССР (по К. С. Кальянову)

Ступень районирования	Единица районирования	Признаки выделения районов		Проявление дефляции почв	Особенности физико-географических условий, учитываемые при проектировании противодефляционных мероприятий
		ведущий	вспомогательные		
1	Пояс потенциальных возможностей развития дефляции почв	Условия увлажнения		Наличие процессов дефляции почв	
2	Область развития дефляции	Характер четвертичных отложений	Особенности климатических условий	Характер ветрового режима	Вероятность дефляционно опасной погоды
3	Зона развития дефляции почв	Степень сельскохозяйственной освоенности и облесенности территории	Термические условия теплового периода	Степень проявления дефляции почв	Зональные особенности природных условий
4	Провинция дефляционной активности	Преобладание почв с определенной критической скоростью начала дефляции	Характер использования земли	Периоды ветровой деятельности и распределение ветров по направлениям	Агроклиматическая характеристика дефляционных периодов
5	Дефляционный округ	Доля дефляционно опасных земель в общей площади территории	Интенсивность дефляции почв	История формирования дефляционного округа	Преобладающее направление активных дефляционных ветров
6	Дефляционный район	Территориальная однородность региона, подвергающегося дефляции	Возможность проектирования единой системы противодефляционных мероприятий	Степень дефлированности почвенного покрова	Создание оптимальной системы противодефляционных мероприятий в конкретных физико-географических условиях района

чество осадков. На распаханных легких почвах и торфяниках зоны дефляция вполне возможна. Однако из-за редкого ее проявления противодефляционные мероприятия здесь не требуются.

Пояс *Б* в широтном направлении делится на две зоны – *б* и *в*.

Зона *б* умеренного развития дефляции почв занимает лесостепную и частично степную полосы территории. Ее северная граница проходит по границе с поясом *А*, а южная проведена по изменению соотношения распаханных и облесенных территорий. Ее распаханность около 60 % при облесенности не более 20 %.

Зона *в* интенсивного развития дефляции почв. В европейской части и в Западной Сибири она образует сплошную территорию, а в Средней и Восточной Сибири представлена отдельными массивами. Распаханность зоны составляет 60...80 %, а облесенность – не более 5 %.

Пояс *В* в широком направлении делится на зоны *г* и *д*.

Зона *г* характеризуется большими потенциальными возможностями развития дефляции из-за сухости климата и безлесья. Дефляция появляется здесь при нарушении естественного растительного покрова. В результате дефляции образуются массивы подвижных песков. Низкая распаханность территории, используемой под пастбища, существенно сдерживает дефляцию.

Зона *д* этого пояса занимает территорию песчаных пустынь, формирующихся на аридных равнинах и в межгорных котловинах.

Области и провинции потенциальной возможности дефляции почв. Области выделены на основе подразделения поясов по континентальности климата в направлении с запада на восток, а провинции – на основе учета влияния зональных и областных факторов. Всего на территории СССР выделено 11 областей и 30 провинций.

I – Южно-Европейская область. Она занимает территорию с равнинным эрозионным рельефом с лёссовидными суглинками и флювиогляциальными и элювиальными отложениями. В почвенном покрове преобладают черноземы и темно-каштановые почвы. Большая часть области распахана. Естественной растительности почти нет, существенное значение имеют лесопосадки, предохраняющие поля от пыльных бурь и суховеев. Преобладают ветры со скоростью более 10 м/с. Суховейно-засушливая погода наблюдается с мая по октябрь, с максимумом сильных ветров в августе (до 6...7 суток в месяц). Дефляция почв чаще всего наблюдается весной и осенью, когда почва не защищена растительным покровом.

Область включает пять провинций: *1* – европейскую лесостепную – слабой дефляции, *2* – Волго-Донскую – выраженного развития дефляции, *3* – Украинскую степную – сильно развитой дефляции, *4* – Предкавказская – сильно развитой дефляции, *5* – Северо-Кавказскую – сильно развитой дефляции почв.

II – Волго-Уральская область. Занимает лесостепную и степную территории между Волгой и Южным Уралом. Почвообразующие породы

представлены четвертичными элювиально-делювиальными отложениями. Почвы – черноземы и темно-каштановые. Суховейно-засушливая погода наблюдается с мая по октябрь, с максимумом в июле (до 6 сут). Наиболее часты ветры, приводящие к активной дефляции в весенний период.

Эта область включает две провинции: *6* – Поволжско-Бугульминско-Белебеевскую – слабо выраженного развития дефляции почв и *7* – Южно-Приуральскую – средневыраженного развития дефляции почв.

III – Западно-Сибирская дефляционная область. Расположена в пределах лесостепи и степи Западной Сибири и Северного Казахстана. Дефляционная погода наблюдается в период преобладания западных и юго-западных ветров. За май – июнь и сентябрь отмечается до 21...36 сут с дефляционной погодой на почвах легкого гранулометрического состава.

В пределах области выделяются две провинции: *8* – Обско-Тобольская – выраженного развития дефляции почв, занимающая лесостепную территорию, и *9* – Северо-Казахстанская – сильно развитой дефляции почв, расположенная в степной местности.

IV – Присаянская область. Состоит из отдельных провинций, разобщенных горными хребтами. Поверхность покрыта лесами и лёссовидными породами. Почвы – черноземы и каштановые. Суховейно-засушливая погода наблюдается редко. Дефляция наиболее часто приурочена к апрелю–маю.

На территории области выделяются три провинции: *10* – Тувинская – среднеразвитой дефляции, *11* – Минусинская – сильной дефляции, *12* – Предсаянская – средней дефляции.

V. Забайкальская область. Характеризуется распространением полевых угодий в виде отдельных участков, приуроченных к речным долинам.

Сильные ветры дуют главным образом в апреле–мае. Вегетационный период характеризуется крайней засушливостью во вторую половину лета (июль–август).

В Забайкальской области выделяют две провинции: *13* – Селингинско-Баргузинскую – сильно развитой дефляции и *14* – Юго-Восточно-Забайкальскую – среднеразвитой дефляции.

VI. Восточно-Сибирская область. Находится на территории обширной Вилюйской впадины. Ее климатические условия отличаются резкой континентальностью с выраженным жарким и засушливым теплым периодом. С мая по август возможна суховейно-засушливая погода, но преобладает умеренно засушливая.

В Восточно-Сибирской области дефляции почти не наблюдается. Здесь выделена всего одна провинция: *15* – Лено-Вилюйская – слабо развитой дефляции.

VII. Прикаспийская область. Расположена в поясе В в пределах Прикаспийской низменности. Эта большая плоская низина с пологим наклоном к морю, выраженными эрозионными, сульфозионными и эоло-

выми формами рельефа. Сильные ветры здесь частое явление. Они бывают до 100 сут в году. В среднем в течение года наблюдается до 14 пыльных бурь. Суховейно-засушливая погода наблюдается с апреля по октябрь.

Область включает две провинции: *16* – Прикаспийскую полупустынную – сильно развитой дефляции и *17* – Прикаспийскую пустынную – развеваемых песков.

VIII. Закавказская область. Размещается в Куринской впадине между Большим и Малым Кавказом. Для восточной части области характерны полупустынные ландшафты, для западной – степные. Почвообразующие породы области представлены аллювиальными, пролювиальными и элювиальными отложениями. Климат сухой субтропический. Полупустынные и сухостепные районы отличаются солнечным, жарким, почти без осадков летом. Осенью выпадают обложные дожди, почвы размокают. Снег зимой выпадает редко, быстро тает и даже на короткое время не образует сплошного покрова, с середины мая растительность выгорает и начинается летняя засуха.

Дефляция может проявляться в течение всего года, однако наибольшая вероятность сильных ветров в зимне-весенний период.

Область состоит из двух провинций: *18* – Прикуринской – среднеразвитой дефляции почв и *19* – Кура-Араксинской – сильно развитой дефляции.

IX. Казахстанская область. Занимает южную часть Казахского мелкосопочника, Мугоджары, плато Устюрт и полуостров Мангышлак. Поверхность в основном сложена аллювиальными, аллювиально-делювиальными и делювиальными отложениями. Ветры с повышенными скоростями наблюдаются в течение всего года, причем количество их заметно увеличивается с продвижением на восток. Суховейно-засушливая погода случается с апреля до октября.

Область состоит из двух провинций: *20* –Центрально-Казахстанской – средней дефлированности почв и *21* – Мангышлакско-Устюритской – слабой дефляции почв.

X. Среднеазиатская равнинная область. Занимает обширную равнинную территорию Средней Азии. За год осадков здесь выпадает 80... 200 мм, а испаряемость достигает 1000...1500 мм. Суховейно-засушливая погода наблюдается с марта по ноябрь, но преимущественно в июне, июле и августе; в остальное время преобладает умеренно засушливая погода. Дефляция здесь может проявляться в течение всего года, даже при ветрах небольших скоростей.

В область входят четыре провинции: *22* – Каракумская – песчаных пустынь, *23* – Кызылкумская – песчаных пустынь, *24* – Северо-Приаральская – пустынь с развеваемыми песками, *25* – Семиреченская – пустынь с развеваемыми песками.

XI. Область среднеазиатских межгорных впадин. Климатические условия области способствуют развитию дефляции почв. На ветровой

режим большое влияние оказывает рельеф местности. Дефляция может проявляться в течение всего года, но наибольший вред она причиняет весной. В результате воздействия ветра разрушению подвергаются не только богарные, но и орошаемые земли. Количество ветров повышенных скоростей возрастает в теплый период года.

В состав области входят три провинции: *26* – Ферганская – средней дефляции почв, *27* – провинция дефляции почв межгорных впадин Юго-Западного Памиро-Алая, *28* – Иллийская – среднеразвитой дефляции почв.

Помимо перечисленных дефляционных провинций, в пределах пояса А выделены *29* – Западно-Европейская и *30* – Дальневосточная провинция, относящиеся к зоне а – потенциальной возможности очаговой дефляции в отдельные годы на легких почвах и торфяниках.

Дальнейшее подразделение провинций на округа осуществляется по доле дефляционно опасных земель от общей площади территории того или иного региона. Вспомогательным признаком выделения округов служит интенсивность подверженности сельскохозяйственных угодий ветровой эрозии, то есть доля земледельческих площадей, повреждаемых дефляцией в течение года.

В пределах дефляционных округов выделяются районы. Ведущим признаком выделения районов служит степень территориальной однородности региона, подвергающегося дефляции. Округа и районы довольно многочисленны. Поэтому К. С. Кальянов наметил принципы их выделения, но на карту эти подразделения не нанес, так как это требует большого объема специальных крупномасштабных исследований.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое дефляция почв? 2. Какой вред народному хозяйству наносит дефляция почв? 3. Назовите причины дефляции почв. 4. От чего зависит степень дефлированности почв? 5. Какие почвы в наибольшей степени подвергаются дефляции? 6. Как изменяются свойства почв при дефляции? 7. Каким образом подразделяются почвы по степени дефлируемости?

Глава 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ КАК ОДИН ИЗ ВИДОВ ЗАЩИТЫ ПОЧВ ОТ ЭРОЗИИ И ДЕФЛЯЦИИ

4.1. Виды мероприятий по защите почв

Защита почв от эрозии и дефляции заключается в предупреждении этих явлений, ликвидации очагов и прекращении процессов их развития, увеличении плодородия эродированных и дефлированных почв.

Суть противоэрозионных мероприятий состоит в уменьшении поверхностного стока, сохранении на поле максимального количества атмосферных осадков, переводе поверхностного стока во внутрипочвенный, в усилении противоэрозионной стойкости почв.

Противодефляционные мероприятия направлены на уменьшение скорости ветра и увеличение противодефляционной стойкости почвы.

Защита почв от эрозии и дефляции осуществляется комплексом взаимосвязанных и взаимодополняющих мероприятий. Условно все виды противоэрозионных и противодефляционных мероприятий делятся на четыре группы: землеустроительные (организация территории), агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические.

4.2. Разработка проектов почвозащитной организации территории

Противоэрозионная организация территории состоит в научно обоснованном размещении сельскохозяйственных угодий и различного рода сооружений, препятствующем или уменьшающем развитие эрозии и дефляции почв. Она включает следующие элементы землеустройства:

проектирование сельскохозяйственных угодий (полей, сенокосов, выгонов, лесов) на территории землепользования с учетом рельефа почв и других природных условий;

проведение границ полей в соответствии с элементами рельефа;

размещение технических сооружений (дороги, хозяйственные постройки, гидромелиоративные сооружения, лесопосадки и др.), обеспечивающее защиту почв от эрозии;

разбивка полей севооборотов, способствующая увеличению противоэрозионной стойкости почв.

Опыт показывает, что организация территории без учета противоэрозионной роли землеустройства может привести к интенсивному развитию эрозии.

Генеральные схемы почвозащитной организации территории разрабатывают для отдельных хозяйств, водосборных бассейнов рек, административных районов, областей, республик, всей страны. При составлении схем необходимо учитывать все компоненты природы, их зависимость и взаимообусловленность, а также экологическую ситуацию в целом.

Наибольшее практическое значение имеют проекты землепользования, составляемые для отдельных хозяйств – колхозов и совхозов. Сложность их разработки заключается в том, что при большом разнообразии природных и хозяйственных условий затруднено широкое применение типовых проектов.

При составлении проекта противоэрозионной организации территории следует учитывать материалы, характеризующие не только современные природные условия местности, но и использование земель в прошлом и будущем. Для равнинных условий такие проекты составляют в масштабе 1:25 000 или 1 : 10 000, а для горных и холмистых районов – в масштабе 1 : 5 000 или 1 : 2 000.

Проекты отдельных гидротехнических сооружений составляют в масштабе 1 : 1000, 1 : 500 и 1 : 200. Такие масштабы необходимы, например, при проектировании террас, водоотводных каналов, распылителей стока и др.

При составлении проекта организации территории анализируют прежде всего природные условия. Большое внимание уделяют климатическим факторам, определяющим опасность развития эрозии и дефляции. Исследуют почвенный покров, степень его подверженности эрозии на склонах разной крутизны и длины, выявляют линейные формы эрозии (промоины и овраги), определяют интенсивность плоскостной эрозии, противоэрозионную устойчивость разных почв. Кроме эрозии и дефляции изучают проявление других форм деструкции, таких как оползни, карст, солифлюкция и др.

Низкий противоэрозионный эффект организации территории обычно связан с неправильным размещением границ полей, дорог, лесополос и других линейных элементов, вдоль которых проводится обработка почв и посевов сельскохозяйственных культур. Очень часто указанные линейные элементы размещают так, что они направлены сверху вниз по склону или под углом к направлению склона, а это вызывает сбор поверхностных вод вдоль борозд, дорог и других сооружений и приводит к развитию эрозии. Для эффективной задержки воды осадков на полях необходимо, чтобы длинная сторона полей шла поперек склона (рис. 29).

Основой проектирования размещения сельскохозяйственных угодий и севооборотов является учет характера склонов в пределах водо-

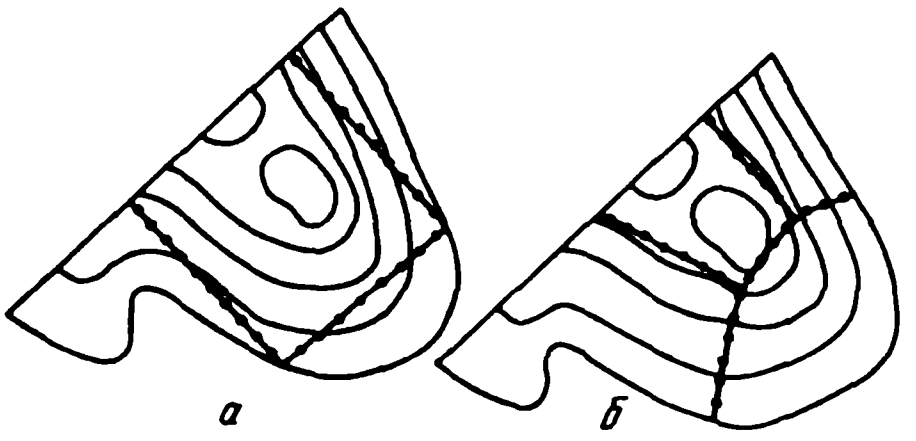


Рис. 29. Нарезка полей по элементам мезорельефа

а – неправильная; б – правильная

сборов балок. Фонд земель водосборов балок делится на три категории:

приводораздельный – участки, примыкающие к водоразделу, с уклоном поверхности до 2...3°;

присетевой – участки, прилежащие к элементам овражно-балочной сети, с уклоном 8...10°;

склоны овражно-балочной сети с уклоном больше 8...10°.

В зависимости от принадлежности земель к указанным категориям планируют не только вид севооборота, но и расположение отдельных клиньев полей, то есть проводят внутриполевую организацию территории. Суть ее заключается в делении площади поля на агротехнически однородные участки с учетом особенностей рельефа и почвы. Затем эти участки делят на части, имеющие форму, удобную для обработки машинами. Границы таких участков должны соответствовать требованиям агротехнически правильного направления противодефляционной и противоэрозионной обработки почв.

Разработку проекта начинают с обоснования наиболее целесообразной специализации хозяйства, учитывая требования защиты почв от эрозии. На основе тщательного учета природных условий разрабатывают противоэрозионные севообороты, противоэрозионную технологию возделывания культур, систему внесения удобрений на склоны, приемы освоения овражных склонов и других неудобий, проектируют размещение противоэрозионных лесонасаждений и противоэрозионных гидротехнических сооружений, дорог, скотопрогонов и других линейных элементов организации территории.

Важной составной частью проекта является обоснование способов наиболее полного вовлечения в сельскохозяйственное производство малопродуктивных эродированных склонов.

В результате исследований последних лет установлено, что в противоэрозионной защите нуждаются обширные площади земель. В прошлом противоэрозионные мероприятия разрабатывали для территорий с преобладающими уклонами 3...5°. Теперь стало ясно, что противоэрозионная организация территории необходима и на более пологих склонах, иногда даже с уклонами 1...0,5° (при определенном сочетании климата, горных пород, типа почв). Практически противоэрозионная организация территории требуется повсеместно.

Одна из главных задач противоэрозионной организации территории – создание условий для применения противоэрозионной техноло-

гии возделывания культур. Организация территории в большой мере определяет эффективность применения других звеньев противоэрозионной системы земледелия, создает организационную основу объединения всех элементов почвозащитной системы земледелия.

Не менее важная задача противоэрозионной организации территории – создание оптимального водного режима для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

В районах, достаточно обеспеченных влагой, необходимо регулировать поверхностный сток с отводом воды в водонакопительные устройства или гидрографическую сеть. В засушливых районах с помощью противоэрозионной защиты предупреждается возникновение склонового стока. Это имеет особенно большое значение для хозяйств. Поволжья, Северного Кавказа, Центрально-Черноземной полосы, Украины, Молдавии, Южного Урала, юга Сибири. Предупредить или максимально уменьшить склоновый сток можно путем правильного размещения линейных элементов организации территории, приемами обработки, увеличивающими водопроницаемость и влагоемкость почв, задержанием на полях снега, талых и ливневых вод и др.

При противоэрозионной организации территории большое значение имеет размещение дорожной сети. Правильно расположенная дорожная сеть уменьшает эрозию, тогда как неправильное размещение дорог ее усиливает, а сами дороги быстро разрушаются. Основную дорожную сеть лучше размещать по линиям водоразделов или совмещать ее с водоотводящими каналами и валами.

4.3. Понятие о полосной и контурной организации территории

При землеустроительном проектировании для достижения высокой производительности сельскохозяйственной техники с широкозахватными орудиями необходима нарезка крупных полей. Это осуществимо только в условиях выровненного рельефа. Однако при сплошной распашке обширных массивов почвы районов с плоским рельефом интенсивно дефлируются. В качестве противодефляционных мероприятий в районах на границах полей проектируют лесополосы. Организация территории, при которой прямолинейные контуры полей чередуются с полезащитными лесными полосами, называется *полосной*. Такое противодефляционное устройство полей характерно для плоских междуречных территорий.

В холмистых и горных районах, где угроза эрозии велика, необходим индивидуальный подход к использованию каждого участка, отличающегося от другого по положению в рельефе. Здесь при решении вопроса о том, чему отдать предпочтение – противоэрозионной защите почв или высокой производительности машин, приоритет должен быть признан первой. В целях предотвращения эрозии в таких районах следует

осуществлять контурную организацию территории, которую уже применяют в Молдавии и других регионах страны.

Контурная организация территории – размещение границ полей по контурам местности с одинаковыми уклонами, то есть проектирование границ полей, лесополос, дорог, ходов обрабатывающих и уборочных машин и разного рода рубежей параллельно горизонталям топографической карты с допустимыми (в отношении эрозии) отклонениями от них.

Контурная организация территории дает возможность наиболее рационально приспособить земледелие к природным условиям, прежде всего к рельефу местности, а вместе с тем и к почвенным, микроклиматическим, гидрологическим условиям, которые изменяются по склону. Этим создаются реальные предпосылки для каждого поля обеспечить проведение сельскохозяйственных работ в оптимальные сроки, рационально подобрать культуру и сорта, систему удобрений. Таким образом, контурная организация территории создает возможность дифференцированного использования ее в соответствии с почвенно-климатическими условиями.

Контурная организация территории особенно необходима для хозяйств с высокой эрозионной опасностью земель при наличии севооборотов, в составе которых имеются культуры с низкими почвозащитными свойствами, а также при закладке садов.

Землеустроительное проектирование начинают с изучения водосборного бассейна рассматриваемой территории. Для проектирования контурной организации территории используют топографическую основу масштаба 1 : 5000 с сечением горизонталей через 0,5 м. При прокладке линейных элементов землеустройства строго по горизонталям в условиях сложного рельефа возникают выключки – необрабатываемые клинья, "глухие" борозды, что снижает коэффициент земельного использования территории.

Контурная организация территории водосборов представляет собой довольно сложную инженерную землеустроительную задачу вписывания полей севооборота в рельеф местности. Длинные границы полей севооборотов размещают по направлению горизонталей. При этом следует иметь в виду, что точное следование горизонталям невозможно из-за их извилистости.

Контурная организация территории, как правило, значительно уменьшает склоновый сток и смыв почвы. Поэтому она является в полном смысле почвоводоохранной. Как показали расчеты, срок окупаемости затрат, связанных с контурной противоэрозионной организацией территории, сравнительно невелик – около 10 лет.

Землеустройство, обеспечивающее противоэрозионную организацию территории, должно быть комплексным. Впервые комплексный подход к сельскохозяйственному использованию земель и охране природы применил В. В. Докучаев, который для охраны черноземов от засухи

и эрозии и увеличения их плодородия разработал научно обоснованную комплексную организацию территории Каменной степи, включающую лесопосадки, залужение оврагов, устройство прудов и др.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие социальные факторы влияют на эрозию почв? 2. Какое влияние оказывают на эрозию и дефляцию различные способы организации территории?

Глава 5. АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ЭРОЗИЕЙ И ДЕФЛЯЦИЕЙ

5.1. Агротехнические противоэрозионные мероприятия

Противоэрозионные севообороты. К агротехническим противоэрозионным мероприятиям относятся приемы, связанные с задержкой поверхностного стока: эрозионные севообороты, выравнивание поверхности почвы, улучшение структуры и фильтрационных свойств почвы, увеличение шероховатости поверхности, затрудняющей поверхностный сток, и др.

Один из основных агротехнических приемов — правильная организация системы противоэрозионных севооборотов. Применение определенных видов севооборотов на склонах той или иной крутизны связано с тем, что различные культуры севооборота по-разному защищают почвы от эрозии. По степени возрастания противоэрозионной стойкости сельскохозяйственные культуры выстраиваются в следующий ряд: пар < пропашные < яровые < озимые < многолетние травы.

На эрозионную стойкость почв влияет также последовательность размещения культур в севообороте. Например, Донской зональный институт сельского хозяйства выработал следующую схему размещения и чередования культур в 8-польном севообороте для черноземов своего района: 1 — многолетние травы, 2 — кукуруза, 3 — кукуруза, 4 — озимые на корм скоту, 5 — корнеплоды, 6 — ячмень, 7 — кукуруза, 8 — однолетние травы.

Для борьбы с развитием эрозии предусматривают противоэрозионную структуру посевных площадей, зависящую от крутизны склонов (табл. 23).

В лесной зоне склоны крутизной до 8...9° используют под обычные севообороты, при этом склоны крутизной > 5° распахивают поперек. На склонах крутизной 9...15° организуют специальные почвозащитные севообороты. Склоны 16...18° исключают из интенсивного земледелия. На них сеют люцерну, ползучий клевер. Почвы, непригодные для ведения сельского хозяйства, используют под лесные культуры.

При выборе способа обработки почв следует учитывать экспозицию склона. На северных, более пологих склонах целесообразно прово-

23. Схема противоэрозионной структуры посевных площадей на склонах разной крутизны в Белоруссии и Латвии

Культура	Процент от севооборотной площади при крутизне склона, град		
	9...15	15...18	18...20
Многолетние травы	30...40	70...80	100
Озимые зерновые	40...50	20...30	–
Яровые зернобобовые	15	–	–
Занятый пар	15	–	–

дить однократную распашку поперек склонов, на южных, более крутых – дискование без распашки и посев трав. Расчлененные склоны любой экспозиции нельзя обрабатывать, их засаживают кустарниками (ивы, акация).

Длинные склоны разбивают по горизонтали на несколько полос. На них организуют севообороты, в которых площади зерновых чередуются с площадями кормовых культур и трав, служащих почвозащитными культурами. Полосы на поле располагают так, чтобы они имели разные сроки сева и уборки. На нетеррасированных склонах чем круче склон, тем уже делают полосы. Обычно их ширина 15...30 м. На особо эрозионно опасных склонах полосы из многолетних трав делают постоянными. На таких полосах, помимо многолетних трав, могут быть кустарники и деревья.

В районах, где позволяет набор культур, применяют узкополосные севообороты. Например, в Молдавии при узкополосной культуре суданской травы и эспарцета урожай возрос более чем в 20 раз – вместо 1...1,2 т/га естественных трав стали получать 26...28 т/га.

Наиболее крутые склоны укрепляют тем, что оставляют естественные луга, в которые подсевают наиболее эрозионно устойчивые травы. Культуры подбирают, исходя из региональных особенностей. Из травянистых растений хорошо защищают почву от эрозии клевер, люцерна, донник, тимофеевка луговая, ежа сборная, пырей, житняк и др. Противоэрозионная роль многолетних трав обусловлена главным образом тем, что их покров существенно увеличивает шероховатость почв, которая способствует задержанию воды на водоразделах и склонах, а мощные корневые системы скрепляют почву. Под влиянием живых и отмерших корней образуется водопрочная зернисто-комковатая структура, накапливается гумус. Распашка пласта многолетних трав дает почвы с хорошо агрегированным пахотным горизонтом, повышенной фильтрационной способностью, то есть с повышенной противоэрозионной стойкостью.

Способы предотвращения ирригационной эрозии почв. Эрозия

почв часто развивается на орошаемых территориях. Она возникает при разных способах полива, в том числе при дождевании. Развитие ирригационной эрозии ухудшает мелиоративную обстановку на орошаемых землях, снижает их плодородие, уменьшает коэффициент использования поливной воды, увеличивает затраты на ее подачу, снижает эффективность полива.

Предотвращение эрозии почв при орошении по бороздам или полосам достигается с помощью следующих мероприятий: снижения скорости потока в головной части борозды, повышения шероховатости поверхности, уменьшения уклона борозд, повышения противоэрозионной стойкости почв.

Одно из главных мероприятий – уменьшение скорости потока. Это достигается в основном уменьшением подачи в борозду воды до расхода, при котором поток имеет допустимую скорость, равную 0,8 его размывающей скорости.

Скорость потока воды в бороздах можно также уменьшить, нарезая их под острым углом к горизонталям (скошенные борозды) или по направлениям, близким к горизонталям (контурные борозды). Контурное орошение резко снижает эрозию почв и позволяет увеличить длину борозд, а следовательно, и производительность работы поливальщиков. При таком орошении временные оросители и выводные борозды, располагаемые перпендикулярно поливным бороздам, могут подвергаться размыву. Поэтому их следует заменить трубопроводами. Контурные поливные борозды требуют тщательной планировки поверхности и большей глубины для предотвращения прорыва воды в нижележащую борозду. Это приводит к увеличению ширины междурядий с 60 до 90 см.

Иногда нарезают извилистые борозды, которые делают специальными катками.

Эрозию почв при поливе по бороздам можно значительно уменьшить путем повышения противоэрозионной стойкости почв. Это достигается созданием водопрочной структуры почв, а также предварительной замочкой поливных борозд при подаче малых расходов поливной воды. Предварительное увлажнение повышает водовпитывание и в несколько раз снижает эрозию. Хороший противоэрозионный эффект дает обработка поливных борозд полимерами-структурообразователями. Например, внесение в почву препарата К-4 (гидролизованный полиакрилонитрил) в дозах от 0,005 до 0,05 % массы пахотного горизонта повышает противоэрозионную устойчивость почв в 1,7...15 раз.

При поливе дождеванием образование стока связано с неспособностью почв впитать поливную норму воды. Предотвратить возникновение стока на слабоструктуренных почвах черноземного и каштанового типов можно в результате применения почвозащитной технологии полива, которая основывается на использовании эрозионно допустимых поливных норм (ЭДПН), применении агротехнических приемов, на-

правленных на увеличение впитывающей способности почв, соблюдении оптимальных сроков полива.

Чтобы предотвратить эрозию почв при дождевании, определяют показатель и параметры безнапорного впитывания воды в почву методом экспериментального дождевания в полевых условиях, рассчитывают на их основе эрозионно допустимые поливные нормы и учитывают их динамику в течение оросительного периода (вводят коэффициенты, учитывающие растительный покров, уклон местности, плотность почвы и др.).

Имея расчетную интегральную кривую дефицита водного баланса для конкретной культуры, построенную по общепринятой методике, и расчетный календарный график изменения эрозионных предельно допустимых поливных норм, строят проектный эрозионно безопасный режим орошения.

Увеличение впитывающей способности почв, а следовательно, эрозионных предельно допустимых поливных норм, достигается включением в систему основной обработки почвы безотвального рыхления на глубину 30...35 см, проведением предполивных культиваций пропашных и овощных культур, внесением высоких (до 100...200 т/га) доз органических удобрений.

Специальные приемы обработки почв. Противоэрозионного эффекта можно достичь с помощью специальных приемов обработки почвы (табл. 24). Важным противоэрозионным мероприятием в холмистых районах является контурная вспашка в горизонтальном направлении, при которой каждая борозда на всем протяжении находится на одном

24. Показатели эффективности различных агротехнических водозадерживающих приемов на черноземах и серых лесных почвах Центрально-Черноземных областей

Водозадерживающий прием	Сокращение стока* (мм) в среднем за год по сравнению со стоком при вспашке вдоль склона	
	черноземы	серые лесные почвы
Зяблевая вспашка поперек склона	8,5	8,0
Зяблевая вспашка с почвоуглублением на 10...15 см	10,8	13,1
Вспашка с прерывистым бороздованием	20,8	13,4
Вспашка с лункованием	12,7	9,2
Щелевание зяби, озимых, многолетних трав	32,0	–
Обвалование зяби и гребнистая вспашка	8,3	13,1
Безотвальная обработка почвы	11,5	19,5

* Приведенные данные относятся только к стоку талых вод, размер которого в Центрально-Черноземных областях составляет до 80 мм в год.

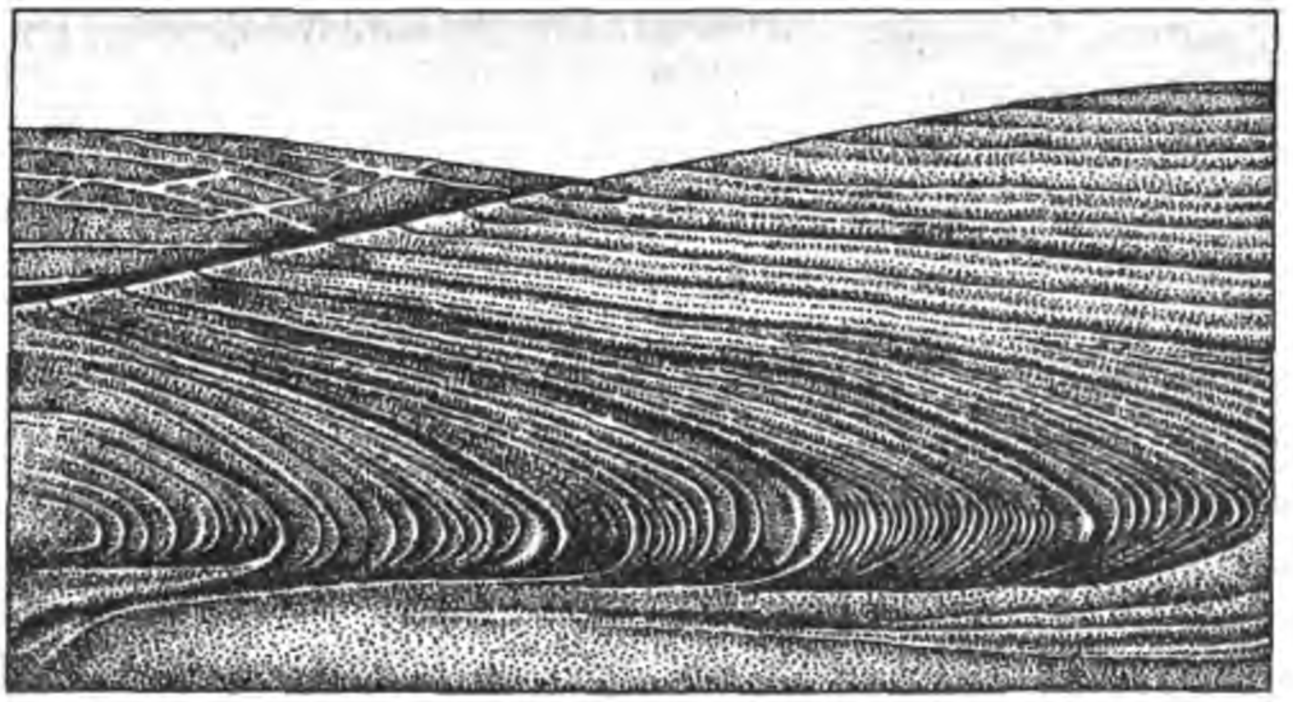


Рис. 30. Контурная обработка почв склона

уровне. При прослеживании гонов почвообрабатывающих машин по карте оказывается, что они идут параллельно горизонталям (рис. 30).

На полях, имеющих микрорельеф и расположенных на склонах, в качестве противоэрозионного мероприятия проводят выравнивание поверхности почвы. Этот прием способствует более равномерному распределению поверхностных вод и устраняет очаги водной эрозии.

На тяжелых почвах на полях с пропашными, яровыми и на зяби для увеличения фильтрации почв применяют такие приемы, как лункование с организацией временных дрен. Это мероприятие осуществляют для перевода поверхностного стока во внутрипочвенный. На эрозионно опасных участках широко применяют обвалование, чтобы задержать воды на полях. Это мероприятие используют на длинных склонах крутизной 2...5°. Эффективным агротехническим противоэрозионным приемом служит создание систем борозд с временными валами. Валы бывают высотой до 50 см и шириной до 100 см. Борозды направляют в соответствии с уклоном местности так, чтобы они отводили избыток вод в укрепленные ложбины. Для уменьшения поверхностного стока широко применяют гребнистую вспашку, с этой целью один из отвалов пятикорпусного трактора плуга делают более длинным.

Большое положительное воздействие на почвы оказывает увеличение глубины зяблевой вспашки до 30...35 см, что повышает фильтрационную способность почв и тем самым не только снижает сток, но и увеличивает влагозапас почв. Этот прием на черноземах проводят через 4...5 лет, на каштановых почвах – через 2...3 года.

Те же цели преследуют такие приемы, как щелевание и кротование. Щелевание – нарезка щелей глубиной 60...70 см через 70...180 см путем установки на раме плуга ножей-щелерезов. Кротование – вспашка плугом и кротователем, которые на глубине 30...40 см создают кротовины диаметром 6...8 см через 70...140 см.

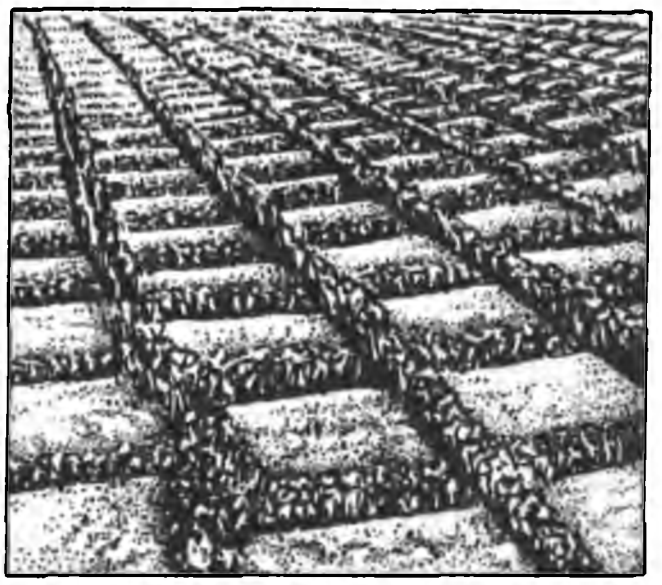


Рис. 31. Вид пашни, обработанной противоэрозионным катком

Рис. 32. Типы гребневых террас:

а – полученные при обработке плугом всвал; *б* – полученные при обработке плугом в одном направлении

Как было отмечено, развитие эрозии почв в значительной степени затормаживается при увеличении шероховатости их поверхности. Чтобы придать почвам шероховатость, зяблевую пахоту не боронуют, на полях оставляют удлиненную стерню, на наиболее эрозионно опасных участках поверхность почвы мульчируют, используя для этого солому или измельченные стебли пропашных культур.

Противоэрозионную роль играет уничтожение корки на поверхности почвы путем боронования поля перед посевом зяби.

Большое противоэрозионное значение имеет прерывистое бороздование – напашка борозд однолемешным плугом с последующим сооружением перемычек. Глубина борозд 20...25 см, расстояние между ними 5...10 м, а между перемычками 1...3 м. Чем ниже по склону и чем круче склон, тем чаще делают борозды и перемычки в бороздах.

Такую же роль играет обработка почвы противоэрозионными катками, микроячеистое бороздование, или крестование. Это прием, при котором поле покрывают бороздами, сделанными на расстоянии 1... 0,5 м, и затем их перекрывают сетью таких же борозд в перпендикулярном направлении. Образуются микроячейки, собирающие дождевую и талую воду (рис. 31).

При крутизне склона свыше 8° сооружают гребневые террасы. Размер террас и их уклон регулируют таким образом, чтобы перехватить поверхностный сток до того момента, когда он наберет скорость, и отвести по защищенному каналу к водосбросу. Гребневые террасы напахивают тракторным плугом (рис. 32).

В некоторых случаях для защиты почв от эрозии применяют мульчирование. Наиболее широко этот вид защиты почв применяют на поливных бороздах. Самым распространенным из пригодных для этой цели материалов является резаная солома. При поверхностном способе внесения мульча повышает шероховатость поверхности поливных борозд, увеличивает противоэрозионную стойкость почв и служит дополнительным гидравлическим сопротивлением. При внесении мульчи снижается скорость потока, его размывающая и транспортирующая способность. Норма внесения мульчи зависит от поливной нормы и крутизны склона (табл. 25).

25. Норма мульчирования соломой (т/га, знаменатель) для поливных борозд при разных расходах воды (л/с, числитель) и уклонах

Почвогрунты	Уклон поливных борозд			
	0,04	0,01	0,005	0,002
Сильноводопроницаемые супеси и легкие суглинки, подстилаемые галечником на глубине около 1 м	0,10 / 2,7	0,50 / 2,7	0,75 / 1,7	1,50 / 0,4
Легкие мощные суглинки повышенной водопроницаемости	0,10 / 2,7	0,25 / 1,2	0,75 / 1,7	1,00 / 0,0
Средние суглинки средней водопроницаемости	0,10 / 2,7	0,25 / 1,2	0,50 / 0,8	0,50 / 0,0
Тяжелые суглинки пониженной водопроницаемости	0,10 / 2,7	0,10 / 0,0	0,25 / 0,0	0,25 / 0,0
Глины и суглинки слабой водопроницаемости, подстилаемые непроницаемыми прослойками	0,05 / 1,7	0,05 / 0,0	0,10 / 0,0	0,10 / 0,0

5.2. Агротехнические приемы защиты почв от дефляции

В систему агротехнических мероприятий по защите почв от дефляции входят почвозащитные севообороты, полосное размещение сельскохозяйственных культур, создание кулис, противодефляционное мульчирование, почвозащитная бесплужная обработка земель, химические средства борьбы с дефляцией. При размещении противодефляционных средств большее внимание отводится не рельефу, как при борьбе с эрозией почв, а направлению ветра.

Почвозащитные севообороты. Они служат организационной основой мероприятий по защите почв от дефляции. Установлено, что многолетние травы (мятлик, люцерна, эспарцет) обладают значительно большими почвозащитными свойствами, чем однолетние. При посеве в севооборот или при залужении они в течение всего года хорошо защищают почву от воздействия ветра. Максимальная густота посевов многолетних трав наблюдается в течение 3...4 лет. В последующем почвозащитные свойства и продуктивность многолетних трав снижаются. Озимые культуры также обладают высокими почвозащитными свойствами. Яровые культуры характеризуются кратковременностью защитного воздействия на почву.

Наиболее дефляционно опасен чистый пар. Паровое поле нуждается

в проведении дополнительных почвозащитных мероприятий (создание кулис и др.). Использование многолетних трав в качестве почвозащитного средства зависит от степени опасности и фактической подверженности почв дефляции. Опыты, проведенные в зоне каштановых почв, показали, что на сильнодефлированных почвах наиболее эффективно сплошное залужение (задернение) на период до 5...8 лет. Для этих целей в Сибири рекомендуется использовать житняк гребенчатый, пырей, волоснец ситниковый и сибирский, люцерну сорта Табунская, эспарцет песчаный, донник.

На среднедефлированных почвах высокий почвозащитный эффект обеспечивают севообороты с полями многолетних трав на 40...50% площади при таком чередовании культур: 1...2-е годы – многолетние травы, 3...4-е годы – яровая пшеница, или 1...2-е годы – многолетние травы, 3-й год – пар (после первого укоса трав), 4...5-е годы – яровая пшеница. Пар необходим для создания хороших запасов влаги в почве (особенно в засушливые годы) и для очищения почвы от сорняков. В севооборотах с черным паром урожайность яровой пшеницы на степных почвах Сибири увеличивается на 0,3...0,5 т/га.

На слабодефлированных и недефлированных почвах наилучший экономический эффект дает введение зернопаровых севооборотов с короткой ротацией: 1-е поле – чистый пар, 2...3-е поля – яровая пшеница, 4-е поле – зернофуражные культуры. Недостаток таких севооборотов состоит в том, что на паровом поле возможно проявление дефляции, особенно на супесчаных почвах.

Высокий экономический эффект на слабодефлированных почвах достигается применением зернопропашных севооборотов. При таких севооборотах несколько снижается урожай зерновых, но обеспечивается максимальный сбор растениеводческой продукции с 1 га севооборотной площади. Правда, содержание белка при этом понижено. Кроме того, поля с пропашными культурами обладают потенциально высокой опасностью быть подвергнутыми дефляции весной и осенью, особенно при отвальной обработке зяби в сухую осень, предшествующую посеву. В малоснежные зимы может проявляться зимняя дефляция.

Зернопаротравяные севообороты дают еще меньшие урожаи и выход зерна с 1 га севооборотной площади, но характеризуются наилучшей обеспеченностью белком кормовой единицы и высокими почвозащитными свойствами.

В степных и засушливых лесостепных районах схемы севооборота выбирают в зависимости от потенциальной опасности дефляции почв, климата, рельефа, специализации хозяйства.

На недефлированных и слабодефлированных почвах в хозяйствах зернового направления наиболее эффективны зернопаровые севообороты, в хозяйствах зерново-животноводческого направления – зернопаровые и зернопропашные севообороты с короткой ротацией (трех- и пятипольные).

На средне- и сильнодефлированных почвах хорошие результаты обеспечивают почвозащитные севообороты с высоким (50 % и более) удельным весом многолетних трав при полном исключении из ротации пропашных. Для борьбы с засухой, дефляцией почв и повышения продуктивности севооборотов эффективны применение кулис, сохранение стерни, мульчирование почвы и другие приемы, направленные на повышение влагозапасов в почве.

На наиболее сильно дефлированных почвах применяют сплошное залужение.

Для недефлированных и слабодефлированных почв Западной Сибири рекомендуются следующие севообороты:

Трехпольный	*Четырехпольный*	*Пятипольный*
1 – чистый (кулисный) пар; 2...3 – пшеница	1 – чистый (кулисный) пар; 2...3 – пшеница; 4 – зернофуражные культуры	1 – чистый (кулисный) пар; 2...3 – пшеница; 4 – зернофуражные культуры 5 – многолетние травы (выводное поле)
1 – полосное размещение кулисного пара и пшеницы; 2 – полосное размещение пшеницы и кулисного пара; 3 – пшеница (на всем поле)	1 – полосное размещение кулисного пара и пшеницы; 2 – полосное размещение пшеницы и кулисного пара; 3...4 – пшеница (на всем поле)	

Некоторые особенности по сравнению с противодефляционной защитой минеральных почв имеет система противодефляционных мер на распаханных торфяниках.

Противодефляционная защита торфяников, разработанная Белорусским НИИ почвоведения и агрохимии, включает, как и в других случаях, противоэрозионную организацию территории, агротехнические и лесомелиоративные мероприятия. Основой противодефляционной организации территории является введение почвозащитных севооборотов на маломощных торфяниках (с мощностью торфяного слоя менее 1 м), которые наименее устойчивы против дефляции. Почвозащитные севообороты состоят из четырех полей многолетних трав и двух полей зерновых, пропашные культуры исключаются. Эффективность почвозащитных севооборотов может быть повышена введением промежуточных культур.

Наиболее эффективный агротехнический прием на торфяных почвах – сев культур в ранние сроки перекрестным способом. При раннем севе почва быстрее попадает под защиту растений и, кроме того, ранний сев проводят на более влажной почве, на которой усилена структуро-

образующая роль обрабатывающих орудий. Оструктуренная поверхность торфяной почвы лучше сопротивляется дефляции.

К числу эффективных противодефляционных мероприятий относится прикатывание зерновых яровых культур кольчато-шпоровыми и кольчато-зубчатыми катками, которые создают шероховатую поверхность.

Важную роль в защите торфяных почв от развевания играет создание полезащитных лесных полос. Основные полосы (продольные) располагают перпендикулярно направлению господствующих ветров, расстояние между ними не должно превышать 25 высот полос в 25...30-летнем возрасте. Расстояние между поперечными полосами не должно превышать 1 км. Размещение полос строго увязывают с дорожной, осушительной, дренажной сетью и границами полей. Оптимальной считается трехпятирядная продуваемая полоса, состоящая из высокоствольных древесных пород при наличии кустарников в опушечных рядах. Расстояние в рядах между деревьями 0,7...0,8 м, расстояние между рядами 1,5... 2 м. В лесополосах сажают тополя, березу, осину, ель, сосну, в качестве подлеска – рябину, смородину.

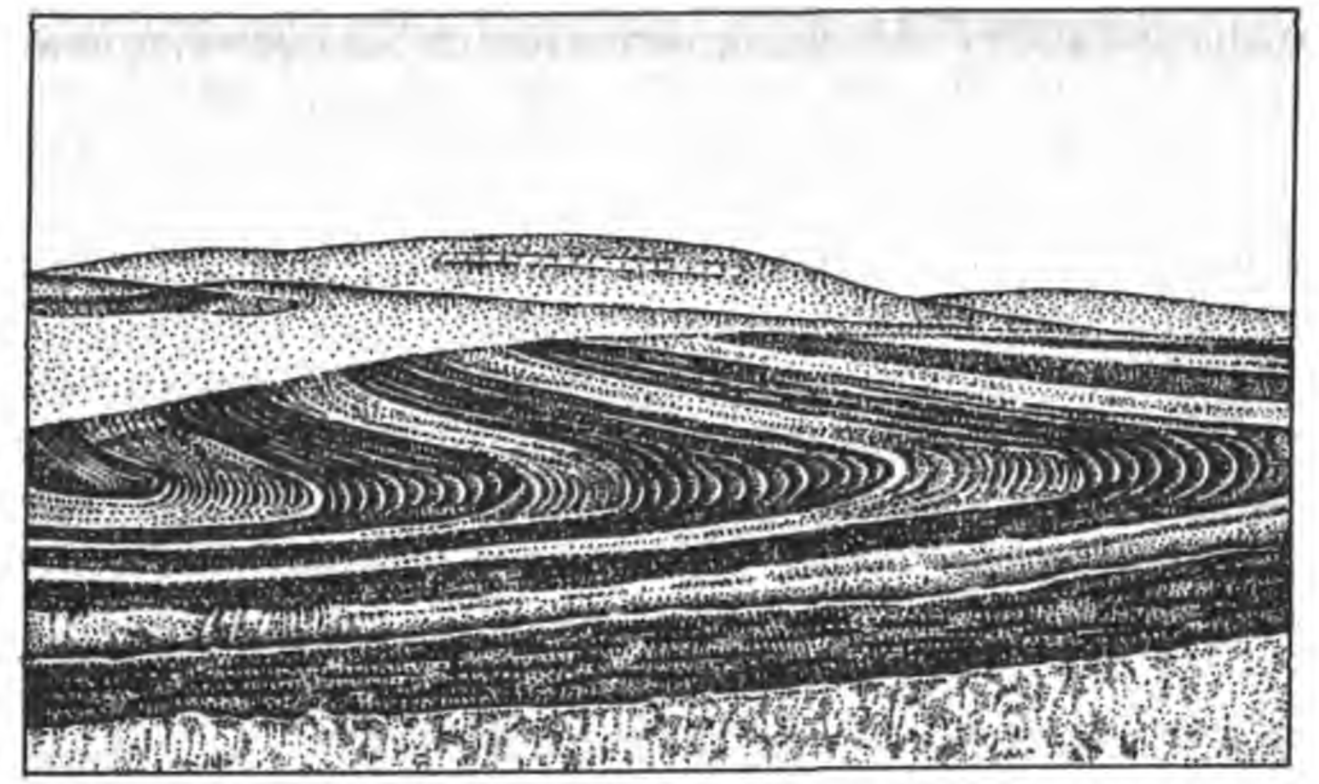
Полосное размещение сельскохозяйственных культур. В пределах одного поля высевают разные культуры по полосам, имеющим определенную ширину. Почвозащитное воздействие такого земледелия связано с тем, что для полос подбирают культуры, имеющие разные сроки сева и созревания. В результате этого в период предпосевной обработки обнаженными и не защищенными от ветра остаются лишь узкие полосы почвы, на которых ветровой поток не успевает оказать сильное разрушающее воздействие. Полосы размещают поперек преобладающего направления ветра. Полосное размещение сельскохозяйственных культур получило широкое распространение в степной полосе Сибири на почвах легкого гранулометрического состава.

Полосное размещение сельскохозяйственных культур дает высокий почвозащитный эффект. Особенно велика роль полосного размещения культур в снижении дефляционной опасности на почвах легкого гранулометрического состава, занятых чистыми парами и пропашными культурами (рис. 33, *а*).

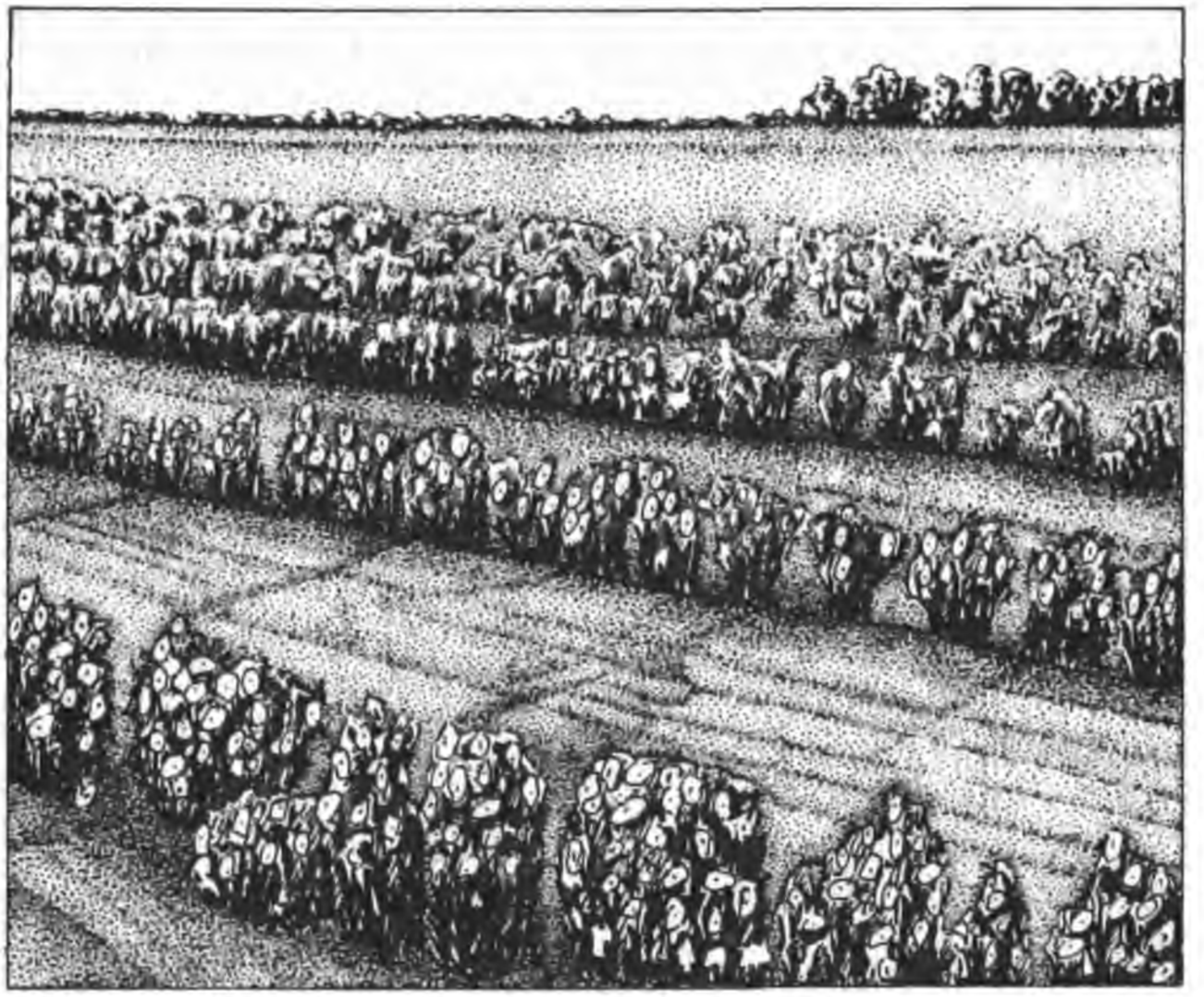
Ширина полосы чистого пара зависит от условий дефлируемости почвы конкретного поля. Для определения ширины полос защищаемого поля, которые должны чередоваться с защитными полосами сельскохозяйственных культур, У. Чепил разработал следующую эмпирическую формулу:

$$W = \cos A \left[h \left(17 \frac{v_0}{v} \right) + b \frac{16\,500}{X} \left(\frac{40}{v} \right)^3 \right],$$

где W – ширина полос защищаемого поля, футы; A – угол отклонения направления полос от перпендикулярного к направлению господствующего ветра, град;



а



б

Рис. 33. Приемы агротехнической защиты почв от дефляции:

а – полосные посевы культур; *б* – кулисы из посевов подсолнечника

h – высота защитной культуры или стерни, футы; v_0 – критическая скорость ветра, мили/ч; v – скорость ветра на высоте флюгера, мили/ч; b – коэффициент, характеризующий допустимую интенсивность дефляции; X – коэффициент дефлируемости, т/акр, приблизительно равный: на песках – 6, на супесях – 13, на легких суглинках – 22, на средних суглинках – 29, на тяжелых суглинках – 35, на глинах – 9. (Фут равен 0,3 м; миля – 1,6 км; акр – 0,4 га).

Выражение $h(17\frac{v_0}{v})$ дает расстояние от защитной полосы до места полного отсутствия дефляции. Выражение $b\frac{16\,500}{X}(\frac{40}{v})^3$ дает расстояние от места, в котором начинается дефляция, до места, где она достигает максимума. Это расстояние значительно больше первого. Защитную полосу, препятствующую распространению зоны интенсивного развевания, необходимо создавать там, где дефляция достигает максимума. Ширина полос поля для северных областей Казахстана варьирует от 150 м для глинистых почв до 100 м – для легкосуглинистых и 50 м – для супесчаных (табл. 26).

26. Оптимальная ширина полос при полосном размещении зерновых культур, пара и многолетних трав в зависимости от почвенного покрова и рельефа местности

Почвы	Ширина полос, м		
	на ветротеневых склонах	на выровненных однородных массивах	на ветроударных склонах, вершинах грив и увалов
Черноземы обыкновенные:			
песчанисто-легкосуглинистые	150...125	100	75...50
супесчаные	75	50	25
Черноземы южные и темно-каштановые:			
песчанисто-легкосуглинистые	100	75	50
супесчаные	50	25	25
щебнистые супесчаные	75	50	25
Каштановые:			
песчанисто-легкосуглинистые	75	50	30
супесчаные	30	20	
щебнистые супесчаные	50	30	20
Лугово-черноземные и лугово-каштановые супесчаные	75...50	50...30	–

При отклонении от перпендикулярного направления к господствующим ветрам ширина полос уменьшается по мере увеличения угла отклонения (табл. 27).

Полосы чистого пара, так же как и полосы пропашных, должны чередоваться с полосами зерновых и зернофуражных культур. На дефлируемых почвах в Павлодарской области малый вынос мелкозема наблюдается при чередовании полос чистого пара шириной 50...100 м с полосами кукурузы шириной 100...200 м. Полосы располагаются перпендикулярно к направлению господствующих ветров. На чистых парах для

27. Зависимость ширины (м) почвозащитного влияния полос поля при полосном размещении сельскохозяйственных культур в степных районах от гранулометрического состава почв и ориентированности полос к преобладающему ветру

Наименование почв по гранулометрическому составу	Угол между полосой и направлением активных ветров		
	90°	60°	45°
Песок	6	5,4	4,2
Супесь	7,5	6,6	5,4
Глина опесчаненная	24	22,5	16
" пылеватая	45	27,6	21
Суглинок	75	42	33
" опесчаненный	30	70	51
" пылеватый	85	78	57
" иловатый	105	97	75

уменьшения дефляции почв должно быть сокращено число механических обработок почвы.

Хорошим противодефляционным средством служат кулисы, которые можно применять как на чистых парах, так и на посевах яровых и многолетних трав (рис. 33, *б*). На чистых парах кулисы создают из посевов подсолнечника, горчицы и других культур. Кулисы, применяемые на парах, способствуют накоплению снега, уменьшают глубину промерзания почвы, защищают ее от осенней, зимней и весенней дефляции, обеспечивают более полную влагозарядку почвы.

Кулисы в посевах пшеницы, идущей по чистому пару, создают из подсолнечника. Они способствуют накоплению снега под посев пшеницы второго года, а кулисы в посеве пшеницы второго года создают для увеличения запасов влаги под третью зерновую культуру. Обработку почв в этом случае проводят следующим образом. После уборки яровой пшеницы, идущей по чистому пару, поля под следующую зерновую культуру обрабатывают плоскорезами с тем, чтобы на поверхности почвы оставалась стерня. Остающиеся стебли кулисных растений задерживают снег на поле. Остатки кулисных растений уничтожают весной перед вторым посевом яровой пшеницы, сгребая их боронами или срезая культиваторами. При посеве пшеницы или другой культуры по пару оставляют "просев", на который затем высевают кулисные растения подсолнечника.

Кулисы в посевах многолетних трав хорошо себя зарекомендовали в степных районах Западной Сибири. Здесь освоены зернопаровые севообороты с полем многолетних трав и почвозащитные сенокосно-пастбищные севообороты. Большие площади многолетних трав здесь также размещены в виде массивов сплошного залужения на сильно-

дефлированных почвах. Многолетние травы обладают высокими почвозащитными свойствами, однако на богаре они низкопродуктивны (0,7... 1,5 т/га сена), главным образом из-за недостатка влаги. Почвозащитная система земледелия предусматривает применение всего комплекса мероприятий по защите почв от эрозии и дефляции, включая землеустроительные, агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические.

Противодефляционная обработка почвы. Задача почвозащитной технологии состоит прежде всего в предотвращении дефляции на полях, занятых чистыми парами и пропашными культурами.

Чистый пар обрабатывают весной в возможно ранние сроки культиватором-плоскорезом на глубину 8...10 см. Этот прием позволяет подрезать корни многолетних и однолетних сорняков, на 85...90 % сохранить стерню и в то же время закрыть имеющуюся в почве влагу. После отрастания сорняков почву снова обрабатывают на глубину 10...12 см. Третью и четвертую обработку пара проводят тем же способом по мере отрастания многолетних сорняков и появления всходов однолетних сорняков. При засорении поля осотом и другими корнеотпрысковыми сорняками глубину каждой последующей обработки увеличивают на 1... 2 см, а последнюю обработку проводят в конце августа на глубину до 25 см.

Пласт многолетних трав на легких почвах обрабатывают полосами шириной 50...100 м через каждые 50...100 м нетронутого участка трав. Обработку ведут плоскорезами, оставляя стерню. Все поле обрабатывают за 2...3 года.

Обработка почв под зерновые яровые культуры в районах, подверженных дефляции, имеет свои особенности. Осенью ее осуществляют без оборота пласта с помощью плоскорезов и лущильников, что предотвращает вынос мелкозема с поверхности почв. Предпосевную обработку почвы, выполняемую так же без оборота пласта, проводят дисковыми лущильниками с последующим прикатыванием. Посев ведут таким образом, чтобы сохранить максимум стерни на поверхности. Для этого используют сеялки-лущильники ЛДС-4А, которые дают возможность проводить одновременно и предпосевную обработку почвы, и посев при сохранении 20 % стерни на поверхности почвы. Хороший результат дает также посев сеялками-культиваторами СЗС-9, которые одновременно обрабатывают почву, вносят удобрения, высевают семена и прикатывают рядки. При таком способе посева сохраняется 35...40 % стерни на поверхности почвы.

Важно также правильно выбрать срок сева, учитывая особенности погодных условий и время наступления спелости почвы, и проводить его в кратчайшие сроки. Для осеннего – ранневесеннего закрытия почвенной влаги и провокации всходов сорняков хороший эффект обеспечивают игольчатые бороны БИГ-3.

Обычно в районах сухой степи основную массу соломы используют в качестве корма или подстилки скоту. Однако часть ее, особенно при

избытке, следует применять для борьбы с дефляцией почв, что экономически оправдано, так как солома не только защищает почву от дефляции и способствует сохранению влаги, но и служит органическим удобрением. Для мульчирования солому разбрасывают равномерно по поверхности поля.

Химические методы защиты почв от дефляции. В качестве почвозащитного химического препарата для борьбы с дефляцией используют сланцевую смолу, которая, пропитывая комочки почвы, придает им большую прочность. Хорошие результаты также дает применение в качестве искусственного структурообразователя, защищающего почвы от дефляции, латекса СКС-65-ГП, который вносят в количестве 60...20 кг/га.

Применение смол и других веществ повышает устойчивость почв, но экономически себя не оправдывает из-за высокой стоимости препаратов.

Следует подчеркнуть, что все агрохимические мероприятия, способствующие увеличению биомассы и урожайности растений, являются и почвозащитными, так как вследствие более интенсивного развития растений почва надежнее прикрывается от разрушающего воздействия ветра и сильнее скрепляется корнями. К таким агрохимическим мероприятиям относится внесение удобрений. Тот же эффект дают орошение введение высокоурожайных сортов и др.

5.3. Почвозащитная бесплужная система земледелия

Один из важнейших приемов защиты почв от эрозии и дефляции — система бесплужного почвозащитного земледелия, которая представляет собой обработку почвы без оборота пласта с накоплением на поверхности почвы слоя мульчи из растительных остатков, защищающих почву от разрушающего действия дождевых капель, эрозии и дефляции, непродуктивного испарения почвенной влаги. Эта система способствует охране почв, повышению их плодородия, улучшению влагообеспеченности растений, позволяет резко увеличить валовые сборы сельскохозяйственной продукции. Применение бесплужной технологии существенно сокращает энергетические затраты на обработку почв. Это обусловлено снижением нагрузки на рабочие органы почвообрабатывающих машин, возрастанием производительности труда, экономией топлива.

Благодаря бесплужному земледелию в условиях интенсивного производства создаются условия, близкие к условиям, характерным для естественного дернового процесса почвообразования. В природных условиях дерновый процесс создает мощный, богатый гумусом дерновый горизонт, обладающий высоким плодородием. При распашке целинных почв этот процесс резко нарушается из-за отчуждения органических остатков с урожаем. Измельчение корней при вспашке и запахивание стерни исключает защитную роль растений. Обнаженная и не

скрепленная корнями поверхность почвы легко подвергается размыванию и развеванию.

Бесплужная технология возделывания сельскохозяйственных культур создает условия, защищающие поверхность почвы от эрозии и дефляции, делает более благоприятными для растений агрофизические свойства почв, улучшает их питательный и водный режим. Сочетание плоскорезной обработки с обработкой почвы тяжелой дисковой бороной позволяет создать благоприятные для растений условия в корнеобитаемом слое, физические свойства которого приближаются к свойствам целинной почвы с хорошо развитым дерновым горизонтом.

Благодаря использованию более легких почвообрабатывающих орудий уменьшается их неблагоприятное воздействие на физические свойства почв, связанное с их уплотнением, разрушением структуры, а накопление на поверхности почвы мульчи из растительных остатков повышает способность почвы противодействовать распылению и разрушению ее структуры. Оставленная стерня способствует большему накоплению снега в почве, уменьшению глубины промерзания, увеличению запасов влаги, поступающей в почву при снеготаянии. В начале лета мульча снижает температуру поверхности почвы в часы ее максимального нагрева, уменьшает непродуктивное испарение почвенной влаги. Сохранение на поверхности почвы растительных остатков и внесение минеральных и органических удобрений при бесплужной обработке улучшает питательный режим почвы, способствует созданию оптимальных условий для развития растений.

Вследствие создания лучших водно-физических условий повышается биологическая активность почвы, что повышает процент всхожести семян и лучший рост растений в начале вегетации, обеспечивающий более раннюю противоэрозионную защиту почвы.

Для бесплужной обработки почвы используют легкие широкозахватные и высокопроизводительные машины и орудия, что не только повышает производительность труда и уменьшает металлоемкость сельскохозяйственного производства, но и снижает механическую нагрузку на почву и разрушающее воздействие на ее структуру, обеспечивает эффективность борьбы с эрозией и дефляцией.

Приемы бесплужной обработки почв. *Плоскорезную обработку* почвы без оборота пласта проводят культиваторами, плоскорезами и плоскорезами-глубокорыхлителями, на глубину от 8...10 до 27...30 см. Основная особенность такой обработки состоит в том, что при минимальном рыхлении на поверхности почвы остаются стерня и другие растительные остатки. Ее применяют во всех степных и лесостепных районах страны, то есть в условиях засушливого климата, а также в зонах с климатом недостаточного и неустойчивого увлажнения.

Поверхностную обработку почвы на малую глубину (до 10...12 см) проводят дисковыми орудиями на полях, идущих под озимые культуры после непаровых предшественников. Ее применяют как в зонах

недостаточного и неустойчивого увлажнения, так и в зонах устойчивого увлажнения.

Обработку почвы комбинированными агрегатами на малую глубину (до 6...10 см) осуществляют под озимые и яровые культуры. После непаровых предшественников она позволяет за один проход агрегата подготовить почву к посеву, создать мелкокомковатый слой почвы. Ее применяют в зонах недостаточного, неустойчивого и устойчивого увлажнения.

Чизельную обработку тяжелосуглинистых и глинистых почв без оборота пласта проводят при помощи чизелей на глубину от 10...12 до 28...30 см, а иногда и больше. Ее применяют в зонах устойчивого и избыточного увлажнения.

Обработку глубокорыхлителями без оборота пласта избыточно влажных поверхностно-глеевых почв проводят на вымочках, на участках с плохо работающим закрытым дренажем. Глубина обработки 60... 70 см. Ее применяют для отвода избыточных вод.

Щелевание – обработка почвы без оборота пласта на склонах при помощи щелевателей. Ее осуществляют на глубину 60 см для задержания талых и ливневых вод и иногда совмещают с мелкой бесплужной обработкой. Этот прием широко применяют в зонах засушливого климата, недостаточного и неустойчивого увлажнения.

Фрезерование – обработка тяжелых почв и полей с грубыми пожнивными остатками (подсолнечник, кукуруза, сорго) при помощи фрезы. Она приводит почву в рыхлое состояние, измельчает пожнивные остатки. Ее выполняют на глубину от 5...7 до 14...16 см и применяют в зонах различного увлажнения.

Кротование – обработка переувлажненной почвы при помощи щелереза-кротователя. Ее проводят на глубину до 70 см для отвода избыточной влаги. Применяют в зонах избыточного увлажнения.

Нулевая обработка почвы – воздействие на почвы с помощью сеялок-культиваторов и сеялок прямого посева. При посеве таким способом почва остается ненарушенной. Ее применяют в засушливых зонах, зонах недостаточного, уравновешенного и избыточного увлажнения.

Минимальная обработка почвы – обработка, при которой почва в течение всего года остается в ненарушенном состоянии и мульчирована растительными остатками. Для посева проводят рыхление по узким полоскам шириной 3...5 см. В эти полоски высевают семена. Применяют в зонах неустойчивого увлажнения и в засушливой зоне.

Основные звенья почвозащитного земледелия. Почвозащитная бесплужная система земледелия, как и любая современная система земледелия, состоит из следующих звеньев (систем): обработки почвы, внесения удобрений, защиты растений, применения специальных машин и орудий, введения почвозащитных севооборотов, организации семеноводства. Дадим краткую характеристику каждого из звеньев.

Бесплужная почвозащитная система земледелия направлена на восстановление нарушенного человеком равновесия в почве. В ее основу

положен принцип минимальной обработки почвы. Основное достоинство почвозащитной бесплужной обработки почвы – быстрота проведения технологических операций, обусловленная высокой производительностью плоскорезов, дисковых и игольчатых борон. Это позволяет выполнить обработку почвы в сжатые оптимальные сроки, что способствует сохранению влаги и уничтожению сорных растений. Для повышения противоэрозионного и влагонакопительного эффекта на склоновых землях система бесплужной обработки включает щелевание зяби и посевов озимых и многолетних трав.

Система удобрений сельскохозяйственных культур при бесплужной обработке претерпевает изменения – в качестве органического удобрения большое значение приобретает оставленная на поле солома. Кроме того, при таком земледелии уменьшается скорость разложения гумуса, в результате чего сокращается поступление в почву азота. Его дефицит приходится компенсировать повышением норм азотных удобрений, изменением соотношения между азотом, фосфором и калием. При этой системе земледелия значительно возрастает роль органических удобрений, дозы которых увеличиваются.

Система защиты растений при бесплужной обработке в основном направлена на освобождение полей от сорняков. Быстрота проведения агротехнических операций позволяет проводить для борьбы с сорняками полупаровую обработку почвы сразу на 5 полях из 10. Между уборкой ранособираемых предшественников и посевом озимых, а также между уборкой озимых и наступлением зимы имеется 2...3,5 месяца теплого времени для борьбы с сорняками. На этих полях проводят 2...4 обработки почвы, после которых уничтожаются взошедшие сорняки.

Сочетание системы обработки почвы, удобрений и защиты растений в комплексе представляет технологию возделывания сельскохозяйственных культур. Каждая система обработки требует определенной системы удобрений и защиты растений.

Система севооборотов – важное звено бесплужной технологии. Специализация хозяйств и интенсификация земледелия предусматривают введение и освоение интенсивных севооборотов с соответствующим набором и чередованием высокопродуктивных зерновых, технических и кормовых культур. Например, в условиях Полтавской области структура посевных площадей следующая (в % площади пашни): зерновые – 52, в том числе озимые – 26,7, технические – 16, из них сахарная свекла – 9,6, овощи и картофель – 2,1, кормовые культуры – 26, в том числе многолетние травы – 13,1.

На эродируемых склонах вводят специальные почвозащитные севообороты, чередование культур в которых следующее: 1...3-е поля – многолетние травы, 4-е – озимая пшеница на зерно и пожнивные культуры, 5 – однолетние травы с подсевом многолетних трав.

На крутых склонах (8...12°) севообороты еще проще: 1...3-е поля – многолетние травы, 4-е – озимые на корм с подсевом многолетних трав.

Почвозащитное бесплужное земледелие в основном базируется на системе плоскорежущих машин и орудий и комбинированных агрегатов. Однако в нее включен ряд орудий, используемых для отвальной обработки. Например, для разбрасывания органических и минеральных удобрений, внесения подкормок, гербицидов используют те же машины, что и при обычных системах земледелия.

Для определения потребностей хозяйств в специальной технике для бесплужной обработки имеются расчетные нормативы для двух случаев: в переходный период, когда под зерновые подготовка бесплужная, а под пропашные и занятый пар – отвальная, и для систематической бесплужной обработки почвы под все культуры полевого севооборота (табл. 28).

28. Расчетные нормативы потребности в почвообрабатывающих противоэрозионных орудиях на 1000 га севооборотной площади лесостепной зоны

Наименование орудий и их марки	Способы обработки почвы	
	комбинированная (50 % плужная, 50 % бесплужная)	бесплужная
Бороны игольчатые БИГ-3	8,0	8,0
Бороны зубовые	18,0	8,0
Культиваторы сплошной обработки КПС-4	2,6	2,8
Культиваторы-плоскорезы КПЭ-3,8	1,8	1,5
Культиваторы-плоскорезы КПШ-9	0,9	0,9
Бороны дисковые БДТ-7, БД-10	1,0	1,1
Культиваторы-плоскорезы-глубокорыхлители КПГ-250, КНГ-2,2	1,8	2,2
Культиваторы УСМК-5,4	1,2	1,2
Сеялки с шириной захвата 3,6 (СЗП-3,6)	3,0	3,0
Щелеватели	1,0	1,0
Сцепки СП-16 (СП-11)	4,0	4,5
Плуги ПЛН-5-35	1,0	–
Плуги ПЛН-4-35	1,2	–

Опыт показывает, что введение бесплужной системы земледелия в ряде случаев не дает необходимого экономического эффекта, происходит снижение урожаев сельскохозяйственных культур. Своевременный учет негативных последствий бесплужной системы, точное выполнение правил агротехники позволит обеспечить высокий экономический эффект, значительные прибавки урожаев и защиту почв от эрозии.

Возможными отрицательными явлениями при бесплужной системе земледелия могут быть: повышение засоренности полей, увеличение численности вредителей и болезней сельскохозяйственных культур,

относительная азотная недостаточность. Основные причины этих отрицательных явлений – несистемность или несвоевременность выполнения технологических операций, некомплектность машин и орудий, неподготовленность агрономов и механизаторов к применению бесплужной обработки почвы. Устранение этих причин исключает отрицательные явления при введении почвозащитной бесплужной системы земледелия.

Важнейшая составная часть почвозащитной бесплужной системы земледелия – защита от эрозии и дефляции. Этим она отличается от традиционного, плужного земледелия, и именно в этом состоит главная роль нового направления в земледелии. Защита поверхности почвы от разрушающей деятельности воды и ветра прежде всего происходит за счет накопления на поверхности почвы мульчи из стерни и послеуборочных остатков. Мульча, принимая на себя ударную силу капель дождя, воздействие водного и воздушного потоков, а также машин и орудий, предохраняет почву от разрушения. Мульча из соломы в дозе 2 т/га уменьшает сток воды в 6...19 раз, а смыв почвы в 80...120 раз. Мульча из измельченных стеблей кукурузы в той же дозе уменьшает сток воды в 3...5 раз, а снос почвы в 10...15 раз. Увеличение дозы мульчи до 4... 6 т/га практически предотвращает сток воды и смыв почвы независимо от уклона. С увеличением крутизны склона водозадерживающая способность снижается, а почвозащитная эффективность возрастает. Растительные остатки в процессе разложения увеличивают содержание гумуса в почве и этим улучшают ее агрофизические свойства.

Исследования, проведенные в Полтавской области, показали, что при бесплужной обработке смыв почв в 2...4 раза меньше, чем при плужной, а при дополнении бесплужной обработки щелеванием на склонах круче 1° – в 20 раз. Глубокая плоскорезная обработка почвы дает более высокий почвозащитный эффект, чем мелкая.

Бесплужная почвозащитная система земледелия предусматривает применение всего комплекса мероприятий по защите почв от эрозии и дефляции, включая землеустроительные, агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические.

5.4. Зональность противоэрозионных систем земледелия

Как известно, распределение тепла и влаги, а следовательно, растительности и почв на земной поверхности носит зональный характер. Следовательно, эрозия и дефляция почв также зональны, и по этой причине научно обоснованные противоэрозионные и противодефляционные системы должны быть зональны. В направлении с севера на юг уменьшается количество атмосферных осадков, их характер изменяется от затяжных к ливневым. Эта же тенденция изменения в количестве и характере выпадения осадков сохраняется при переходе от западных

к восточным районам страны. Количество поступающего на поверхность почв солнечного тепла с севера на юг существенно возрастает.

Отсюда следует, что зональные системы земледелия в разных регионах страны должны быть направлены на предотвращение разных неблагоприятных процессов и в то же время приспособлены для выращивания наиболее высоких урожаев сельскохозяйственных культур, наиболее продуктивных в данных биоклиматических условиях.

Наиболее значительное неблагоприятное воздействие на почвы и растения в зоне сухих степей, полупустынь и пустынь оказывают засуха и дефляция почв, а на орошаемых землях — ирригационная эрозия. В степных и лесостепных массивах на ЕТС большое распространение имеет эрозия, а на равнинах Казахстана и Западной Сибири — дефляция. В лесной зоне преобладает эрозия от талых вод. На ликвидацию этих процессов и должны быть направлены зональные почвозащитные системы земледелия.

Зональные почвозащитные системы земледелия предусматривают всю совокупность приемов земледелия, обеспечивающую высокие урожаи сельскохозяйственных культур и сохранение плодородия почв — рациональное использование земельных и водных ресурсов, удобрений, пестицидов, техники, трудовых ресурсов, защиту почв от эрозии и дефляции, повышение плодородия смытых и развеваемых почв.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое влияние на эрозию и дефляцию почв оказывают различные способы организации территории? 2. Какую структуру имеют противозрозионные севообороты? 3. Назовите меры против ирригационной эрозии. 4. Перечислите приемы противозрозионной обработки почв. 5. В чем заключаются особенности противодефляционных севооборотов? 6. Какова роль полосного размещения культур при защите почв от дефляции? 7. Назовите принципы почвозащитной технологии возделывания сельскохозяйственных культур. 8. Чем обусловлена эффективность почвозащитной бесплужной системы земледелия? 9. Зональные особенности защиты почв от эрозии и дефляции.

Глава 6. АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ

6.1. Агролесомелиорация как универсальная система защиты почв и сельскохозяйственных культур

Эрозия и дефляция почв — это бич сельскохозяйственного производства во всем мире. По данным академика ВАСХНИЛ В. А. Виноградова, в нашей стране воздействию этих пагубных для земледелия процессов подвержено более половины всей пашни. Важное место в борьбе с эрозией и дефляцией почв принадлежит лесным насаждениям, в частности полезащитным лесным полосам.

Агролесомелиорация представляет собой способ многостороннего

воздействия на почвы и микроклимат сельскохозяйственных угодий для защиты их от неблагоприятных природных явлений и повышения урожайности возделываемых культур, осуществляемый главным образом путем лесопосадок. Иными словами, агролесомелиорация – это коренное улучшение почв и климата и средство регулирования стока с помощью выращивания деревьев и кустарников.

Защитное лесоразведение – исконно русское средство борьбы с эрозией и дефляцией почв. Истоки его уходят в далекое прошлое. *Многолетние научные исследования и большая производственная практика* свидетельствуют о высокой эффективности лесных полос во всех земледельческих районах страны. В зависимости от климатических и почвенных условий они могут меняться по составу и конструкции, но везде создают более мягкий микроклимат, облагораживают окружающую среду, способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Защитные лесные полосы составляют неотъемлемую часть агротехнического ландшафта многих тысяч колхозов и совхозов. Защищенные лесными полосами поля более урожайны во всех климатических и погодных условиях. Лесонасаждения улучшают климат, предохраняют почву от эрозии и дефляции, сохраняют почвенную влагу в засушливых районах, служат преградой холодным ветрам вокруг садов и виноградников, защищают посевы от суховеев, повышают продуктивность пастбищ и сенокосных угодий. Кроме того, они защищают реки, озера и водохранилища от заиления, укрывают дороги и строения от снежных наносов, защищают животных от летнего зноя и зимнего холода. Лес влияет не только на природу того участка, на котором он произрастает, но и на прилегающие к нему территории. Площадь, охватываемая мелиоративным воздействием, зависит от характера лесных насаждений и размещения их на местности. Остановимся кратко на каждом из этих явлений.

Предохранение почв от водной эрозии лесными насаждениями связано с таким их воздействием, как уменьшение поверхностного стока, закрепление почвогрунтов корневыми системами, снегозадержание и др. Общее влияние леса на природные условия того или иного района обусловлено прежде всего тем, что лес перераспределяет влагу атмосферных осадков в пространстве и во времени. Гидрологическое влияние леса можно выразить следующим уравнением водного баланса, которое было выведено в свое время акад. Г. Н. Высоцким:

$$Oc = C_{гр} + C_{пов} + И_{исп} + И_{тр},$$

где Oc – влага осадков; $C_{гр}$ – грунтовый сток (влага, фильтрующаяся через почву в грунтовые воды); $C_{пов}$ – поверхностный сток; $И_{исп}$ – физическое испарение с поверхности почв; $И_{тр}$ – влага, расходуемая на транспирацию.

Лес влияет на все расходные статьи водного баланса: уменьшает

поверхностный и увеличивает грунтовый сток, снижает испарение с поверхности почв, увеличивает расход влаги на транспирацию.

Лес регулирует сток вод с водосборной поверхности во времени, снижая его в половодье за счет уменьшения скорости весеннего снеготаяния и увеличивая летом за счет повышенных запасов грунтовых вод.

По данным А. Д. Дубаха, среднемноголетнее запаздывание снеготаяния в лиственном лесу составляет 5 сут, сосновом – 15, в еловом – 25 сут.

Благодаря более равномерному распределению стока поверхностных и грунтовых вод по сезонам года леса увеличивают продолжительность паводков, предотвращают наводнения, которые представляют бедствие для сельскохозяйственных и промышленных районов, расположенных в речных долинах, предохраняют берега от оползней, а горные склоны – от селевых потоков.

С территории, покрытой лесом, в водоемы сносится в десятки раз меньше минеральных веществ, чем с не покрытых лесом территорий. Поэтому в безлесных районах с почвами, не защищенными от водной эрозии, водохранилища быстро заиляются и выходят из строя. Например, водохранилище Ак-Су в Дагестане, имеющее плотину высотой 12 м, было занесено галечниково-песчаным материалом за 3 года, а крупное Султан-Бентское водохранилище емкостью 73 млн $м^3$ на р. Мургаб за 15 лет заилилось на 70 %.

Велико значение лесных насаждений и в защите почв от дефляции. Эта функция леса связана с положительным его влиянием на микроклимат. Воздействие леса на климат проявляется не только в снижении скорости ветра и предохранении почв от дефляции, но и увеличении влажности воздуха, уменьшении колебания температуры воздуха и почв. На территории, покрытой лесами, отсутствуют суховеи, растения в меньшей степени страдают от весенних заморозков. Например, на защищенных лесополосами участках к концу зимы сохраняется на 25... 30 % больше снега, чем в открытой степи.

Защита полей лесополосами от суховеев, холодных ветров и сноса снега создает условия, предохраняющие почву от иссушения и глубокого промерзания. Например, в черноземе Алтайского края при температуре воздуха минус 43,1 °С на глубине 3 см в почве, лишенной снега, температура была минус 32 °С, в почве, покрытой слоем снега толщиной 16 см, минус 20,8 °С, а под слоем снега толщиной 58 см – минус 8 °С.

Чрезвычайно велико влияние лесных массивов на испарение влаги с поверхности почв. Так, в европейской части СССР на испарение с не защищенных лесополосами полей расходуется примерно в 3 раза больше влаги, чем на транспирацию растениями. В зоне действия лесных полос испарение влаги с поверхности почв уменьшается на 40 %, а продуктивность транспирации возрастает на 25...30 % по сравнению с участками, удаленными от лесополос. Лесные полосы на прилегающих полях в зоне

20-кратной высоты их могут увеличить запас влаги в почве на 40... 50 мм, то есть сельскохозяйственные растения при наличии лесополос оказываются значительно лучше обеспеченными влагой.

6.2. Виды лесных защитных насаждений

Наиболее эффективную защиту полей от неблагоприятных явлений, обеспечивающую сохранение и повышение плодородия почв, могут дать только системы защитных лесных насаждений, отвечающие природным условиям, экономике, направлению и перспективам развития определенного хозяйства. Системы защитных лесных насаждений разнообразны. Лесные насаждения можно группировать по назначению, расположению, характеру (полосные, колковые, куртинные, сплошные) и др. Для практических целей наиболее удобна классификация лесных насаждений по основному назначению: полезащитные (агролесомелиоративные в неорошаемых условиях), гидролесомелиоративные, противоэрозионные, санитарно-гигиенические, зоолесомелиоративные, виалесомелиоративные, пескоукрепительные.

Полезащитные лесонасаждения в неорошаемых условиях предназначены в основном для защиты сельскохозяйственных культур от засух, суховеев и метелей, защиты почв от дефляции, для снегозадержания и снегораспределения, то есть в конечном итоге для повышения урожайности полей.

Гидролесомелиоративные насаждения в условиях орошаемого земледелия предназначены для обеспечения экономного расходования воды, улучшения условий водоснабжения, защиты от заиления оросительной и сбросной сети и возделываемых сельскохозяйственных культур. Они представлены защитными полосами вдоль постоянных каналов, водохранилищ, по откосам плотин, на подтопляемых участках, на обвалованных участках поймы. Этот вид насаждений выполняет дополнительно функцию полезащитных лесных полос.

Противоэрозионные защитные лесные полосы устраивают для борьбы с водной эрозией почв. В эту группу насаждений входят водорегулирующие, прибалочные, приовражные лесные полосы, сплошные насаждения по крутым склонам и днищам оврагов и балок.

Санитарно-гигиенические насаждения предназначены для очистных и оздоровительных целей. Кроме того, они выполняют эстетическую, противопожарную, хозяйственную и полезащитную функции. К этой группе относятся насаждения лесного и лесопаркового типов вокруг населенных пунктов, посадки для озеленения самих населенных пунктов и колхозных станов.

Зоолесомелиоративные насаждения создают для защиты животных и улучшения кормовых угодий. К ним относятся прифермские и прикошарные насаждения, пастбищные лесные полосы, скотоубежища, зеленые зонты, пастбища из древесно-кустарниковых пород.

Виалесомелиоративные насаждения – лесопосадки, предназначенные для защиты сухопутных путей сообщения. К ним относятся посадки вдоль железных и шоссейных дорог для их защиты от снежных заносов, посадки, защищающие дороги и тропы от заноса песком в пустынях, и др.

Пескоукрепительные насаждения – лесопосадки на сыпучих песках с целью их закрепления и вовлечения в хозяйственное использование.

6.3. Требовательность древесных пород к экологическим условиям

Каждая древесная порода предъявляет определенные требования к экологическим условиям (качество воздуха, количество света и тепла, содержание в почвах влаги и питательных элементов, засоление). Экологические требования древесных пород необходимо учитывать при защитном лесоразведении. Кроме того, при подборе пород учитывают такие их биологические свойства, как высота, скорость роста, долговечность, строение корневой системы, продуктивность древесных и кустарниковых пород, способ возобновления и др.

Воздух. В процессе производственной деятельности человека в атмосферу поступает большое количество различных токсичных газов и аэрозолей. Из них для растений наиболее вредны сернистый и угарный газы, фтористые и хлористые соединения, окислы азота и другие соединения.

Загрязнение воздуха вредно действует на древесные породы. Разные виды растений неодинаково чувствительны к воздействию газов, что необходимо учитывать при подборе пород для озеленения населенных пунктов и лесополос для полей, примыкающих к промышленным центрам. Наименее чувствительны к появлению вредных примесей в атмосфере следующие древесные породы: акация желтая, бересклет туркестанский, бирючина обыкновенная, гледичия трехколючковая, дуб черешчатый, ива белая, клен серебристый, лох узколистный, самшит вечнозеленый, тополя бальзамический, черный, пирамидальный, шелковица белая, ясень зеленый и обыкновенный.

Свет. Свет необходим для жизни любого растения, но требовательность к его интенсивности у разных древесных пород различна. Вследствие этого одни растут в первом ярусе леса, другие – во втором и третьем. Отношение к свету необходимо учитывать при создании смешанных лесных насаждений. Лесоводы древесные породы обычно делят на две группы: светолюбивые и теневыносливые. Но есть и более дробные подразделения. Наиболее детальную группировку деревьев по этому признаку дал С. С. Пятницкий, который по отношению к свету выделил следующие группы древесных пород:

очень светолюбивые (не переносящие затенения) – лиственница, береза повислая, акация белая, гледичия, ивы, тополя, тамарикс;

светолюбивые (малотеневыносливые) – сосны черная и крымская, ясень обыкновенный и пушистый, клен ясенелистный, грецкий орех, дубы черешчатый, пушистый, скальный, кедры сибирский и корейский, берест, вяз, ильм, ольха серая;

относительно теневыносливые – ольха черная, яблоня лесная, груша, клены остролистный, полевой и татарский, липы крупнолистная и серебристая;

очень теневыносливые – граб, каштан конский, пихта, бук, ель, тис, самшит.

Тепло. Фотосинтез растений протекает нормально при температуре воздуха от +5 до +30 °С. При температуре выше +45 °С и ниже +2 °С он прекращается. Однако разные растения имеют разный оптимум температур для своей жизнедеятельности. С температурой тесно связано дыхание растений и их транспирация, а следовательно, и способность произрастать в той или иной климатической обстановке. По требовательности к теплу древесные породы подразделяются на следующие группы:

крайне теплолюбивые – кипарис, кедр гималайский,, эвкалипт, лавр благородный, цитрусовые;

теплолюбивые – каштан, ясень цветочный, тис, платан, айва, персик, самшит и др.;

относительно холодостойкие – бук, пихта, сосна крымская, туя, тополь пирамидальный, лох, липы крупнолистная и серебристая, гледичия, акация белая;

холодостойкие – дубы северный и черешчатый, ильм, вяз, липа мелколистная, ясень пушистый и зеленый, яблоня лесная, осокорь, ива белая;

исключительно холодостойкие – березы бородавчатая и пушистая, ель обыкновенная, осина, можжевельник обыкновенный, сосна обыкновенная, кедр сибирский, лиственницы, пихта сибирская, кедровый стланик.

Влага. По требовательности к влажности условий местопроизрастания древесные породы разделяются следующим образом:

гидрофиты – растения обводненных местообитаний: ольха черная, ивы серая и ушастая;

мезогидрофиты – растения влажных мест: черемуха, ивы козья, ломкая и серебристая, тополя, береза пушистая, ольха серая, смородина черная, ясень пушистый;

мезофиты – растения умеренно влажных мест: дуб северный, липа мелколистная, граб, ясени, лиственница сибирская, каштан, бук, пихта, ель, клен остролистный, ильм, лещина, бузина, бересклет;

мезоксерофиты – растения засушливых условий местопроизрастания: дуб черешчатый и скальный, клены татарский и серебристый, черешня, яблоня, груша, орех грецкий;

ксерофиты – растения сухих местообитаний: гледичия, акация белая,

лох, дуб пушистый, сосны обыкновенная и крымская, тамарикс, саксаул, акация песчаная.

Почвы. По требовательности к почве выделяют следующие группы древесных пород:

олиготрофы — породы, произрастающие на бедных почвах: сосны черная и обыкновенная, можжевельники, береза повислая, акация белая;

мезотрофы — породы, среднетребовательные к плодородию почв: осина, лиственница сибирская, дубы северный и черешчатый, ольха черная, каштан, ель, липа;

мегатрофы — породы, требующие высокоплодородных почв: клен остролистный, граб, бук, пихта, вяз, ива белая и ломкая, ясень, орех грецкий.

Олиготрофы могут расти и на плодородных почвах, но при этом в естественных условиях скоро вытесняются более требовательными породами. Мезотрофы на бедных почвах чувствуют себя хуже, чем олиготрофы. Например, дуб на песках имеет вид кустарника, а сосна чувствует себя нормально. Минеральное богатство почв тесно связано с их гранулометрическим составом. К бедным обычно относятся почвы, развитые на песках или супесях, богатые почвы формируются на суглинистых и глинистых породах.

На территории СССР широко распространены почвы с повышенным содержанием солей: солончаки, солонцы и разного рода солончаковые и солонцеватые почвы. Они представляют собой трудный объект лесоразведения, так как обладают неблагоприятными для роста древесных пород свойствами: токсичностью содержащихся в них легкорастворимых солей, физиологической сухостью, вызванной высоким осмотическим давлением минерализованных почвенных растворов и большой водоудерживающей способностью солонцового горизонта, неблагоприятными водно-физическими свойствами (вязкость во влажном состоянии и большая плотность в сухом), щелочной реакцией почвенных растворов и др.

По степени устойчивости к избыточному содержанию солей в почве выделяют следующие группы древесных и кустарниковых пород:

высоколесоустойчивые (галофиты) — тамарикс волосистый и тонкокистный;

солеустойчивые — тамарикс многоцветный;

наиболее солевыносливые — лох узколистный, вяз перолистный, береза киргизская, смородина золотистая, саксаул черный, джузгун;

солевыносливые — дуб черешчатый, клен татарский, березы пушистая и повислая, сосна обыкновенная, тополь белый, акация желтая, саксаул белый;

слабосолевыносливые — ясень обыкновенный, сосны крымская и обыкновенная, можжевельник, осина, тополь, клен ясенелистный, щелюга;

очень слабо солевыносливые – орех грецкий, лиственница сибирская, ива белая;

несолевыносливые – ель, пихта, кедр, липа.

6.4. Биологические особенности древесных пород

Учет биологических свойств растений, связанных с их морфологическими особенностями, также имеет большое значение при подборе пород для лесополос.

Высота. При организации лесных полос важно учитывать высоту используемых деревьев и кустарников. По высоте древесные породы условно делят на три группы:

породы, достигающие при благоприятных условиях высоты более 20 м, относят к деревьям первой величины (дуб, сосна, лиственница, ель, береза);

породы, достигающие высоты 15...20 м, относят к деревьям второй величины (яблоня лесная, груша лесная, граб, клен полевой);

остальные породы относятся к деревьям третьей величины, которые в плохих условиях могут произрастать в виде кустарника (рябина, клен татарский и др.).

Кустарники по этому свойству также делят на три группы: высокие, средние и низкие. Более высокие деревья дают больший выход древесины, а в лесополосах они обеспечивают защиту полей на далекое расстояние, так как ширина защищаемых участков прямо пропорционально зависит от высоты полос.

Долговечность. Правильная закладка лесных полос требует учета срока жизни древесных насаждений. По длительности жизни древесные породы также подразделяют на три группы. К первой относятся виды с продолжительностью жизни более 120 лет (дуб, осина, липа мелколистная, лиственница), ко второй – породы с продолжительностью жизни 80...120 лет (береза), к третьей – недолговечные породы (тополя, вишня и др.), живущие менее 80 лет.

Быстрота роста. Лесополосы из быстрорастущих пород быстрее обеспечивают защиту полей, так как дальность защитного действия их прямо зависит от высоты. Насаждения из быстрорастущих пород быстрее смыкаются кронами, из-за чего прекращаются затраты на уход за ними по сравнению с лесополосами из медленнорастущих пород. Кроме того, насаждения из быстрорастущих пород уже в молодом возрасте дают больше древесины.

По быстроте роста породы делятся на три группы: быстрорастущие (береза, тополя, осина, сосна обыкновенная, ясени, лиственница, акация белая, гледичия), средней скорости роста (яблоня лесная, груша лесная), медленнорастущие (ель обыкновенная, пихта сибирская, липа мелколистная, бук, дуб). Быстрорастущие породы, как правило, светолюбивы, медленнорастущие – теневыносливы.

Строение корневой системы. Это свойство пород определяет условия питания растений и выбор для них экологических условий. По строению корневой системы различают три группы пород: с глубокой стержневой системой (дуб и сосна обыкновенная), с поверхностной корневой системой (ель обыкновенная), со средним строением корневой системы (яблоня лесная, груша лесная, вяз обыкновенный и др.).

Продукция древесных и кустарниковых пород. Этот фактор также принимают во внимание при создании лесополос. Основной продукт древесных пород – древесина. Кроме того, ряд пород дает и другую продукцию, в соответствии с чем выделяют технические, плодово-ягодные и орехоплодные породы и породы-медоносы..

Способ возобновления. Все древесные и кустарниковые породы могут возобновляться семенами и вегетативным путем – порослью от пней, корневыми отпрысками, отводками и пр. Порослевое возобновление имеет большое значение, так как это наиболее надежный и дешевый способ возобновления леса после вырубки.

Корнеотпрысковая способность древесных и кустарниковых пород используется при закреплении оврагов. При создании приовражных лесных полос в 2...3 рядах, ближайших к оврагу, размещают породы, дающие корневые отпрыски, благодаря чему овраги закрепляются путем самозарастания.

Деревья и кустарники, используемые для мелиорации и озеленения. Деревья и кустарники, районированные на разных почвах степных и лесостепных районов СССР, подразделены на три лесоводственные группы пород: главные, сопутствующие и кустарники. Каждая порода характеризуется основными морфологическими признаками и экологическими свойствами. Благодаря экологической пластичности растений различные виды деревьев и кустарников имеют довольно широкие ареалы, однако по мере удаления от оптимальных условий уменьшается скорость роста и долговечность растений. Перечислим основные виды пород, применяемых для создания лесонасаждений.

Главные породы: акация белая, береза повислая, вяз перистоветвистый, гледичия трехколючковая, дуб черешчатый, дуб северный (красный), ель обыкновенная, ива ломкая, лиственница сибирская, орех грецкий, орех черный, осина, сосна обыкновенная, сосна Палласова, тополь белый, тополь Болли, тополь черный, тополь пирамидальный, тополь китайский, тополь душистый, тополь бальзамический, ясень обыкновенный, ясень пушистый, ясень зеленый.

Сопутствующие породы: абрикос сибирский, берека (вид рябины), вяз обыкновенный, граб обыкновенный, груша обыкновенная, груша уссурийская, клен остролистный, клен полевой, клен явор, клен серебристый, клен ясенелистный, липа мелколистная, липа крупнолистная, рябина обыкновенная, черешня, шелковица белая, яблоня сливолистная (китайка).

Кустарники: алыча (слива растопыренная), акация желтая, айва

японская, бирючина обыкновенная, бобовник, боярышник, бузина красная, вишня кустарниковая, гребенщик, дерен белый, жимолость татарская, ива остролистная (шелюга, верба), ирга круглолистная, кизильник черноплодный, клен татарский, лещина обыкновенная, лох узколистный, лох серебристый, можжевельник казацкий, облепиха, шиповник обыкновенный, сирень обыкновенная, скумпия, смородина золотистая, терн (слива колючая).

6.5. Конструкции полезащитных лесных полос

Под конструкцией лесных полос понимается их устройство, обеспечивающее определенную степень проницаемости для ветра и характер его влияния на прилежащие участки поля. Различают три основные конструкции лесных полос: плотную, продуваемую и ажурную (рис. 34). Та или иная конструкция лесополос создается соответствующей схемой размещения и смещения пород в насаждении и последующим уходом за полосой (рубки ухода и подсечка стволов). Кроме того, конструкция лесополосы определяется ее шириной. Например, полосу продуваемой или ажурной конструкции трудно сформировать из насаждений большой ширины. Каковы же основные особенности лесополос разной конструкции?

Плотные, или непродуваемые, полосы, представляют собой при взгляде на них сбоку непроницаемую стену леса. Они обычно трехъярусные, то есть состоят из главных и сопутствующих древесных пород и кустарников. Эти полосы создают по древесно-кустарниковому типу. Полосы этой конструкции представляют ветронепроницаемый или почти непроницаемый экран.

Продуваемые лесные полосы имеют снизу крупные просветы до 1,5...2 м, на фоне которых видны только стволы деревьев, вверху кроны таких полос сомкнуты. Кустарники в этих полосах отсутствуют. Их создают из одной древесной породы или из главной и сопутствующих пород.

Ажурные полосы в период, когда деревья покрыты листвой, имеют мелкие просветы, равномерно распределенные по всей высоте насажде-

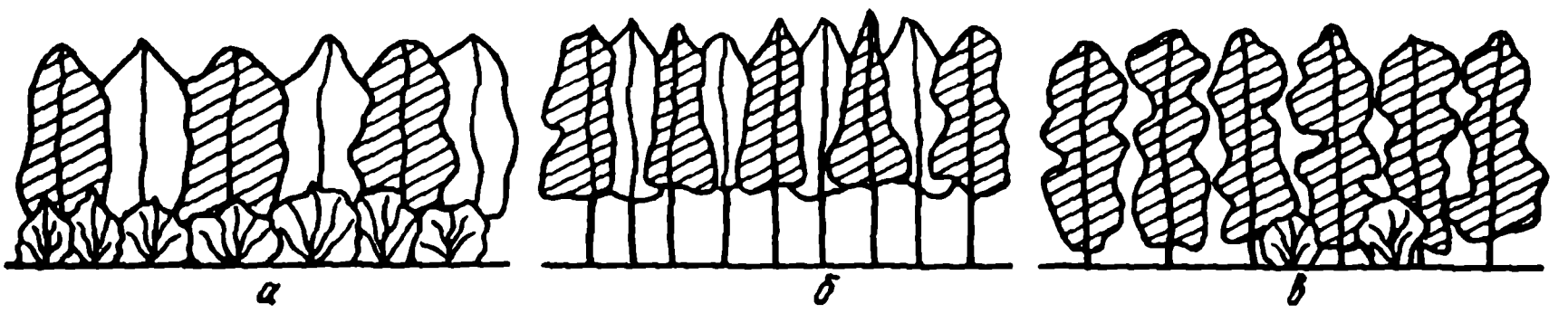


Рис. 34. Схемы полезащитных лесных полос разной конструкции:

а – непродуваемой; *б* – продуваемой; *в* – ажурной

ния. Просветы составляют 15...35 % площади продольного профиля лесополосы. Такие полосы состоят или из древесных пород с небольшой примесью кустарников, или только из одних древесных пород. Их создают по смешанному типу посадки.

6.6. Влияние полезащитных лесных полос на сельскохозяйственные угодья

Ветровой режим. Влияние лесных полос на сельскохозяйственные угодья в первую очередь проявляется в их воздействии на скорость ветра у поверхности земли. Лесные полосы снижают скорость и изменяют структуру воздушного потока. Высота H и конструкция лесных полос определяет образование "ветровой тени" перед полосой и за ней. Средняя высота ветровой тени в 2,5 раза превышает высоту лесополосы и составляет от 1 до $5H$. Длина ее с наветренной стороны равняется $(5...15)H$, с заветренной – $(30...60)H$. Ветровой поток, встречая лесную полосу, разрушается. Часть его переваливает через полосу, другая часть проходит сквозь просветы в лесополосе, образуя при выходе из нее систему мелких вихрей, которые отбрасывают вперед массу воздуха, перевалившего через лесополосу.

Лесополосы различных конструкций по-разному воздействуют на ветровой поток. Лесополоса непродуваемой конструкции оказывает наибольшее сопротивление ветру. С ее наветренной стороны создается своеобразная воздушная подушка, где скорость ветра минимальна (снижается на 75 %). Дальность защитного действия полосы с наветренной стороны равна примерно $5H$. Внутри полосы скорость ветра снижается в 10 раз. С заветренной стороны образуется область максимального затишья шириной от 1 до $5H$. С удалением от лесополосы скорость ветра быстро возрастает, на расстоянии $(35...40)H$ она достигает скорости ветра в открытой степи.

Лесополоса ажурной конструкции действует на ветровой поток по принципу аэродинамической решетки. Часть воздушного потока просачивается через просветы в полосе, другая часть огибает лесополосу сверху. Зона завихрения за ажурной лесополосой имеет бóльшую ширину, чем за плотной полосой. Скорость ветра за ней снижается на 50...55 % на расстоянии, равном $(3...5)H$. Ширина ветровой тени составляет $(40...50)H$. Перед полосой снижение скорости ветра наблюдается на расстоянии $(5...7)H$.

В лесополосах продуваемой конструкции у наветренной опушки в результате напора воздушных масс скорость ветра даже повышается по сравнению со скоростью ветра в открытой степи. Часть ветрового потока, почти не ослабляясь, проходит через крупные просветы между стволами, а часть переваливает через лесополосы. Спускающиеся вниз вихри отбрасываются воздушными потоками, проходящими через нижнюю часть продуваемой полосы с большей силой, чем у полос ажурной

конструкции. Так, дальность действия полос этой конструкции составляет (50...60) Н. Скорость ветра за полосой снижается на 50...55 %.

Продольные полезащитные лесные полосы размещают поперек направления господствующих неблагоприятных ветров. Отклонение допустимо до 30°. Для защиты полей от ветра других румбов, помимо основных полос, через 1...2 км устраивают поперечные полосы. Размещение полос на склонах круче 2° должно обеспечивать защиту земель от водной эрозии.

Уменьшение скорости ветра особенно сильно проявляется при наличии системы лесополос. В этом случае уменьшение скорости ветра будет складываться из воздействия всех лесополос, так как ветровой поток, обтекая каждую из них, теряет часть кинетической энергии. Если расстояние между лесополосами меньше 30-кратной высоты полосы, скорость ветра при подходе к каждой из полос не успевает восстановиться и в итоге снижается еще сильнее, чем под влиянием единичных или далеко расположенных друг от друга полос.

Гидротермический режим приземного воздуха. Влияя на скорость ветра, лесополосы влияют на температуру и влажность воздуха. В дневные часы температура сильно нагретых приземных слоев воздуха с заветренной стороны на 1,5...2 °С выше, чем в открытой степи. Ночью температура воздуха в приземных слоях ниже, чем в открытой степи. Влияние лесополос на температуру приземного слоя воздуха проявляется в среднем на расстоянии $2H$ с наветренной стороны и $(4...5)H$ – с заветренной.

Утепляющее действие лесных полос способствует более раннему началу вегетации и более позднему окончанию ее, что существенно сказывается на произрастании сельскохозяйственных культур. Лесные полосы смягчают действие заморозков. При ветреной погоде во время заморозков температура на защищенном поле на 0,6...1 °С выше, чем в открытой степи. Это объясняется снижением скорости поступления холодных масс воздуха. В ясную тихую погоду при заморозках температура на защищенном поле может быть ниже, чем в открытой степи. Снижение температуры в этом случае достигает 3...4 °С возле непродуваемых полос и 1...1,5 °С возле продуваемых. На открытом поле дней с заморозками бывает на 25...30 % больше, чем на поле, защищенном лесополосами.

При устройстве лесополос влажность воздуха увеличивается. Возле лесополос она на 2...4 % выше, чем на участках, удаленных от них. В суховейные дни испаряемость на защищенном поле на 40...50 % меньше, чем с открытых участков. В лесостепной и степной зонах на полях, защищенных лесополосами, благодаря уменьшению испарения с поверхности почв экономится от 20 до 60 мм почвенной влаги. Под защитой лесных полос заметно снижается непроизводительный расход влаги сельскохозяйственными растениями, идущий на понижение температуры листовой поверхности, и возрастает продуктивность транспирации:

Накопление снега на полях. Лесополосы изменяют распределение снега по угодьям. Снег, сдуваемый с открытых участков, лесополосы задерживают внутри себя и на расстоянии *H* с наветренной стороны, и до *3H* – с заветренной. В районах с сильными метелями у плотной лесополосы снег накапливается сугробами высотой до 3 м, с удалением от лесополосы мощность снегового покрова резко снижается. Ажурная лесополоса накапливает снег на большем расстоянии и более равномерно его распределяет по полю. Наилучшими распределителями снега по полю считаются продуваемые полосы, действие которых отмечается на расстоянии *25H* и более (рис. 35).

Большие сугробы снега, образованные вблизи полосы, могут оказать отрицательное воздействие на поле. На месте сугробов запаздывает весеннее снеготаяние, почва переувлажняется, сельскохозяйственные работы задерживаются. Поэтому в районах с метельными ветрами и большим запасом снега наиболее целесообразны продуваемые и ажурно-продуваемые лесополосы. Особенно они важны для Заволжья, Западной Сибири и Северного Казахстана, отличающихся сильными ветрами.

Выравнивание распределения снега лесополосами оказывает благоприятное влияние на урожай сельскохозяйственных растений. Накопление снега на полях улучшает температурные условия перезимовки озимых культур, увеличивает весеннюю влагозарядку почв, уменьшает сток талых вод. Без лесополос поля теряют до 50 % снега, сносимого в овраги и балки. При наличии лесополос мощность снегового покрова на полях возрастает в среднем на 20...40 %. Урожайность пшеницы благодаря снегозадержанию лесополосами возрастает не менее чем на 0,2... 0,25 т/га.

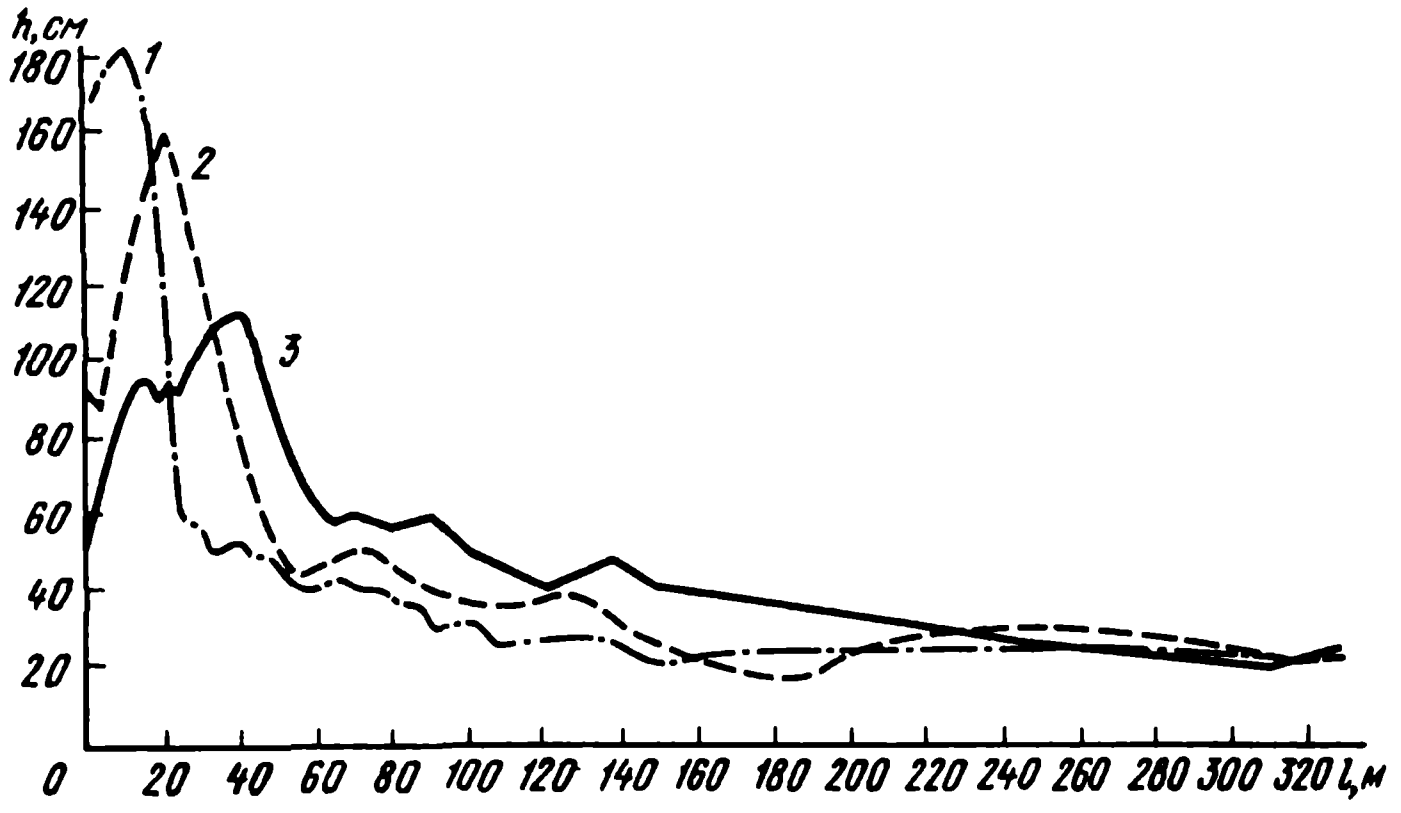


Рис. 35. Отложение снега у лесополос разной конструкции:

1 – плотной; *2* – ажурной; *3* – продуваемой; *h* – высота снежного покрова; *l* – расстояние от лесополос

Влажность почвы. Влияние лесополос на гидротермический режим воздуха, перераспределение снега и уменьшение поверхностного стока приводит к увеличению влажности почвы. Больше всего почвы увлажняются вблизи полос, особенно сильно благотворное влияние лесополос на влажность почвы проявляется в засушливые годы. Наибольшее влияние на растения накопленная лесополосами влага оказывает в весенний и раннелетний период, пока растения не израсходовали ее запас. За это время на полях, защищенных лесополосами, растения успевают сформировать хорошо развитую корневую систему и лучше переносят недостаток влаги в почве во второй половине вегетации.

Грунтовые воды. Накапливая избыток снега и увлажняя почвы, лесополосы создают условия для инфильтрации возле полос избытка атмосферных осадков и пополнения грунтовых вод. Например, в Каменной степи за 4 года существования лесных полос на светло-каштановых почвах уровень грунтовых вод вблизи лесополос поднялся на 5,5 м по сравнению с межполосным пространством.

Подъем грунтовых вод весной в открытой степи составил 0,56 м, на поле с лесополосами – 0,89, в лесополосе – 1,39, а на опушке лесополосы – 1,41 м. Наибольший подъем грунтовых вод наблюдается под плотными лесополосами. Под полосами продуваемой конструкции уровень грунтовых вод изменяется меньше.

Свойства почв. Оказывая разностороннее влияние на перечисленные природные условия, лесополосы влияют на свойства почв как непосредственно развивающихся под ними, так и почв межполосных пространств. Наиболее существенное и благотворное влияние лесных полос на свойства почв заключается в том, что они препятствуют проявлению дефляции почв, а это способствует сохранению гумусового горизонта и всего профиля почвы.

Под пологом лесополос заметно изменяются химические и физико-химические свойства почв. Увеличивается степень гумусированности и мощность гумусового горизонта, улучшается почвенная структура, несколько понижается глубина залегания карбонатного горизонта из-за более глубокого промачивания почвы. Улучшаются водно-физические свойства почв. Из-за активизации жизнедеятельности и возрастания численности беспозвоночных животных, особенно дождевых червей, увеличиваются порозность, фильтрационная способность, воздухопроницаемость почв, уменьшаются их объемный вес, плотность. Лесополосы способствуют рассолению и рассолонцеванию почв.

Те же положительные изменения свойства почв, но в ослабленной форме наблюдаются и между лесополосами. Естественно, что воздействие лесных полос затухает по мере удаления от них.

Состав фауны. Введение лесных полос способствует обогащению фауны местности. Резко возрастает численность птиц, среди которых появляются представители лесной зоны. Лесополосы служат прибе-

жищем для зайцев, лис и других зверей. Резко возрастает численность почвенных животных, особенно беспозвоночных.

Благоприятно влияя на гидротермический режим приземного слоя воздуха и почвы и всю экологическую обстановку, лесополосы способствуют повышению урожайности растений, которая на полях с лесополосами возрастает не менее чем на 20 %.

6.7. Размещение лесных насаждений

Эффективность защиты лесными насаждениями почв от эрозии и дефляции и их воздействие на окружающую среду во многом зависит от того, насколько правильно выбрано их местоположение, определены расстояния между лесополосами, спроектировано их строение, подобран видовой состав. Кроме того, местоположение лесных насаждений определяет их назначение. В зависимости от характера влияния на гидрологический и ветровой режим выделяют следующие лесомелиоративные насаждения:

полезащитные лесные полосы, организуемые для защиты почв от ветра и улучшения микроклимата полевых угодий;

оврагоукрепительные лесные полосы, представляющие собой систему плотных древесных и кустарниковых насаждений, создаваемых для закрепления вершин и склонов оврагов;

почвозащитные насаждения, которые организуют на сильноэродированных, изрезанных мелкими оврагами и промоинами склонах со смытыми почвами; их задача заключается в прекращении эрозии на наиболее опасных участках водосборов;

стокорегулирующие (водопоглощающие) лесопосадки, устраиваемые поперек длинных склонов и предназначенные для ослабления эрозионных процессов и задержки стока;

приводораздельные лесополосы, устраиваемые на ровных частях водосборов для равномерного распределения снега и уменьшения эрозионной энергии поверхностных вод, поступающих на склоны.

План размещения лесонасаждений разрабатывают в тесной увязке с другими элементами землеустроительных проектов. Эффективность действия системы лесных насаждений во многом зависит от того, насколько правильно они увязаны с другими хозяйственными системами. Для составления проекта размещения лесных насаждений агролесомелиоратору необходимо изучить природные условия района, характер и состояние угодий и намечаемые агротехнические мероприятия. Особое внимание обращают на рельеф, процессы эрозии и дефляции почв. При этом учитывают существующие лесные полосы, их расположение, состав входящих в них пород, высоту и скорость их роста. Это необходимо знать, чтобы уточнить ассортимент и размещение лесных насаждений. Одновременно внимательно изучают материалы почвенных, геоботанических, климатических исследований, собирают сведения о направ-

лении суховейных и метельных ветров. Все эти материалы нужны для определения правильного размещения, разработки конструкции и подбора состава полезащитных лесных полос.

Посадки лесных насаждений всех видов (полезащитные, противоэрозионные, гидрозащитные, придорожные, зоомелиоративные), осуществляемые во взаимной увязке друг с другом, представляют собой единую систему. Тем не менее лесопосадки каждого вида требуют специфических подходов к их созданию.

Полезащитные лесные полосы в степных и лесостепных районах размещают на ровных участках и пологих неэродируемых склонах (рис. 36), где располагают полевые и кормовые севообороты. Размещение лесопосадок увязывают с местоположением полей и дорожной сети. Полезащитные полосы планируют так, чтобы они наилучшим образом защищали поля от ветров, способствовали задержке и наиболее равномерному распределению снега, уменьшали поверхностный сток воды и превращали его во внутрипочвенный, не препятствовали проведению сельскохозяйственных работ.

Для достижения наиболее правильной конфигурации сельскохозяйственных полей могут быть допущены отклонения до 30° от прямоугольного размещения лесополос без особого нарушения их защитного воздействия. В виде исключения эти отклонения могут достигать 45°.

На склонах крутизной, превышающей 3°, где наблюдается эрозия почв, лесные полосы должны следовать в направлении, совпадающем с линией горизонтального сечения склона. Однако и в этом случае следует по возможности сохранить прямолинейность полос и их параллельность. Поперечные полосы устраивают перпендикулярно продольным. Наиболее целесообразно полезащитные полосы закладывать по краям

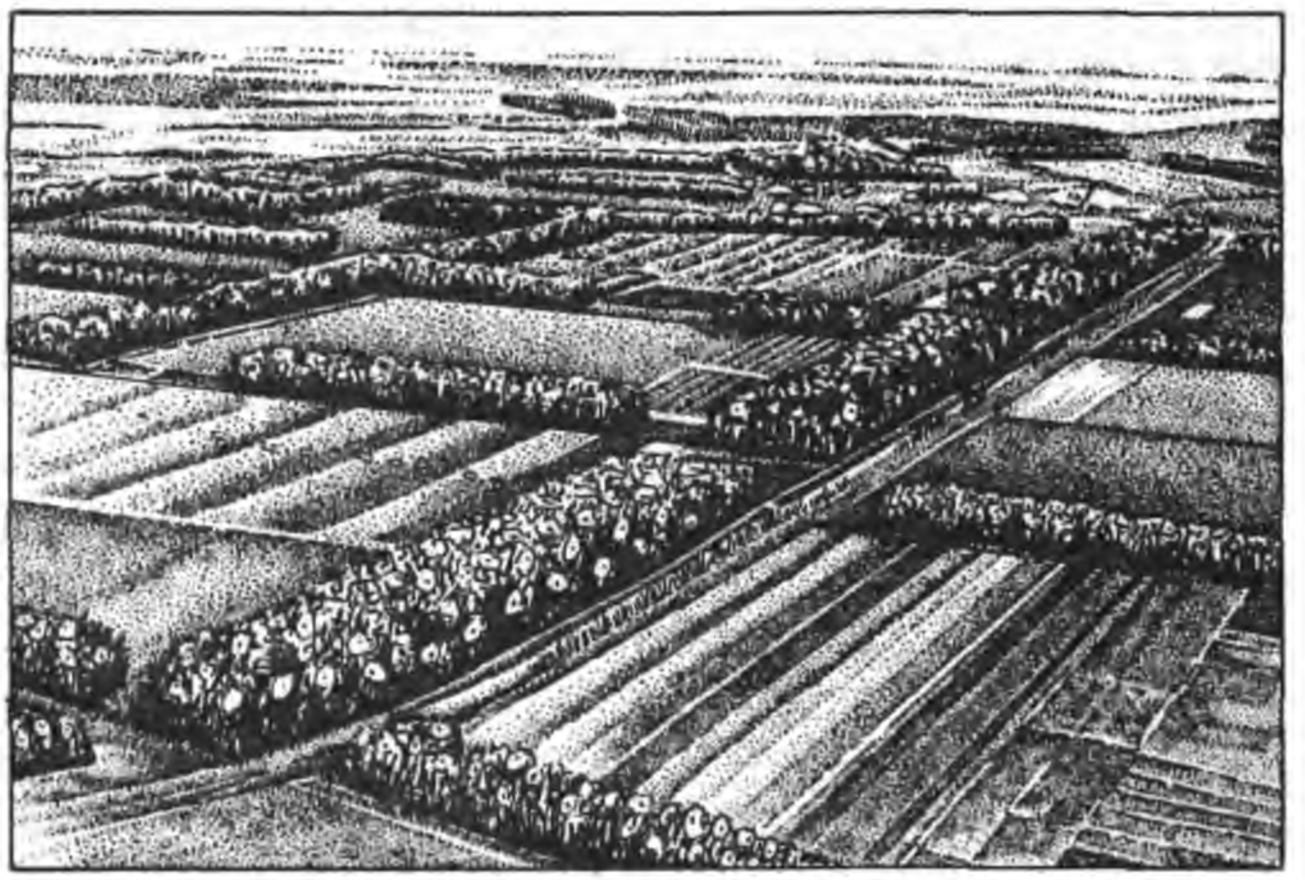


Рис. 36. Лесные полосы в Каменной степи

полей и устраивать их с таким расчетом, чтобы отдельные их клетки составляли не менее 100 га. Для более производительного использования сельскохозяйственных машин расстояние между поперечными полосами принимают в 2...4 раза большим, чем между продольными, которые располагают на расстоянии 400...800 м в зависимости от местных условий.

В теории агролесомелиорации существуют специальные формулы расчета расстояния между лесными полосами. По Б. В. Дзетовецкому, ширину поля L в заветренную от лесополосы сторону рассчитывают по следующей зависимости:

$$L = 3{,}61 H^{1{,}23} m v_{max} / (v_0 - v_{max}),$$

где H – высота полосы, м; m – густота полосы, наличие просветов, %; v_{max} – максимально допустимая скорость ветра на критическом удалении от лесополосы, где ветер достигает такой скорости, при которой происходит отрыв почвенных частиц и перенос их по воздуху, м/с; v_0 – скорость ветра в открытом поле, м/с.

По расчетам В. В. Звонкова, расстояние между лесополосами должно соответствовать расстоянию от полосы до места, где скорость ветра достигает такого значения, при котором начинается отрыв почвенных частиц и их перенос в воздухе. Он предложил следующую формулу для определения максимального расстояния между лесными полосами:

$$L = H (1/\mathrm{tg}\alpha_1 + 1/\mathrm{tg}\alpha_2),$$

где H – высота лесной полосы, соответствующая максимальной высоте полета частицы, $H = (v_0 - v_{max})^2/2g$; α_1 – угол, образованный направлением от критической точки на вершины деревьев лесополосы и его проекцией на земную поверхность с наветренной стороны, $\alpha_1 = 6{,}5°$; α_2 – угол, образованный направлением от критической точки на вершины деревьев лесополосы и его проекцией на земную поверхность с подветренной стороны, $\alpha_2 = 4{,}5°$.

На практике расстояние между полезащитными полосами принимают равным $(25...30)H$.

При расчетах по формуле В. В. Звонкова расстояние между лесными полосами с учетом наиболее часто наблюдаемых скоростей ветра при пыльных бурях соответствует 200...400 м.

В зависимости от форм рельефа и характера использования территории указанные типы лесонасаждений имеют разное назначение в системе противоэрозионных агролесомелиоративных лесопосадок. Каждый из типов лесонасаждений размещается в соответствии с общей противоэрозионной организацией территории колхозов и совхозов. В основе построения и размещения противоэрозионных лесомелиоративных систем лежит создание главных магистральных защитных лесонасаждений, размещаемых с учетом наиболее характерных элементов мезорельефа (выпуклые, вогнутые, прямые и сложные формы склона), и дополнительных защитных лесных посадок. При выпуклой и прямой формах склонов необходимы приводораздельные (ветроломная и снегораспределительная) и склоновая (водопоглощающая) магистрали. При вогнутой форме склона выделяют водораздельную (почвозащитно-увлажнительную), склоновую (водопоглощающую и кольматирующую) магистральные лесополосы. Склоновую лесозащитную магистраль

устраивают на переходе от крутой части склона к пологой – делювиальному шлейфу. При сложной форме склона устраивают водораздельную (ветроломную и снегораспределительную), верхнюю склоновую (водопоглощающую) и нижнюю склоновую (водопоглощающую и кольматирующую) лесополосы. При всех формах склонов должна быть также прибалочная магистраль вблизи верховьев балок и оврагов и их склонов, которая имеет почвоувлажнительное и оврагоукрепительное значение. Ее организуют в сочетании с облесением оврагов и балок. Магистральные лесополосы составляют лесомелиоративный минимум и представляют собой основу для всей лесомелиоративной сети в противоэрозионных системах.

Целесообразность создания дополнительных лесомелиоративных полос между магистральными определяется длиной склонов, особенностями климата, почв и хозяйственным использованием территории. При длинных склонах необходимы дополнительные лесополосы, тогда как при коротких склонах выпуклого и прямого профиля даже склоновые магистрали могут быть лишними.

Противоэрозионные насаждения включают оврагоукрепительные, почвозащитные, стокорегулирующие и приводораздельные лесные полосы.

При достаточно влажном климате противоэрозионные лесополосы необходимы в основном для закрепления оврагов и защиты почв от эрозии. При сухом климате должны быть также противодефляционные снегораспределительные лесополосы. Чем суше климат, тем гуще должна быть сеть защитных от ветра насаждений на водосборе и тем более необходимо их сочетать с агротехническими и гидротехническими средствами противоэрозионной защиты. На легких почвах (песчаных или супесчаных) противоэрозионные лесополосы устраивают на большем расстоянии друг от друга, чем на плотных, непроницаемых для влаги глинистых почвах.

Организация противоэрозионных лесомелиоративных систем зависит от степени освоенности территории и характера ее использования: направления и интенсивности хозяйства, системы севооборотов. Чем меньше сохраняется участков естественной растительности, тем сильнее действие на почву неблагоприятных природных факторов, тем более густой должна быть сеть лесомелиоративных полос.

Направление и интенсивность хозяйства определяют соотношение площадей, используемых для нужд полеводства, животноводства и плодоводства, являющихся специфическими объектами мелиоративной защиты. Для площадей, занятых полевыми культурами, важна увязка лесомелиоративных систем с требованиями механизации полевых работ на межполосных клетках, поэтому необходимо учитывать ширину захвата поливной и обрабатывающей техники. Для кормовых угодий важное значение имеют вопросы охраны насаждений от потравы скотом. Для участков с многолетними культурами необходим ветро-

29. Виды защитных лесных насаждений в колхозах и совхозах степных и лесостепных районов СССР (в неорошаемых условиях)

Виды защитных лесонасаждений	Основное назначение	Примерная ширина, м	Основная конструкция	Место размещения
Полезащитные лесные полосы	Защита сельскохозяйственных культур от засух, суховеев, защита почвы от выдувания, снегозадержание и снегораспределение, повышение урожайности	7,5...15	В лесостепи продуваемая, в степи, а особенно на площадях, подверженных ветровой эрозии, – ажурная	По границам полей севооборотов и внутри них в равнинных условиях
Водорегулирующие лесные полосы	Перехват стока вод, перевод поверхностного стока во внутренний, защита нижележащего склона от смыва и размыва. Одновременно служат полезащитными полосами	9...15	Ажурная	На склонах крутизной более 2...3° или с явными признаками смыва. Размещают поперек склона, приурочивают к перегибам местности
Прибалочные лесные полосы	Предупреждение размыва балок и образования оврагов. Одновременно служат полезащитными полосами	12,5...21	Плотная	Возле балок в случае опасности их размыва и возникновения оврагов
Приовражные лесные полосы	Прекращение роста оврагов и закрепление их. Выполняют также функции полезащитных полос	12,5...21	Плотная	Возле оврагов и по обрывистым подмываемым берегам ручьев, рек, водоемов
Сплошные насаждения по склонам балок и оврагов и на сильно смытых и размытых площадях (крутосклонах)	Прекращение смыва и размыва склонов, рациональное использование малопродуктивных бросовых земель	Различной ширины и формы	Плотная	На сильно смываемых неиспользуемых или малоиспользуемых в сельском хозяйстве площадях

Виды защитных лесонасаждений	Основное назначение	Примерная ширина, м	Основная конструкция	Место размещения
Насаждения по дну оврагов и балок	Закрепление дна оврагов и балок, рациональное использование площадей	Различной ширины и формы	Любой конструкции	На используемых в сельском хозяйстве участках дна оврагов и по дну балок
Лесонасаждения возле прудов и водоемов (прудозащитные полосы)	Защита прудов от излишнего испарения и от заиления, улучшение условий рыборазведения	10...18	Ажурная или плотная	Вокруг колхозных и совхозных прудов и водоемов, возле других водоисточников
Илофильтры	Защита прудов от заиления	Различной ширины	Посадка кустарников создает плотную конструкцию	По водоподводящим тальвегам во всю их ширину и длиной не менее 50 м по главному тальвегу и 20...30 м – по второстепенным
Садовозащитные лесные полосы	Защита садов и виноградников, повышение их урожайности	Не более 15 м вокруг сада	Ажурная или продуваемая	Вокруг садов, а при площади сада более 30...70 га и внутри
Защитное насаждение возле населенных пунктов	Защита населенных пунктов от сильных ветров, заноса снегом, песком и наносами черных бурь	От 20 м и более	В зависимости от вида лесонасаждений, иногда проектируют в виде 2...3 колец с разрывами между ними	На песчаных площадях, в особенности на разбитых песках
Лесонасаждения на песках	Закрепление и освоение разбитых сыпучих песков и рациональное использование песчаных площадей, защита сельскохозяйственных угодий и других объектов	–	В зависимости от вида лесонасаждений	На песчаных площадях, в особенности на разбитых песках

Прифермские и прикошарные лесные полосы	Защита ферм от сильных холодных ветров, заноса снегом, песком и пылью	Две-три кулисы шириной по 10... 25 м с разрывом между ними 15... 20 м	Плотная	Возле ферм со стороны преобладающих ветров
Пастбищезащитные лесные полосы	Повышение урожайности трав, регулирование выпаса скота	12...20	Плотная, в более северных условиях – ажурная	На пастбищах сухой степи и полупустыни
Зеленые зонты	Защита выпасающихся животных от солнцепека, зноя, создание лучших условий для отдыха и выгула скота	В виде 8... 16 групп, из 25... 36 деревьев каждая, с разрывами между группами	Должны быть проницаемы для прохождения ветра, хорошо продуваемы	На пастбищах сухой степи и полупустыни
Скотоубежища (затишковые насаждения)	Защита выпасающихся животных в холодную ветреную погоду	В виде двух взаимно пересекающихся лесополос (или другой формы) шириной не менее 25 м	Плотная	На пастбищах полупустыни (на отгонных пастбищах)

ломный тип защитных насаждений при их сочетании с гидротехническими мероприятиями (террасирование и сооружение водорегулирующей сети). Проектирование систем защитных насаждений составляет основу противоэрозионной организации территории колхозов и совхозов.

При размещении защитных лесных насаждений следует руководствоваться следующими принципами:

облесение прежде всего должно быть проведено на эродированных склонах оврагов, лощин и балок; на таких участках организуются противоэрозионные почвоукрепительные лесные насаждения;

на участках, подверженных плоскостной эрозии, на которых сельскохозяйственные растения не могут давать устойчивых урожаев, располагают противоэрозионные лесопосадки; к таким участкам относятся гребнистые и холмистые водоразделы и крутосклоны;

пологие длинные склоны и плоские водоразделы, занимаемые полевыми севооборотами, защищают от суховеев и дефляции почв системой полезащитных лесных полос;

речные долины, широкие балки и другие пониженные места, занимаемые преимущественно кормовыми и овощными севооборотами, и орошаемые поля следует защищать сетью гидрозащитных лесных полос;

все участки, непригодные или малопригодные для земледелия, луговодства и пастбищного хозяйства, должны быть покрыты массивами леса; разведение леса — наиболее продуктивный метод использования песчаных, легкосупесчаных и каменистых почв;

в населенных пунктах и вокруг них высаживают защитные лесонасаждения в виде скверов, парков и других форм озеленения;

на пастбищах, в местах отдыха животных для укрытия их от зноя устраивают куртинные насаждения (зеленые зонты); возле водопоев и животноводческих ферм, а также в других местах скопления животных для защиты их от ветра устраивают затишки.

Московский институт инженеров землеустройства разработал систему видов защитных лесных насаждений и их размещения (табл. 29).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему агролесомелиорация считается универсальной системой защиты почв от эрозии и дефляции? 2. Назовите различия древесных пород по требовательности к условиям произрастания. 3. Как влияют полезащитные лесные полосы разных конструкций на скорость ветра? 4. Какие древесные породы и кустарники используются для лесонасаждений? 5. В чем проявляется природоохранное влияние лесных полос на сельскохозяйственные угодья? 6. Как размещают лесные насаждения разного назначения?

Глава 7. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЭРОЗИЕЙ ПОЧВ

Гидротехнические сооружения приходится строить там, где агротехнические и лесомелиоративные мероприятия оказываются малоэффективными. Эффект агротехнических мероприятий в полную силу проявляется только через несколько лет, а лесомелиоративные полосы начинают работать на полную мощность через 10...20 лет после их создания. Гидротехнические сооружения воздействуют на почву сразу же после их устройства. Кроме того, агротехнические противоэрозионные мероприятия эффективны только на склонах крутизной не более 4...5°, поэтому при необходимости срочной задержки и отвода поверхностных вод строят гидротехнические сооружения. Из-за высокой стоимости их применяют там, где другие средства борьбы с эрозией почв невозможны.

По месту создания гидротехнические сооружения можно разделить на три группы: на водосборной площади, в вершинах оврагов, на дне оврагов.

7.1. Сооружения на водосборной площади

На водосборной площади обычно устраивают земляные сооружения. По характеру воздействия на сток они делятся на следующие основные виды:

задерживающие поверхностный сток – валы-террасы, водозадерживающие валы;

обеспечивающие безэрозионный сброс поверхностного стока – распылители стока, водоотводные валы или нагорные канавы, почвозащитные сооружения.

Валы-террасы. Валы с широким основанием, или валы-террасы, создают на склонах крутизной не более 6°. Их обычно сооружают в садах, на участках залужения. Этим приемом пахотный склон как бы выполаживается. По такому склону поверхностные воды стекают медленнее и целиком впитываются в почву, вследствие чего устраняется смыв. Правильно созданные валы-террасы долговечны, поэтому они экономически выгоднее многих агротехнических мероприятий (обвалование, бороздование и др.), которые проводят ежегодно.

Валы-террасы особенно широко распространены в Молдавии, где их сооружают на склонах, занятых зерновыми и пропашными культурами. Их создают по линиям, параллельным горизонталям топографической карты местности. Они имеют высоту 30...60 см и пологие откосы. Ширина основания валов составляет $(8...12)H$, где H – высота вала. Благодаря малой высоте и широкому основанию валы не мешают обработке почвы и уборке урожая сельскохозяйственными машинами. Валы-террасы строят, используя план участка с горизонталями, на который наносят границы массивов, отводимых под террасирование. Строят валы-террасы

обычно с помощью грейдера. Для предотвращения возможного стока ливневых вод концы валов поворачивают вверх по склону под углом 120°.

При пересечении валом ложбин следят, чтобы гребень вала оставался горизонтальным, для чего увеличивают его высоту в пределах донной части ложбины. Обработку почвы ведут вдоль валов. На тяжелых маловодопроницаемых почвах террасы устраивают под некоторым углом к горизонталям, чтобы сбросить часть воды, которую отводят в гидрографическую сеть или в специальные водоотводные канавы. Для предотвращения размыва вала уклон террасы принимают не более 0,005.

Водозадерживающие валы. Такие земляные сооружения применяют для остановки роста оврагов и устраивают на приовражном участке склона выше растущей вершины оврага. Иногда их размещают равномерно по всей водосборной площади для задержания всего стока. Сооружение валов на приовражном участке более целесообразно, так как в этом случае они занимают малоценную в хозяйственном отношении территорию и не мешают механизированной обработке почвы на остальной части водосбора.

Водозадерживающие валы – это выемочно-насыпные сооружения, которые строят с широким и узким гребнем. Валы с узким гребнем делают редко из-за трудности механизации их строительства. Эти валы менее устойчивы, поэтому их можно устраивать только на ровных пологих склонах и небольших водосборах. Водозадерживающие валы так же, как и валы-террасы, устраивают параллельно горизонталям местности. Для предотвращения стока воды через концы вала их поворачивают вверх по склону под углом 100...120° к оси вала. Эти сооружения на концах вала называют шпорами. Шпоры могут быть глухими или открытыми. Во втором случае для прохода воды в конце вала делают водопропуск (рис. 37).

Для лучшего удержания валом воды под прямым углом к нему со стороны верхней части склона на выемке устраивают перемычки через 50...100 м друг от друга. Водозадерживающие валы наиболее целесообразно делать в тех случаях, когда склоны спускаются полого к оврагу в виде амфитеатра. Валы и канавы должны охватывать вершину оврага дугообразно. Они задерживают весь сток, поступающий к вершине оврага, и укрепление его дна и вершины становится излишним. Водозадерживающие валы обычно создают на небольших водосборах площадью не более 15 га при крутизне склонов до 3°. При устройстве водозадерживающих валов на ложбинном рельефе площадь водосбора не должна превышать 5...8 га, а крутизна склонов – 6°.

Весной следующего после сооружения вала года его засевают смесью многолетних трав, состоящей из ежи сборной и тимофеевки. Иногда используют смесь ежи сборной, тимофеевки и клевера или овсяницы луговой и клевера. Между вершиной оврага и первым водозадерживаю-

щим валом высаживают лесные культуры. Лес сажают на дне и откосах оврага.

Распылители стока. Их создают в местах концентрации поверхностного стока: разъемных бороздах, межах, ложбинах, колеях дорог и др. Главное назначение этих сооружений – уменьшить объем и скорость стока по мелким отрицательным формам рельефа путем отвода воды на прилежащий склон. Их делают для того, чтобы в нижней части склона на таких понижениях не появились размывы или овраги.

Распылители устраивают в виде валика с расположенной рядом выемкой, который перегораживает ложбинку под углом 45° к направлению стока. Высота валиков обычно 30...50 см, в зависимости от глубины ложбинки. В сторону понижения рельефа высота валика постепенно уменьшается. Ширина валика по дну ложбинки составляет 1,5...3 м. Распылители размещают по ложбинке или борозде через 75...100 м. В задернованных ложбинах распылители служат несколько лет. На пахотных землях их сооружают ежегодно.

Водоотводные валы. Водоотводные валы, или нагорные канавы, сооружают для отвода воды от оврагов с большим числом вершин. Вода с их помощью направляется в задернованные балки или специаль-

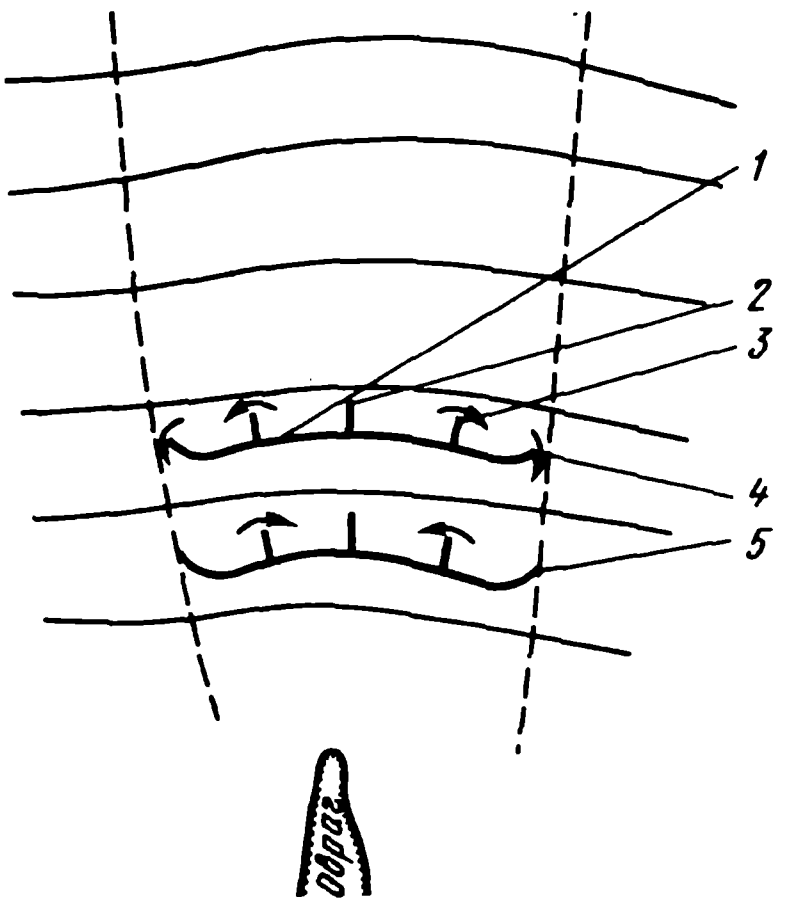


Рис. 37. Водозадерживающие валы (вид в плане):

1 – вал; *2* – глухая перемычка; *3* – открытая перемычка; *4* – открытая шпора (шпора с водовыпуском); *5* – глухая шпора

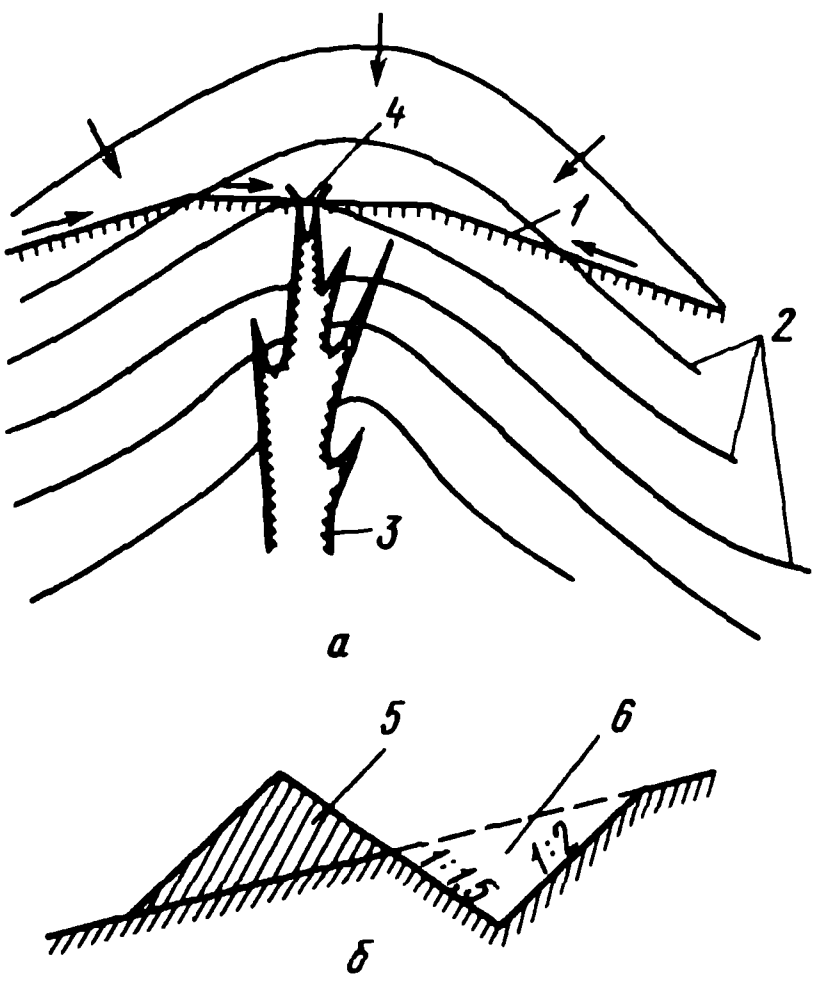


Рис. 38. Водоотводные валы (нагорные канавы):

а – положение водоотводного вала на местности; *б* – поперечный разрез водоотводного вала; *1* – вал; *2* – горизонтали местности; *3* – овраг; *4* – водосброс; *5* – вал; *6* – канал; стрелками показано направление стока

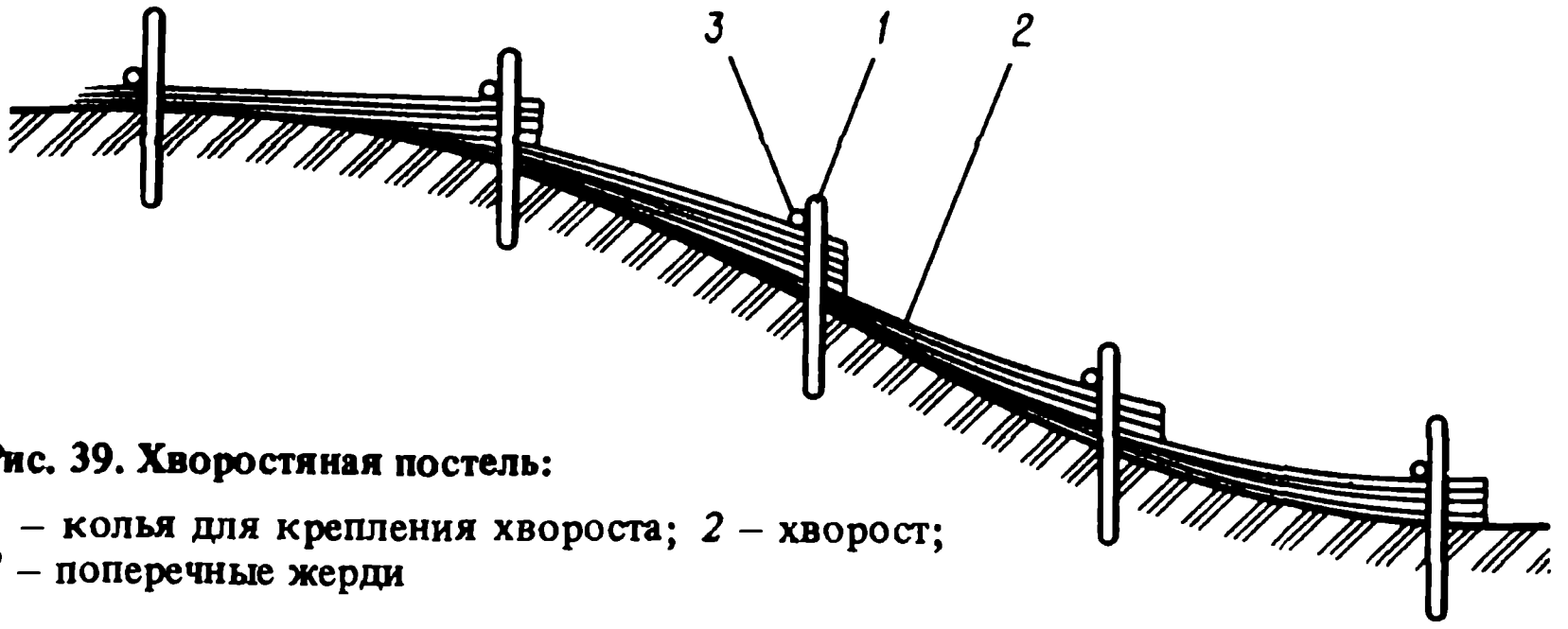


Рис. 39. Хворостяная постель:

1 – колья для крепления хвороста; *2* – хворост; *3* – поперечные жерди

ные сбросные сооружения. Их назначение – отвести воду от площадей, расположенных выше затеррасированных участков, или водосливов и других сооружений. Водоотводные валы состоят из выемки – канавы и вала, сложенного из вынутого грунта (рис. 38). Их рассчитывают на наибольший расход воды. Канавы делают с таким уклоном, чтобы скорость воды вдоль вала была ниже критической и не размывала почву, а канава при этом не заилялась. Таким требованиям соответствует уклон канав в пределах 0,0005...0,01. Нижние концы водоотводных валов подводят к водоприемнику – специальному сооружению – или задернованной ложбине.

Напочвенные почвозащитные сооружения. В ряде случаев, когда сооружение распылителей стока, террас и водозадерживающих валов на водосборной территории затруднено, возле вершины оврага устраивают напочвенные почвозащитные сооружения. В США их обычно делают из проволочной сетки, которой устилают почву полосой шириной 2... 4 м и длиной 10...20 м. Прекрасной защитой от эрозии могут быть настилы из хвороста, называемые хворостными постелями (рис. 39).

7.2. Вершинные водосбросные сооружения

Противоэрозионные вершинные водосбросные сооружения, устраиваемые в вершинах оврагов, обеспечивают безопасный сброс концентрированного поверхностного стока на нижние уровни. Вершинные водосбросные сооружения создают в тех случаях, когда водосбросная площадь оврагов не позволяет применить систему мероприятий, регулирующих сток: вершины оврага подходят к ценным техническим сооружениям (путям сообщения, мостам, жилым и промышленным зданиям и т. д.).

Вершинные водосбросные сооружения разнообразны – от простейших, доступных каждому колхозу или совхозу, до сложных инженерных конструкций. Их размещают как в вершине закрепляемого оврага, так и на ближайших от него участках, в более устойчивой части русла

и откосов. Эти сооружения строят из хвороста, плетней, фашин, дерева, бетона, камня и железобетона. Материал выбирают, исходя из объема воды, пропускаемой через сооружение.

В зависимости от местных природных условий сооружения в вершине оврага создают в виде быстротока, перепада или консоли (рис. 40).

Быстротоки. В этих сооружениях вода движется, не отрываясь от их ложа (рис. 40, *а*).

Быстроток состоит из следующих частей: входной, принимающей поток с водосбора и направляющей его в сооружение; собственно быстротока – наклонного лотка, по которому вода сбрасывается на дно оврага (угол наклона лотка 10...15°); водобойной части – укрепленного водобойного колодца, сооружаемого на дне оврага и предназначенного для гашения живой силы потока; рисбермы – укрепленного камнем дна.

Быстротоки из хвороста, плетня служат 3...4 года. Деревянные быстротоки более долговечны и служат до 10 лет. Они способны пропускать воду в объеме 2...3 $м^3/с$ со скоростью до 9...10 м/с.

Фашинные быстротоки устраивают на небольших водосборах при наличии хвороста и кольев. Фашины делают из пучков трех-четырехлетних ветвей ивы или ясеня, березы, акации желтой и других пород с добавлением прутьев ивы. Колья готовят из живой ивы. В конструкции они прорастают и хорошо закрепляют ее, тогда как хворост быстро сгнивает.

В настоящее время в местах, подвергающихся сильной овражной эрозии, строят прочные сооружения из бетона, железобетона и камня

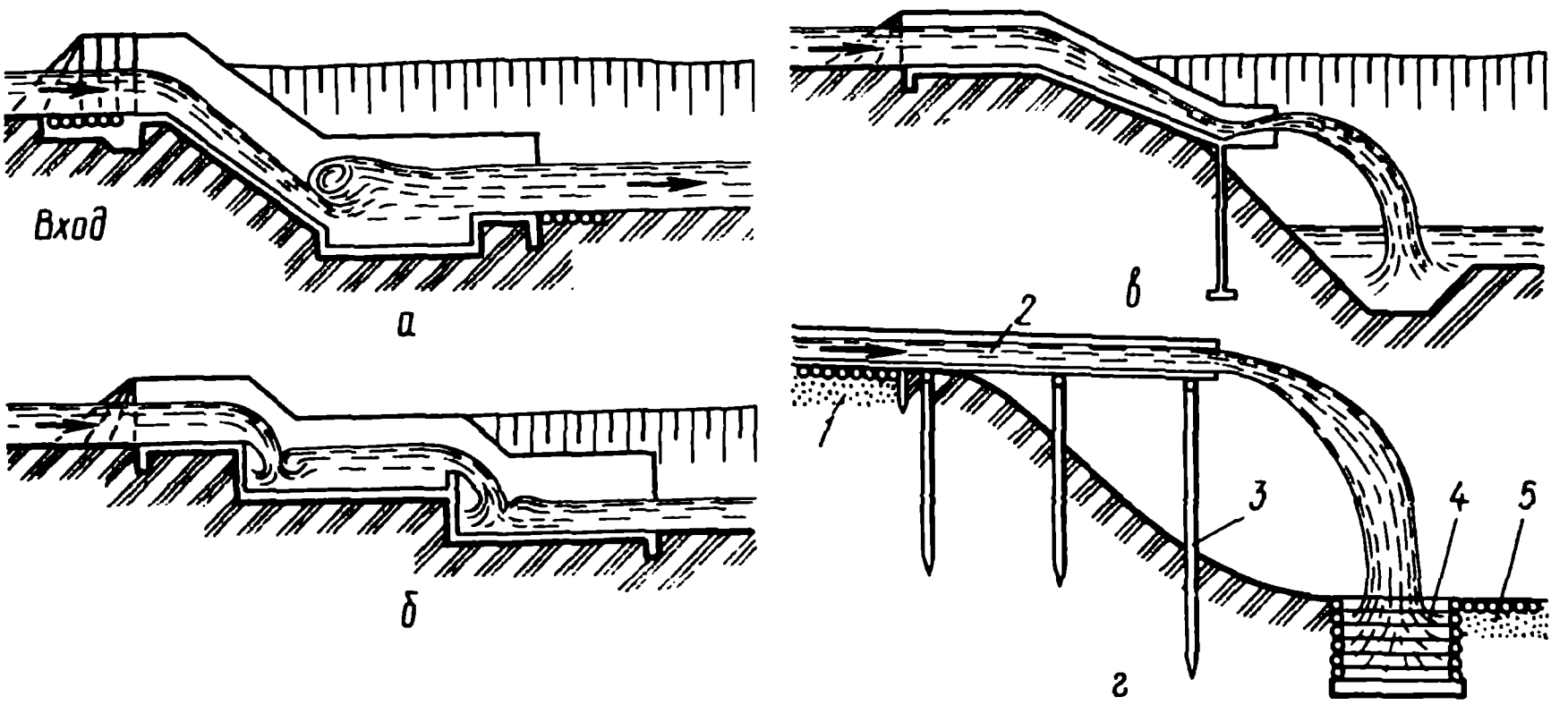


Рис. 40. Вершинные водосбросные сооружения:

а – быстроток; *б* – перепад; *в* – консоль с наклонным лотком; *г* – консоль с прямым лотком; *1* – закрепленная вершина оврага; *2* – струенаправляющий лоток; *3* – опора лотка; *4* – водобойный колодец; *5* – укрепленная часть днища оврага

на цементном растворе. Эти сооружения служат 30...40 лет. В последние годы наиболее широкое распространение получили сооружения из сборного железобетона, отдельные части которых изготавливают на заводах железобетонных изделий.

При устройстве быстротоков из бетона и железобетона широко применяют сборные конструкции. Лоток устанавливают на опорах или на бетонной подушке. Однообразие деталей позволяет делать лотки любой длины. Сборные лотки дешевле монолитных, построенных на месте, их применение в 3...4 раза сокращает объем работы по закреплению оврагов по сравнению со строительством монолитных сооружений.

Перепады. В этих сооружениях вода на некоторых участках пути движется по твердому основанию, а в ряде мест испытывает свободное падение (рис. 40, *б*). Перепады применяют при больших уклонах местности. Они бывают одноступенчатые, двухступенчатые и многоступенчатые. Число ступеней в перепаде зависит от глубины оврага. Перепады из фашин, плетней и дерна создают в вершинах оврагов с перепадом высот не более 2 м при площади водосбора около 10...15 га. Они служат 3...5 лет и выдерживают небольшой расход воды – 0,1...0,15 $м^3/с$.

Перепад состоит из входа, ступеней, стенок падения и выхода. Выход делают таким же, как у быстротоков. Ширина входного отверстия не должна превышать 2 м, высота стенок падения обычно составляет 0,3... 0,5 м, а длина ступеней в 3...4 раза больше их высоты.

Консоли. Консольный перепад, или консоль, состоит из входа, струенаправляющего лотка, водобойного (успокаивающего) колодца и укрепленной канавы (рис. 40, *в*, *г*). Входной конец лотка сооружают на закрепленной вершине оврага, а его остальную часть размещают на опорах. Вода из струенаправляющего лотка отбрасывается на некоторое расстояние, попадает в успокоительный колодец, из которого вытекает по мощеной канаве на дно оврага.

Для более прочного закрепления висящей части лотка при значительной ее длине поддерживающие опоры целесообразно делать короче. В этом случае консоль будет не горизонтальной, а наклонной. Это переходная форма между консолью и быстротоком.

Железобетонные консоли имеют те же конструктивные особенности, что и деревянные. Консоли устраивают в вершине оврага при большом перепаде высот, когда строительство быстротоков обходится дорого.

7.3. Донные сооружения

К донным сооружениям относятся устройства, защищающие вершины оврагов, снижающие скорость течения воды по оврагу, а также дамбы и запруды (рис. 41). Эти сооружения в основном возводят после фитомелиоративных мероприятий по закреплению вершины оврага.

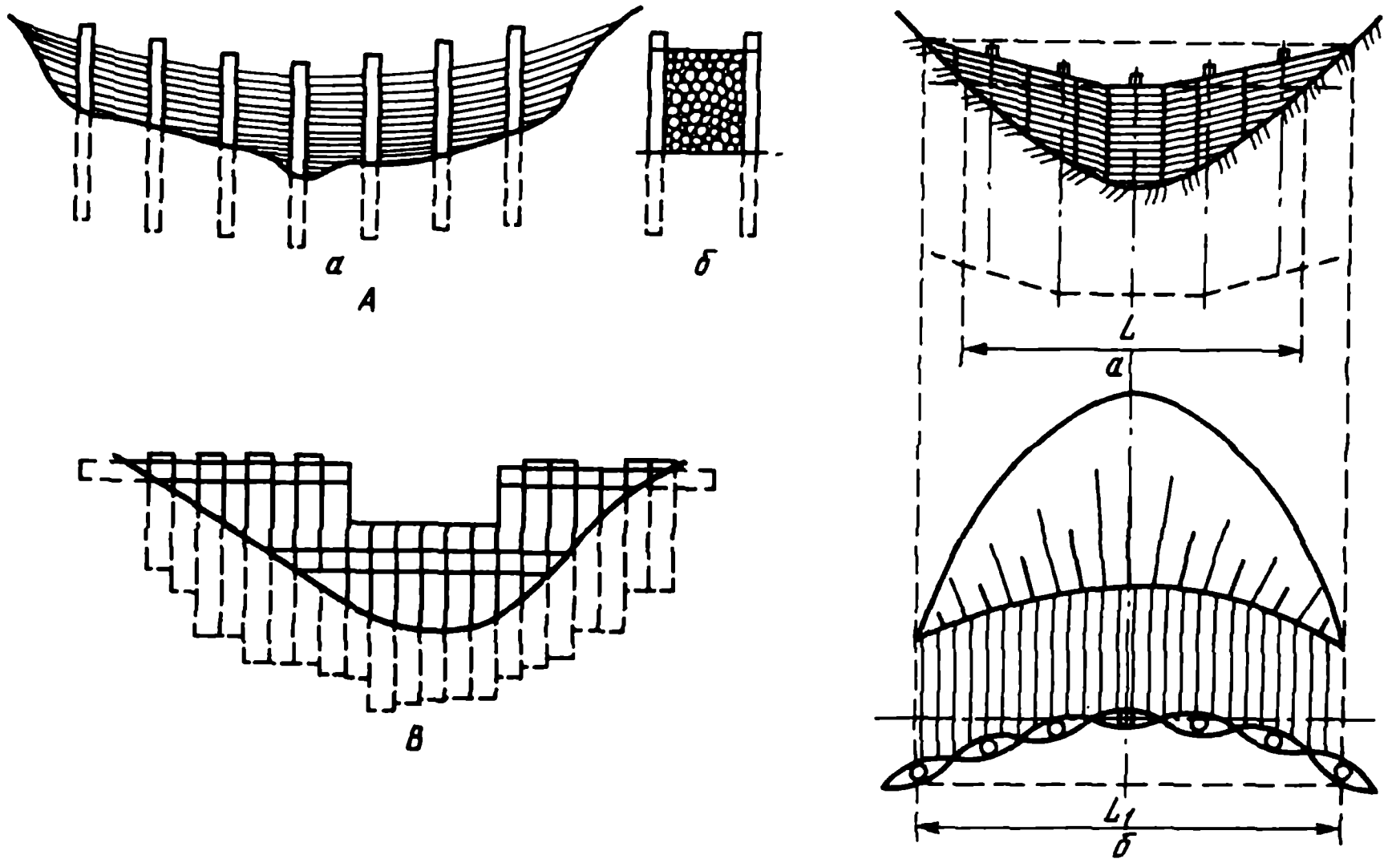


Рис. 41. Донные сооружения:

А – перемычка из хвороста (*а* – вид спереди, *б* – вид в разрезе); *Б* – однорядная плетневая запруда (*а* – вид спереди, *б* – вид в плане, *в* – вид сбоку; *1* – запруда, *2* – утрамбованный насыпной грунт); *В* – бревенчатая плотина

Донные противоэрозионные гидротехнические сооружения делят на временные и длительно действующие.

Временные сооружения. Их устраивают на закрепляемых растительностью участках, где одни агротехнические и фитомелиоративные мероприятия не предотвращают эрозию, и молодые посадки древесных растений быстро смываются. Иными словами, они предназначены для защиты почв от эрозии на время, необходимое для укоренения растительности, закрепляющей склоны. Такие же сооружения применяют в тех местах, где необходимо уменьшить скорость течения воды и вызвать отложение наносов. Среди временных гидротехнических сооружений можно назвать следующие.

Проволочные валики устраивают в головной части оврага. Они представляют собой сооружения из проволочной сетки, изготовленной из толстой оцинкованной проволоки. Ширина их около 2 м. Эту сетку стелят поперек оврага и со стороны устья оврага кладут на край сетки камни или иной груз. Другой край сетки загибают, закрывая ею камни. Затем края сетки сплетают проволокой, получается валик, через который вода проникает, но ее скорость резко снижается.

Перемычки из проволочной сетки устраивают также в головной час-

ти оврага. Для этого забивают деревянные колья и к ним крепят перемычку из проволочной сетки. Нижний край сетки закапывают в землю. Высота сетки около 0,5 м. Она резко снижает скорость потока.

Перемычки из хвороста делают так: поперек оврага вбивают два ряда кольев и между ними укладывают ветви диаметром до 3 см. Сверху их прижимают грузом или крепят к кольям проволокой (рис. 41, *А*).

Запруды устраивают в верхней размываемой части оврага на расстоянии 100...200 м от вершины (рис. 41, *Б*).

Донные запруды образуют пруды, уменьшают скорость потока, способствуют отложению наносов и выравнивают уклон дна оврага. Вследствие этого ослабляется размыв склонов, появляются условия для их облесения и задернения. В зависимости от напора воды и расчетного времени существования запруды создают или из проволочной сетки, хвороста, плетней и фашин, или из камня, бетона. В последнее время применяют также земляные запруды. Они выгодны тем, что работы по их созданию можно полностью механизировать.

Плетневые запруды бывают однорядные и двурядные. Однорядные запруды делают высотой до 0,5 м. Они выдерживают напор на гребне 0,2...0,3 м. Двурядные запруды делают высотой до 1 м. Они допускают напор воды 0,3...0,5 м.

Плетневые и хворостяные запруды имеют стрелку прогиба в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В горизонтальной плоскости стрелка прогиба составляет 1/8...1/10 длины запруды по гребню. Для уменьшения подмыва берегов запруда должна быть направлена выпуклостью навстречу течению. Прогиб в вертикальной плоскости равен 20...30 см. Со стороны вершины оврага вдоль плетня запруды насыпают и утрамбовывают грунт. Ширину основания насыпи делают вдвое больше высоты.

Оптимальное число запруд по дну оврага

$$n = (H - IL)/h,$$

где H – разность высот начальной и конечной точек закрепляемого участка; I – уклон, при котором русло не размывается, для песчаных грунтов он равен 0,005, суглинистых – 0,008, глинистых – 0,01; L – длина закрепляемого участка; h – высота запруды.

Расстояние между запрудами l находят по формуле

$$l = h/(i_0 - i),$$

где i_0 – уклон русла оврага; i – предельно допустимый уклон.

Земляные перемычки иногда устраивают в оврагах глубиной от 2 до 10 м. Поперек оврага бульдозером насыпают систему земляных перемычек, расстояние между которыми равно длине пруда и запасного пространства.

Бревенчатые плотины устраивают таким же способом, как и хворостяные, но сваи делают толще и располагают ближе друг к другу.

Они имеют длину около 2 м и диаметр до 10 см. Расстояние между парными сваями равно диаметру бревен. С целью повышения прочности плотины сваи скрепляют в верхней части болтами или поперечными накладками (*рис. 41, В*).

Плотины из кирпичной кладки также относятся к кратковременным сооружениям. При их сооружении делают канаву поперек склона и укладывают кирпичи, сооружая стенку, возвышающуюся над днищем оврага. Плотины могут быть арочные (вогнутые по отношению к устью оврага), иметь прямолинейную или Т-образную стенку. В последнем случае стенку плотины со стороны устья оврага укрепляют дополнительной кирпичной кладкой, перпендикулярной плотине. При легкой кирпичной кладке фундамент практически не нужен, плотину лишь незначительно углубляют. При больших плотинах сооружают фундамент более мощный. Ширина основания стенки в этом случае должна равняться максимальной высоте.

Длительно действующие сооружения. При больших водосборах для предотвращения эрозии необходимо возведение долголетних гидротехнических противоэрозионных сооружений. Они должны быть эффективными при скоплении большого количества ливневых вод и служить в течение многих лет. Длительно действующие сооружения в отличие от временных работают без ремонта в течение 10 лет эксплуатации и более.

Илоулавливающие плотины могут быть эффективным способом предотвращения поступления в водоемы наносов из оврагов. Их строят вокруг охраняемых озер и водохранилищ. Например, в Чернобыле была построена большая плотина вдоль реки Припяти для задержания стока вод и ила, загрязненных радиоактивными элементами, в Киевское водохранилище. Такие плотины регулируют сток и осаждают ил в русле оврага, аккумулируют ливневый сток и впоследствии после отстаивания выпускают его в водоемы малыми дозами. Илоулавливающую плотину строят обычно в верховьях долины оврага или балки с таким расчетом, чтобы она задержала сток после одного ливня. На плотинах предусматривают водовыпуски в виде постоянно открытой трубы диаметром 15...20 см. Вода из водохранилища, создаваемого перед плотиной в верховьях оврага, выходит через эту трубу за 1...2 сут. Водоспускная труба имеет отверстие выше подошвы плотины. Выпуск воды из трубы находится в нижнем бьефе. Вода поступает в водобойный колодец – сооружение из трех бетонированных стенок и бетонного днища.

Плотины, прекращающие рост оврага, ставят в местах, где рост оврага угрожает разрушению дороги, моста или других инженерных сооружений. Их устраивают без водослива, несколько ниже верховьев оврага. Они должны удерживать воду на уровне верховьев оврага с тем, чтобы полностью ликвидировать разрушительную силу потока. Благодаря таким плотинам на месте оврагов образуются пруды. Их построе-

но очень много (сотни и тысячи) в черноземной зоне европейской территории СССР. В этих маловодных районах пруды используют для орошения, разведения рыбы и других полезных целей. Благодаря таким прудам поднимается уровень почвенно-грунтовых вод, что улучшает режим водного питания растений и повышает их урожайность.

Габионы — это гибкие плотины, способ сооружения которых разработан в Италии. В ряде мест происходит пучение почвогрунтов, связанное с их набуханием при увлажнении или с промерзанием. В местах пучения плотины трескаются, так как бетон и кирпичные кладки оказывают хорошее сопротивление напору воды, но под воздействием пучения трескаются, разрушаются. В таких случаях используют гибкие плотины — габионы. Сооружение габионов в значительной степени аналогично устройству проволочных валиков. Отличаются они тем, что вместо проволочной сетки готовят более прочный каркас — из толстой проволоки. Его скручивают в трубу и набивают камнями. Диаметр габионов около 1 м. Их крепят поперек долины оврага. Такие сооружения гибки и прочны, заиливаясь, они не пропускают воду.

7.4. Мелиоративное воздействие на овражные земли и крутые склоны с целью их сельскохозяйственного использования

В связи с появлением мощной техники в последнее время разработаны новые способы освоения эродированных земель. Они включают засыпку промоин и мелких оврагов, превращение оврагов в балки и террасирование крупных оврагов и балок.

Засыпка оврагов. Для уничтожения промоин глубиной до 25 см вдоль них проводят вспашку всвал с последующей обработкой поперек склонов. Более глубокие промоины заравнивают бульдозером. Овраги глубиной свыше 2 м выполаживают (рис. 42). Для этого овраг по длине разбивают на участки, ведя счет от устья. На первом участке перпендикулярно бровке оврага бульдозером срезают землю и перемещают ее в овраг сначала с одной стороны, а затем с другой, доводя насыпь до проектной отметки.

После выполаживания первого участка начинают обработку второго. Срезая гумусовый слой, перемещают его на первый участок. Затем засыпают овраг на втором участке. После засыпки второго участка на его поверхность помещают гумусовый горизонт третьего участка и т.д. На остальных участках работу ведут аналогичным образом. Последний участок у вершины оврага покрывают гумусовым слоем, взятым из-под основания водоотводной канавы — вала.

Водоотвод сооружают у вершины оврага для того, чтобы не допустить сток воды по старому руслу. Выполаживание оврагов следует применять, если их длина составляет не более 300...400 м, а глубина 4...6 м. Этот способ нецелесообразен на донных оврагах с большими

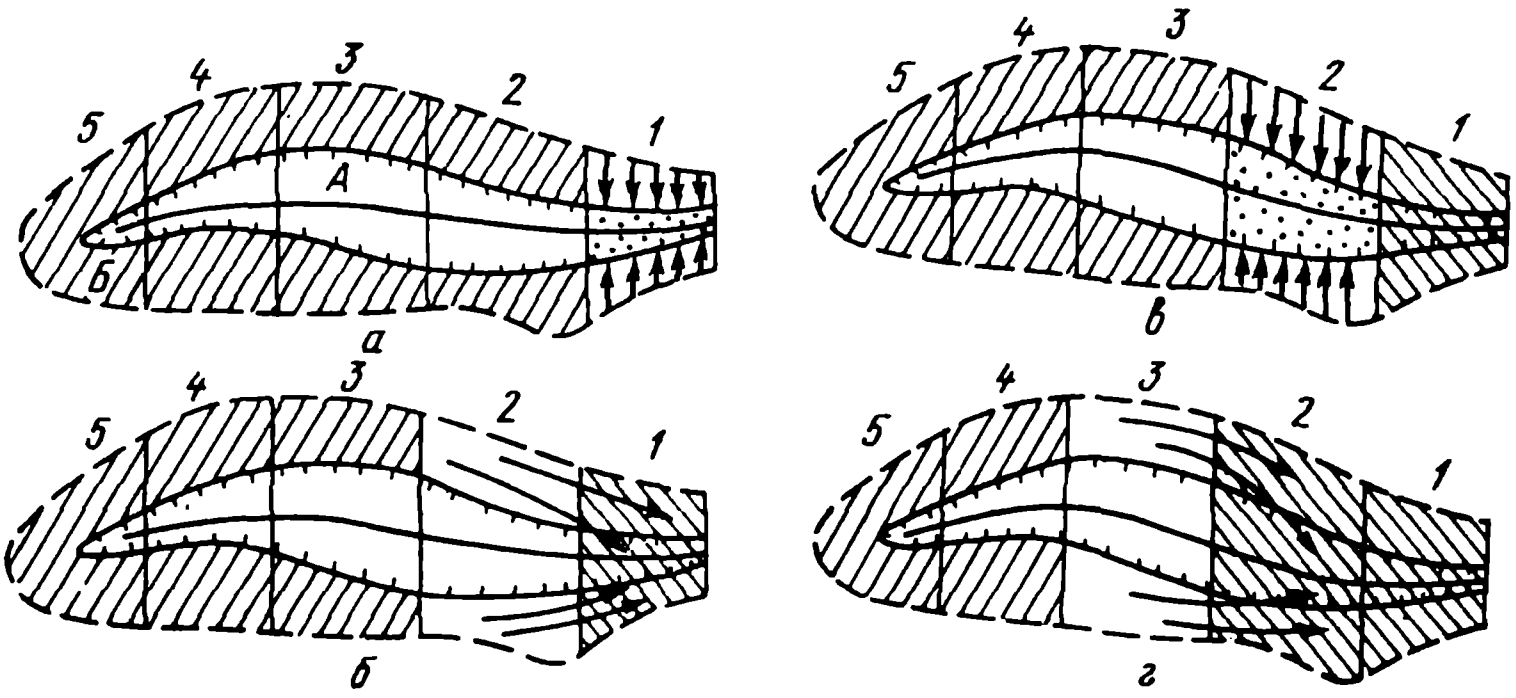


Рис. 42. Схема выполаживания склонов оврагов с сохранением на поверхности плодородного гумусового слоя почвы:

а – стадия выполаживания склонов и засыпки оврага на участке, примыкающем к его устью; *б* – перемещение гумусированного слоя с участка *2* на участок *1*; *в* – выполаживание склона на участке *2*; *г* – перемещение гумусированного слоя на участок *2*; *А* – овраг; *Б* – полоса выполаживания склона оврага; *1...5* – номера участков, подвергаемых последовательной обработке. Стрелками показано направление движения бульдозера

водосборными площадями и на оврагах, прорезающих каменистые породы с маломощными почвами. На засыпном овраге проводят работы по облесению, залужению, задержанию стока.

Превращение оврагов в балки. Естественным путем овраги переходят в балки при выработке профиля равновесия и зарастании склонов травяной растительностью. Это процесс длительный. Поэтому для сельскохозяйственного использования территории перевод оврагов в балки ускоряют путем выполаживания крутых склонов бульдозерами и сгребания с них грунта в овраг. Грунт, перемещенный в овраг, покрывают слоем гумусированной почвы, находящейся ближе к верховью оврага, и засевают многолетними травами. Высокой эрозионной устойчивостью обладают участки с посевом трав, имеющих мощные корневые системы (корневищные, корнеотпрысковые и плотнокорневые травы). По требованию к увлажнению растения делятся на три группы: влажных областей, степной зоны (средневлаголюбивые), сухих местообитаний. Растения влажных местообитаний, обладающие высокой эрозионной устойчивостью, – это корневищные и корнеотпрысковые травы: иван-чай, манжетка, солодка, гусиная лапка, лютик ползучий, пырей и др. Они создают плотную дернину, сдерживающую эрозию. Их можно высевать по дну оврагов.

Растения средней эрозионной устойчивости – стержнекорневые: клевер, ястребинка. Они способны удерживать почву от эрозии на склонах на небольшом расстоянии от тальвега оврага.

Рис. 43. Общий вид террасированного склона в Молдавии

Растения, малотребовательные к влажности почв, применяют для придания эрозионной устойчивости приовражной территории. К ним относятся мятлик, полевица и другие травы, создающие дернину, способствующие залужению.

Для создания травостоя, хорошо защищающего почву от поверхностного стока, необходим полосный посев растений всех перечисленных групп в пределах разных зон приовражного эрозионного фонда. Верховья залуженных оврагов и их прибровочные части закрепляют посадкой древесных и кустарниковых пород.

Террасирование склонов. Крутые высокие склоны оврагов осваивают под насаждения путем террасирования (рис. 43), которое можно проводить или напашным способом, или применяя специальные террасеры. Последние используют на склонах круче 15°. Создаваемые на крутых склонах террасы бывают двух типов: траншейные и ступенчатые (рис. 44).

Траншейные террасы состоят из двух основных элементов: канав и земляных валов. Валы образуются из грунта, выброшенного из канав, и располагаются вдоль их нижнего края откоса. Эти террасы теперь применяют редко, так как они затрудняют механизацию сельскохозяйственных работ.

Ступенчатые террасы состоят из следующих элементов: плоских ступеней, выемочных и насыпных откосов и берм. Полотно террасы имеет ширину 2...4 м. Одна половина его врезается в склон, а другая образуется за счет насыпи из срезанного грунта. Расстояние между террасами определяется крутизной склона. Для увеличения противоэрозионного эффекта террас между ними делают промежуток, вследствие чего насыпная часть верхней террасы немного не доходит до выемки нижней террасы. Этот участок склона между насыпным откосом верхней террасы и откосом, вырытым в грунте нижней террасы, называют бермой. По-

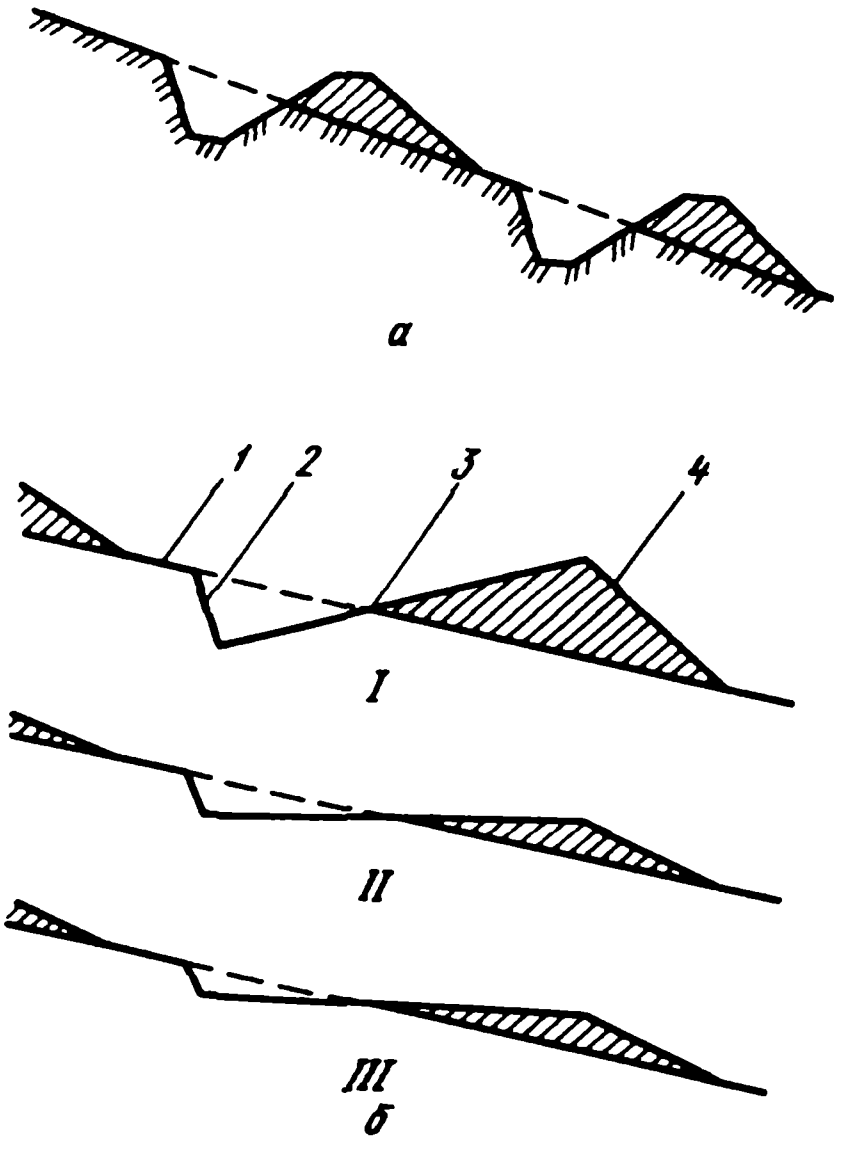


Рис. 44. Террасы:

а – траншейные; *б* – ступенчатые; *I* – с обратным уклоном; *II* – с горизонтальным уступом; *III* – с наклонным уступом; *1* – берма; *2* – материнский откос; *3* – полотно; *4* – насыпной откос

лотно ступенчатых террас делают трех видов: горизонтальное, с обратным уклоном и с уклоном по склону. Наиболее распространены террасы с горизонтальным полотном. Они уменьшают скорость стока поверхностных вод и хорошо их поглощают.

Террасы с обратным уклоном полотна имеют некоторую емкость, обеспечивающую задержку на склонах вод, не успевших стечь. Эти террасы создают на водопроницаемых грунтах при строго горизонтальном выравнивании террас поперек склона.

Террасы с уклоном полотна по склону более просты для строительства. Их применяют в условиях повышенного количества атмосферных осадков и плохой водопроницаемости почвогрунтов.

Ступенчатые террасы обеспечивают полную механизацию работ по уходу за культурами. Их широко применяют на склонах крутизной от 10 до 35°. Нарезку террас ведут по горизонтальным плоскостям. Для обеспечения горизонтальности террас проводят разметку склона с помощью нивелира. Ступенчатые террасы превращают бросовые земли в высокопродуктивные. Их создание не только предотвращает эрозию склонов, но и обеспечивает получение высоких устойчивых урожаев ценных культур.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких случаях для борьбы с эрозией применяют гидротехнические сооружения? 2. Назовите особенности сооружений, размещаемых на водосборной площади. 3. Как устроены вершинные водосбросные сооружения? 4. Гидротехнические сооружения на дне оврагов, их устройство и их функции. 5. Как осуществляется мелиорация оврагов и крутых склонов?

Указатель литературы

Агролесомелиорация /Дьяченко А. Е., Брысова Л. П., Голубев И. Ф. и др. – М.: Колос, 1979. – 205 с.

Бельгибаев М. Е., Зонов Г. В., Паракшина Э. М. Эколого-географические условия дефляции почв Северного и Центрального Казахстана. – Алма-Ата: Алым, 1982. – 230 с.

Ветровая эрозия и плодородие почвы: Сб. научных трудов ВАСХНИЛ и Всесоюзного НИИ зернового хозяйства. – М.: Колос, 1976. – 319 с.

Долгилевич М. И. Пыльные бури и агролесомелиоративные мероприятия. – М.: Колос, 1978. – 159 с.

Заславский М. Н.Эрозиоведение. – М.: Высшая школа, 1983. – 319 с.

Заславский М. Н. Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия. – М.: Высшая школа, 1987. – 376 с.

Захаров П. С. Эрозия почв и меры борьбы с ней. – М.: Колос, 1971. – 191 с.

Защита почв от эрозии/Потапенко Я. И., Толоков Н. Р., Манченко В. И. и др. – М.: Колос, 1975. – 128 с.

Каштанов А. Н., Заславский М. Н. Почвоводоохранное земледелие. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 462 с.

Колесниченко М. В. Лесомелиорация с основами лесоводства. – М.: Колос, 1981. – 336 с.

Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. Эрозия почв. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 91 с.

Почвозащитное земледелие /Под ред. А. И. Бараева. – М.: Колос, 1975. – 304 с.

Смирнова Л. Ф. Ветровая эрозия почв. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 90 с.

Эрозия почв и борьба с ней /Бараев А. И., Каштанов А. Н. и др. – М.: Колос, 1980. – 368 с.

Содержание

Предисловие 3

ЧАСТЬ I. **Эрозия и дефляция почв** 5

Глава 1. **Эрозия и дефляция как формы проявления деструкции почв** 5

1.1. *Понятие эрозии и других форм деструкции почв* 5
1.2. Распространение эрозии и дефляции почв 6
1.3. *Развитие науки об эрозии и дефляции почв* 13

Глава 2. **Эрозия почв** 16

2.1. Сущность эрозии почв 16
2.2. Формы проявления и виды эрозии почв 17
2.3. Факторы эрозии почв 30
2.4. Свойства эродированных почв 47
2.5. Диагностические признаки и классификация почв по степени смытости 51
2.6. *Изображение смытых почв на аэрофотоснимках* 56
2.7. Эрозионное районирование почвенного покрова 59
2.8. Прогноз эродируемости почв 60

Глава 3. Дефляция почв 65

3.1. Сущность дефляции почв 65
3.2. Факторы дефляции почв 68
3.3. Изменение состава и свойств почв при дефляции 77
3.4. Классификация дефлированных почв 84
3.5. Районирование территории СССР по дефляционной опасности земель 88

ЧАСТЬ II. **Защита почв от эрозии и дефляции** 96

Глава 4. **Организация территории как один из видов защиты почв от эрозии и дефляции** 96

4.1. Виды мероприятий по защите почв 96
4.2. Разработка проектов почвозащитной организации территории 96
4.3. Понятие о полосной и контурной организации территории 99

Глава 5. **Агротехнические способы борьбы с эрозией и дефляцией** 101
5.1. Агротехнические противоэрозионные мероприятия 101
5.2. Агротехнические приемы защиты почв от дефляции 107
5.3. Почвозащитная бесплужная система земледелия 115
5.4. Зональность противоэрозионных систем земледелия 120

Глава 6. **Агролесомелиорация** 121

6.1. Агролесомелиорация как универсальная система защиты почв и сельскохозяйственных культур 121
6.2. Виды лесных защитных насаждений 124

6.3. Требовательность древесных пород к экологическим условиям . . . 125
6.4. Биологические особенности древесных пород 128
6.5. Конструкции полезащитных лесных полос 130
6.6 Влияние полезащитных лесных полос на сельскохозяйственные угодья 131
6.7. Размещение лесных насаждений 135

Глава 7. **Гидротехнические сооружения для борьбы с эрозией почв** 143

7.1. Сооружения на водосборной площади 143
7.2. Вершинные водосбросные сооружения 146
7.3. Донные сооружения 148
7.4. Мелиоративное воздействие на овражные земли и крутые склоны с целью их сельскохозяйственного использования 152

Указатель литературы 156

Учебное издание

ТОЛЧЕЛЬНИКОВ ЮРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Эрозия и дефляция почв. Способы борьбы с ними

Зав. редакцией *А. И. Гераськина*
Художественный редактор *В. А. Чуракова*
Технический редактор *М. И. Волкова*
Корректор *Т. Р. Сидорова*

ИБ № 7053

Сдано в набор 26.09.89. Подписано в печать 15.05.90. Формат 60 × 88 1/16. Бумага офсетная № 2. Гарнитура Пресс-Роман. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,8. Усл. кр.-отт. 10,04. Уч.-изд. л. 11,11. Изд. № 372. Тираж 7000 экз. Заказ № 543. Цена 35 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО "Агропромиздат", 107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул. Садовая-Спасская, 18.

Московская типография № 8 Государственного комитета СССР по печати. 101898, Москва, Хохловский пер., 7.