

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

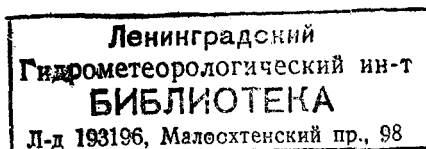
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. Р. КОНСТАНТИНОВ, А. С. СУБВОТИН

ВОДНЫЙ И ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ОРОШАЕМЫХ ПОЛЕЙ

Учебное пособие

Под редакцией доцента *Л. П. СЕРЯКОВОЙ*



ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М. И. КАЛИНИНА

ЛЕНИНГРАД
1979

Одобрено Ученым советом
Ленинградского гидрометеорологического института

В учебном пособии рассматриваются задачи и методы мелиоративной гидрологии, виды водных и тепловых мелиораций, водный и тепловой режим сельскохозяйственных полей. Кратко описываются способы определения основных составляющих водного и теплового баланса, оценивается их точность.

Пособие рассчитано на студентов гидрологической специальности гидрометеорологических институтов и университетов. Оно может быть полезно студентам гидромелиоративных вузов, а также агрономам и мелиораторам.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из основных путей интенсификации сельскохозяйственного производства является мелиорация сельскохозяйственных полей. Площади мелиорируемых земель в Советском Союзе непрерывно растут. Проектирование, строительство и правильная эксплуатация оросительных систем требуют усилий специалистов разного профиля. Если для проектирования и строительства систем требуются, главным образом, гидротехники и мелиораторы, то для эффективной эксплуатации нужны еще и специалисты гидрологи и метеорологи, ибо режимы орошения, осушения и обводнения территорий существенно зависят от гидрометеорологических условий.

Хорошее знание гидрологических и метеорологических условий района позволит улучшить и конкретизировать проектирование, снизить стоимость строительства, уточнить оросительные и поливные нормы, оптимизировать режим орошения и осушения для конкретных лет по культурам и фазам их развития. Последнее обстоятельство способствует повышению эффективности мелиорации, снижает такие ее возможные отрицательные последствия, как заболачивание и вторичное засоление орошаемых земель или излишняя пересушка осушаемых территорий.

Из всех дисциплин, изучаемых студентами, обучающимися по специальности гидрологии суши, к сельскому хозяйству ближе всего примыкает курс мелиоративной гидрологии. Постановка данного курса вызвана необходимостью увеличить вклад гидрологов в дело всемерного повышения продуктивности сельского хозяйства — одной из важнейших общегосударственных задач нашей страны.

Настоящая книга является первой в серии учебных пособий по курсу мелиоративной гидрологии.

ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство в большей мере, чем любая другая отрасль народного хозяйства, связано с климатическими и погодными условиями. Засухи и суховеи, пыльные бури и эрозия почв, заморозки и градобитие, выпревание и вымокание озимых и многие другие вредные влияния погоды часто наносят огромный урон посевам. Эффективным средством борьбы за повышение и сохранение урожая является мелиорация.

Мелиорация — это улучшение какого-либо природного объекта тем или иным путем. Однако наиболее часто этим термином характеризуют улучшение сельскохозяйственных угодий, заключающееся в их орошении (ирригации) или в осушении.

Мелиоративная гидрология — наука о гидрологических проблемах мелиорации. Такими проблемами являются: определение оптимальных поливных режимов (норм и сроков поливов) и оптимальных норм осушения; изучение влияния мелиоративных мероприятий на окружающую среду; прогноз изменений природных условий вследствие мелиоративных работ и обоснование рекомендаций по уменьшению отрицательных последствий мелиорации.

Объектом исследований мелиоративной гидрологии является прежде всего водный и тепловой баланс мелиорированных территорий, а также солевой баланс этих территорий.

Методы исследований мелиоративной гидрологии состоят в следующем:

— изучении водного и теплового режима мелиорируемых территорий;

— изучении физики процессов влаго-теплообмена в системе почва—растение—атмосфера;

— математическом моделировании гидрометеорологического режима мелиорированных территорий и протекающих на них физических процессов.

Мелиоративная гидрология основывается на достижениях трех наук: гидрологии суши, мелиорации и агробиологии. Из гидрологии суши мелиоративная гидрология заимствует учение о водном балансе и формировании стока на водосборах, из мелиорации — научные сведения о технических возможностях преобразования водного режима сельскохозяйственных полей и угодий, а из агро-

биологии — научное обоснование связи растений с теми условиями внешней среды, которые характеризуют изменения продуктивности растений. Если мелиорацию в широком смысле можно считать наукой о коренном улучшении (оптимизации) всех жизненно важных факторов произрастания сельскохозяйственных культур; то мелиоративная гидрология является наукой о путях оптимизации, прежде всего, водного режима сельскохозяйственных полей.

Потребность в мелиорации полей определяется неравномерностью распределения по территории тепла и влаги, необходимых для успешного произрастания растений. В самом деле, на материке приходится только 29% земной поверхности (около 150 млн. км²); из них примерно 30% занято лесами, 18% — горами, 32% — пустынями и тундрами и лишь 20% составляют степи, луга и поля. Значительная часть территории из этих 20% неудобна для сельского хозяйства (сухие, засоленные и болотистые земли, площади, занятые населенными пунктами, промышленными объектами и строительными площадками, дорогами, оврагами, балками и т. д.). Площади, занятые пашнями и разными полезными насаждениями, составляют лишь около 14 млн. км². При численности населения Земли примерно в 4 млрд. человек в среднем на один обрабатываемый гектар приходится около трех человек. Поэтому обеспечение человечества питанием является задачей весьма сложной.

Определенные проблемы в этой области встречаются и в Советском Союзе, территория которого составляет 22,3 млн. км². Из них площадь тундры занимает 8%, тайги — 34%, лесостепи и степи — 14%, пустыни и полупустыни — 13% и гор — 31%. В стране насчитывается примерно 620 млн. га сельскохозяйственных угодий, причем пашни расположены на 230 млн. га, сенокосы — на 50, а пастбища — примерно на 340 млн. га. Таким образом, в Советском Союзе на 1 человека приходится в среднем 1 га пашни. Несмотря на большой рост площади пашни (за годы Советской власти она увеличилась на 70 млн. га; только с 1950 по 1961 гг. за счет, в основном, целинных и залежных земель это увеличение составило 40 млн. га), количество ее на душу населения непрерывно сокращается.

С этих позиций представляет несомненный интерес сравнение размещения сельскохозяйственных полей и угодий в Советском Союзе и Соединенных Штатах Америки. В США 60% площади пашни расположено в районах, где выпадает 700 мм и более осадков в год. У нас же на такие районы приходится около 1% пашни. В районах с осадками менее 400 мм в год там расположено около 15% пашни, а у нас — свыше 40%. Основное производство зерновых культур в США сосредоточено в восточных и центральных районах, хорошо обеспеченных осадками. И все же, несмотря на более благоприятные условия увлажнения, в США орошается свыше 20 млн. га, или 15% площади сельскохозяйственных угодий.

Расширение мелиораций — повсеместная тенденция в практике мирового земледелия. Если в начале века во всем мире орошалось примерно 8 млн. га, то в настоящий момент — около 240 млн. га, или примерно 15% площади пашни и многолетних насаждений. Но продукция, получаемая с этих 15%, служит источником питания для более чем половины населения земного шара. В климатических условиях нашей страны некоторые ценные теплолюбивые культуры (например, рис, хлопчатник и др.) могут успешно произрастать преимущественно на орошаемых землях.

Орошаемое земледелие существовало в глубокой древности. В жарких сухих странах (Месопотамия, Египет, государства Средней Азии и др.) на затопляемых ежегодно паводками поймах возникли древние очаги культуры орошаемого земледелия. Семена высевали при спаде воды в отложившийся ил, что позволяло возделывать растения без обработки почвы. Однако стихийный режим рек или не обеспечивал ежегодного затопления одних и тех же участков, или приводил к их чрезмерно длительному затоплению. Поэтому древние земледельцы ограждали участки валами или подводили воду к ним каналами. Крупные оросительные системы начали создавать в рабовладельческом обществе, так как дешевый рабский труд давал возможность осуществлять строительство больших дамб и каналов.

В среднеазиатских республиках нашей страны орошаемое земледелие культивируется уже в течение нескольких тысячелетий. В Европейской части СССР орошение стало развиваться более 200 лет назад, главным образом на Кавказе (Дагестан, низовья Куры). С тех пор оно неизменно расширялось, но не на крестьянских, а, в основном, на помещичьих, казенных или удельных землях и поэтому существенного значения для борьбы с засухой, недородом и голоданием крестьян не имело.

Великая Октябрьская социалистическая революция национализировавшая земли, открыла широкую дорогу развитию сельского хозяйства нашей страны. Коммунистическая партия и Советское правительство всегда уделяли большое внимание вопросу осушения и ирригации земель. Так, уже в марте 1919 г. в докладе на VIII съезде партии В. И. Ленин указывал на необходимость проведения широкой системы мелиораций.

В 1921 г. Советом Труда и Оборона было принято постановление об организации мелиоративных товариществ в ряде губерний России. В годы гражданской войны многие оросительные и осушительные системы были разрушены. Уже в это время Совет Народных Комиссаров принял декрет об ассигновании 50 млн. руб. на оросительные работы в Туркестане.

В 1924 г. ЦК РКП(б) обратился к труженикам села с призывом вести борьбу с засухой. В годы предвоенных пятилеток широко развернулись мелиоративные работы в ряде районов страны. Мощный размах гидромелиоративное строительство получило

в послевоенные годы и все возрастающими темпами развивается до настоящего времени.

Всемерное развитие орошаемого земледелия в СССР на февральском пленуме ЦК КПСС (1964 г.) определено как одно из главных направлений (наряду с механизацией и химизацией) интенсификации сельского производства. На мартовском пленуме ЦК КПСС в том же году отмечалась «важность дальнейшего развития орошения в засушливых районах...».

На XXIV и XXV съездах КПСС, а также на майском (1966 г.), октябрьском (1972 г.) и июльском (1978 г.) пленумах ЦК КПСС приняты важные решения по дальнейшему развитию сельского хозяйства страны, в которых большая роль отводится мелиорации земель.

В X пятилетке намечено продолжить большие работы по улучшению состояния сельскохозяйственных полей и угодий: площади мелиорируемых (орошаемых и осушаемых) земель возрастут с 25 до 34 млн. га и составят примерно 16 % площади пашни и многолетних насаждений в стране. Будет освоено еще 37,6 млн. га пастбищ в пустынных, полупустынных и горных районах.

На мелиорацию в 1976—1980 гг. выделяются огромные капиталовложения — 38,6 млрд. рублей. В СССР нет ни одной республики, края, области, где бы не осуществлялись мелиоративные работы. Колоссальный размах получают мелиоративные работы в Нечерноземной зоне РСФСР. В предыдущую IX пятилетку мелиорацией было охвачено только 1,5 млн. га, а за годы X пятилетки намечено мелиорировать 2,6 млн. га. Особенно большие работы по созданию крупных зон гарантированного урожая будут проведены в Поволжье, на юге Украины, на Северном Кавказе. Общий объем производства зерна в стране на мелиорируемых землях возрастет примерно в два раза.

Животноводство постепенно переводится на промышленную основу. Здесь задача мелиораторов состоит в создании кормовой базы животноводческих комплексов и решении вопроса об использовании животноводческих стоков на удобрения. Это позволит повысить плодородные почвы и защитить водоемы от загрязнения.

Намечено провести в громадном объеме сложные исследования и проектные изыскания по переброске части стока северных рек в бассейны Каспийского и Азовского морей и части стока сибирских рек — в Среднюю Азию и Казахстан.

Главная задача мелиораторов совместно с работниками сельского хозяйства состоит в обеспечении высокоэффективного использования мелиорируемых земель. Достижения мелиоративной гидрологии должны внести в это важнейшее дело свой весомый вклад.

Становление и развитие мелиоративной гидрологии происходило под влиянием ученых, представляющих различные направления науки. Среди них, в первую очередь, следует отметить С. Ф. Аверьянова, А. М. Алпатьева, А. Н. Костякова, С. Д. Лысо-

горова, В. С. Мезенцева, Н. С. Петина, А. А. Роде, а также зарубежных специалистов Клятта, Пенмана, Торнтвейта, Тюрка и др. В последние годы количество ученых, работающих в области мелиоративной гидрологии значительно увеличилось, что является еще одним свидетельством важности исследований, выполняемых этой сравнительно молодой наукой.

ГЛАВА I ВИДЫ МЕЛИОРАЦИЙ

1.1. Борьба с засушливыми явлениями

1.1.1. Способы борьбы с засушливыми явлениями

Говоря о видах мелиорации¹, следует отметить, что часть пахотных земель нашей страны расположена в зоне избыточного увлажнения (главным образом, нечерноземная зона) и постоянно испытывает недостаток тепла. Большая же часть пашни (примерно 80%) расположена в зонах неустойчивого или недостаточного увлажнения. И в том и в другом случае имеет место отклонение от оптимума, обеспечивающего успешное произрастание сельскохозяйственных культур.

На территории нашей страны по принципу недостатка воды можно выделить засушливую и полузасушливую зоны, которые на местах несколько нарушаются мезо- и микроклиматическими условиями конкретных пунктов. К засушливой зоне относится территория Средней Азии, большая часть Казахстана и республик Закавказья. Полузасушливая зона охватывает территории юга Украины, Молдавии, Северного Кавказа, Нижнего Поволжья, северных районов Казахстана, юго-западных районов Сибири.

В северных районах страны при сравнительно низких температурах нельзя получить высокие урожаи при любой влажности почвы если не использовать дополнительный обогрев почвы или воздуха.

Наиболее плодородные земли при значительных энергетических ресурсах приходящей солнечной радиации расположены в степных и лесостепных районах страны, главным бичом которых являются засухи и суховеи. Пути борьбы с этими явлениями могут быть разными, но они должны вести к одной цели — уничтожению или ослаблению вредных последствий засушливых явлений.

¹ В настоящем учебном пособии рассматриваются мелиорации, направленные на ликвидацию недостатка влаги. Мелиорации, направленные на устранение избытков воды (осушение), будут рассмотрены в отдельном пособии.

Мероприятия, направленные на ослабление вредного действия засушливых явлений, могут носить активный и пассивный характер. Одним из пассивных способов борьбы является хороший долгосрочный прогноз засух и суховеев. Эта информация дает возможность заранее подготовиться к засухе и суховею: сеять более засухоустойчивые, пусть даже менее урожайные сорта, правильно (с учетом различия в увлажненности отдельных полей) размещать культуры в севообороте, полнее и тщательнее проводить необходимые агротехнические мероприятия, экономить воды паводочного стока и т. д. Однако, прежде чем научиться прогнозировать какое-либо явление и успешно вести борьбу с ним, необходимо его основательно изучить.

Если в отношении засух имеются некоторые представления о причинах их возникновения на равнинных просторах юга ЕТС, связанных с трансформацией воздушных масс, поступающих с севера или из районов Атлантики в условиях антициклонного типа погоды, то в отношении суховеев до сих пор сведения недостаточны.

Мало известно о распределении метеорологических элементов в суховеях по высоте, об их горизонтальной протяженности и степени однородности, о вертикальной мощности и условиях на верхней границе суховеев, о температурной стратификации и устойчивости движений, об энергетических ресурсах суховеинных потоков и об их трансформации под влиянием подстилающей поверхности. В частности, большой научный и практический интерес представляет исследование трансформации суховеинных потоков под влиянием орошаемых массивов, водоемов, лесных полос и т. п.

К пассивным мероприятиям по борьбе с засухами и суховеями следует отнести также достижения селекции растений, позволяющие использовать более засухоустойчивые или более скороспелые сорта культур, не ослабляя заметным образом их урожайность. Этот путь с использованием новейших достижений современной генетики открывает большие перспективы в борьбе с вредными последствиями засух и суховеев.

Наряду с селекцией важную роль в борьбе с засухой и суховеями играют различные приемы высококультурного земледелия, способствующие накоплению влаги в почве и экономному ее расходованию. К числу таких агротехнических мероприятий следует отнести прогрессивные способы обработки почвы, борьбу с сорняками, посевы в оптимальные сроки, задержание поверхностного стока талых и ливневых вод поперечной пахотой, обвалованием, террасированием и т. д.

Если достижениями селекции можно снизить вредные воздействия засушливых явлений, а агротехническими мероприятиями — повысить влагозапасы и водопотребление растений, то правильный учет климатических ресурсов снижает степень губительного действия засухи. Здесь в первую очередь следует упомянуть о необходимости рационального размещения сельскохозяйственных

культур на территории с учетом их засухоустойчивости. При этом следует иметь в виду не только общие почвенно-климатические условия, но и микроклиматические характеристики полей и участков в пределах каждого хозяйства. Среди факторов, непосредственно влияющих на микроклиматические особенности полей и угодий, следует отметить степень лесистости, крутизну и экспозицию склонов, близость водоемов и т. д. Пруды и водоемы заметно смягчают климат прибрежных районов, особенно при ветре, направленном со стороны водоемов.

Активные средства борьбы с засушливыми явлениями направлены на искусственное увеличение или сохранение имеющихся запасов почвенной влаги. К ним относятся: орошение (подробно рассматриваемое в 1.2), вызывание искусственных осадков, защита растений от прямой солнечной радиации, применение депрессоров испарения, посадка лесных полос, снегозадержание.

1.1.2. Искусственные осадки

Физическую основу рассматриваемого метода составляет вызывание искусственной кристаллизации путем ввода в облака хладореагентов (твердой углекислоты, йодистого серебра и др.). Ввод реагента в облака осуществляется либо с самолетов, либо специальными ракетами.

Заметное увеличение осадков могут дать активные воздействия на конвективную и слоистообразную облачность. Наибольший эффект получается при воздействии на конвективную облачность. В естественных условиях лишь из части таких облаков выпадают осадки. Это бывает в тех случаях, когда сочетание количественных значений параметров облаков выше критических.

Нередко конвективные облака проходят весь цикл от зарождения до распада не развиваясь до стадии кучево-дождевых. Однако, если в такие облака, имеющие вертикальную мощность более 2000 м и температуру на верхней границе не выше -4° , ввести реагент, вызывающий процесс кристаллизации, то это может привести к выпадению осадков, которых в естественных условиях не было бы.

Воздействие на слоистообразную облачность, вертикальная протяженность которой обычно невелика, носит несколько иной характер. Оно эффективно только в зимнее время, когда эти облака переохлаждены. Интенсивность искусственных осадков из них мала, но за счет большой горизонтальной протяженности можно получить довольно значительное увеличение сумм осадков на всей площади, что приводит к большим весенним влагозапасам почвы, а иногда и к возможному предупреждению вымерзания озимых посевов.

Отечественными и зарубежными исследованиями установлено, что при современных технических средствах и научных знаниях

процессов облако- и осадкообразования добавка искусственных осадков, например, для степной части ЕТС, не превышает пока что 10—15%. Она зависит от повторяемости облаков, которые пригодны для воздействия и естественных осадков не дают, а также от их водности.

В соответствии с экспериментальными данными, полученными в степной части Украины, средняя добавка урожая зерновых культур при возрастании летних осадков на 10—15% составит примерно 1,0 ц/га или около 5%. Хотя эта величина и мала, при пересчете на большие площади она становится вполне ощутимой.

Основным недостатком методики вызывания искусственных осадков является ее малая эффективность в засушливые годы, когда до минимума снижаются естественные осадки и количество подпадающей воздействию облачности. В этих особо тяжелых условиях получить дополнительные осадки практически невозможно.

Засушливая погода стимулирует транспирацию растений. Интенсивная транспирация иссушает почву, снижает водопотребление и угнетает растения. Рассмотрим некоторые из возможных путей экранирования растений.

1.1.3. Защита от солнечной радиации

Важной особенностью сообщества растений (фитоценоза) является способность создавать свой фитоклимат (климат внутри травостоя), в котором температура и влажность воздуха стремятся приблизиться к оптимуму. При достаточных влагозапасах почвы чем гуще растительность, тем устойчивее фитоклимат. Для таких фитоценозов обычно не страшны высокие температуры воздуха, так как внутри травостоя эти температуры значительно ниже, а транспирирующая листва существенно ослабляет нагрев верхней части растений. Однако во всех этих мероприятиях непременным условием успешного произрастания растений при высоких температурах является достаточное увлажнение почвы, обводненность клеток и интенсивность транспирации. При этих условиях температура воздуха внутри ценозов обычно не превышает 30—32°.

Биомасса растений создается в процессе фотосинтеза, который может осуществляться лишь при поступлении углекислоты в клетки растений. Это поступление происходит через открытые устьица — чрезвычайно мелкие и многочисленные отверстия в кожице листа. При открытии устьиц, по выражению А. К. Тимирязева, возникает «неизбежное зло» — транспирация растений — процесс передвижения воды из почвы в атмосферу через корни, стебли и листву растений. Путем транспирации теряется большое количество воды, зачастую «не обусловленное физиологическими потребностями растений».

В то же время транспирация обеспечивает передвижение питательных веществ от корней к листьям и является основным фактором регулирования термического режима растений.

Интенсивность процессов фотосинтеза и транспирации растений по-разному зависит от спектрального состава солнечной радиации. Фотосинтез, в первую очередь, определяется интенсивностью коротковолновой части солнечного спектра, а транспирация — длинноволновой. Это обстоятельство позволяет высказывать некоторые предложения по улучшению условий произрастания растений в наиболее жаркие периоды. Интенсивность длинноволновой радиации, стимулирующей транспирацию, можно ослабить путем создания поглощающего искусственного экрана. На небольших участках (грядки, клумбы, опытные делянки и т. д.) экран можно создать, например, из капрона, полиэтилена, ткани, марли и т. д. (белого цвета) и укрепить его горизонтально под защищаемой площадью на уровне 1—2 м. В этом случае интенсивность рассеянной радиации будет вполне достаточной для поддержания фотосинтеза на высоком уровне, а вынужденная транспирация будет незначительной.

На больших площадях защитный экран можно создать, например, путем механического распыления порошкообразных составов или аэрозолей, которые, не уменьшая заметным образом коротковолновую радиацию, существенно ослабляют интенсивность теплового воздействия солнечной радиации на растения. Конечно, такой порошок не должен быть токсичным, а наоборот — являться удобрением.

Следует отметить, что рассмотренные выше предложения по защите от солнечной радиации в настоящее время еще недостаточно опробированы и для своего практического применения требуют дополнительных исследований.

1.1.4. Применение депрессоров испарения

Целенаправленное преобразование водного баланса сельскохозяйственных полей может основываться на искусственном сокращении испарения разного рода депрессорами в виде мульчирующего слоя или мономолекулярных пленок.

Мульча представляет собой крупнопористую среду, препятствующую капиллярному подтоку влаги к испаряющей поверхности и снижающую нагрев поверхности почвы солнечной радиацией. Мульчирующий слой может быть создан, например, из соломы, разбросанной по поверхности поля, опилок, бумажных отходов и т. п.

Мономолекулярные пленки из поверхностно-активных веществ, например жирных спиртов, будучи нанесенными на испаряющую поверхность (почву или воду), благодаря своим физико-химическим свойствам препятствуют отрыву от этой поверхности молекул воды и, таким образом, снижают испарение.

Изучение влияния различных депрессоров на интенсивность испарения получило широкое распространение как в Советском Союзе, так и за рубежом в последние десятилетия. Причем большая часть работ посвящена изучению возможности сокращения испарения с водной поверхности. Здесь уже выяснены условия применимости и дается экономическая оценка практической реализации этого эффекта.

Наиболее интересные результаты можно ждать от использования депрессоров применительно к почве. Такие исследования тоже ведутся довольно широким фронтом. Разного рода пленки, латексы и мульча применяются не только для снижения испарения, но и для предотвращения эрозии почвы путем закрепления и уплотнения ее агрегатов. Депрессоры, однако, не должны нарушать инфильтрационные свойства и воздухопроницаемость верхнего слоя почвы.

В условиях орошаемого земледелия, где сокращение испарения приводит одновременно к повышению температуры почвы, эффект от применения депрессоров испарения особенно заметен.

В нечерноземной зоне, как уже отмечалось выше, основным лимитирующим фактором высокой продуктивности сельскохозяйственных культур является недостаток тепла. Несмотря на это, в отдельные периоды вегетации растения испытывают недостаток влаги, т. е. требуется частичное орошение. При испарении этой дополнительной воды еще больше охлаждается почва. Депрессирование испарения в этом случае экономит воду на испарение и предупреждает снижение температуры почвы. Комплексное использование орошения и мульчирования наиболее эффективно и благоприятно преобразует водный и тепловой режим сельскохозяйственного поля.

Основные трудности с использованием депрессоров испарения связаны с выполнением санитарных требований, предъявляемых к депрессорам, что ограничивает возможность использования дешевых материалов и, в частности, отходов промышленности. Не уточнено количество и не отработан способ нанесения депрессоров на поверхность почвы. Для экономической оценки практического применения этого метода при орошении вообще, а в Нечерноземье в особенности, требуются дополнительные исследования.

1.1.5. Лесные полосы

Лесная мелиорация является одним из основных рычагов изменения климата в благоприятном для сельского хозяйства направлении. Наряду с агротехникой и орошением лесные полосы уже сейчас в лесостепных и степных районах СССР представляют собой наиболее эффективный способ борьбы за высокие урожаи. Большое значение лесные полосы имеют также для животноводства, садоводства, благоустройства населенных пунктов и т. д.

Благоприятное влияние лесных полос на условия произрастания сельскохозяйственных культур проявляется в ослаблении скорости ветра и интенсивности турбулентного обмена, что способствует снегозадержанию и снижению испаряемости, обуславливающим, в конечном итоге, увеличение влагозапасов почвы и более экономичное их расходование на испарение и транспирацию. Это обстоятельство предопределяет повышение урожайности полей в засушливых условиях.

Почвы под лесными полосами обладают способностью аккумулировать поверхностный сток с полей, что создает условия для успешного произрастания лесных полос при малых осадках. Перехват поверхностного стока лесными полосами способствует также повышению уровня грунтовых вод и снижению эрозии почв паводочными водами и летними ливнями. Уменьшение скорости ветра снижает вероятность возникновения пыльных бурь и суховеев.

При сплошном полосном облесении больших территорий можно ожидать некоторого увеличения осадков, обусловленного ростом макрошероховатости территории и повышенным испарением.

Ветрозащитное действие продуваемых (ажурных) лесных полос распространяется на расстояние, 40—50-кратное высоте полос, тогда как для непродуваемых полос это расстояние равно 20—33-кратной высоте (рис. 1). Наибольшей ветрозащитной эффективностью обладают полосы с общей продуваемостью, равной 20—40%. Больше уменьшают скорость ветра полосы, максимальная продуваемость которых сосредоточена в нижней части (до 50—60% и более) с постепенным уменьшением с высотой так, чтобы общая продуваемость полосы оставалась близкой к 30%. Ширина полос, предназначенных лишь для защиты от ветра, может быть сведена до минимума при условии сохранения их оптимальной продуваемости. За счет этого может быть увеличена ширина полос, предназначенных кроме ветрозащиты еще и для перехвата поверхностного стока.

Ветрозащитное действие полос в силу их боковой шероховатости остается значительным и при параллельном ветре. Оно составляет примерно 25% ветрозащитного действия при перпендикулярном ветре. Поэтому рекомендуется увеличивать боковую шероховатость лесных полос (например, путем посадки деревьев на опушке полосы в шахматном порядке). Ветрозащитное действие одиночных лесных полос сравнительно мало меняется в зависимости от угла набегания ветра. Поэтому отклонения одиночных полос от перпендикулярного направления к господствующему ветру могут достигать до $\pm 45^\circ$ без заметного снижения их ветрозащитного действия. Уменьшение скорости ветра внутри любой формы клетки, образуемой лесными полосами, пренебрежимо мало зависит от угла набегания ветра. Это обстоятельство позволяет в большинстве случаев размещать основные полосы поперек склонов для более полного перехвата стока, не считаясь с господствующим направлением ветра. Среднее ветрозащитное действие

системы лесных полос составляет 30—40%. Уменьшение лесными полосами интенсивности турбулентного обмена составляет 20—30%.

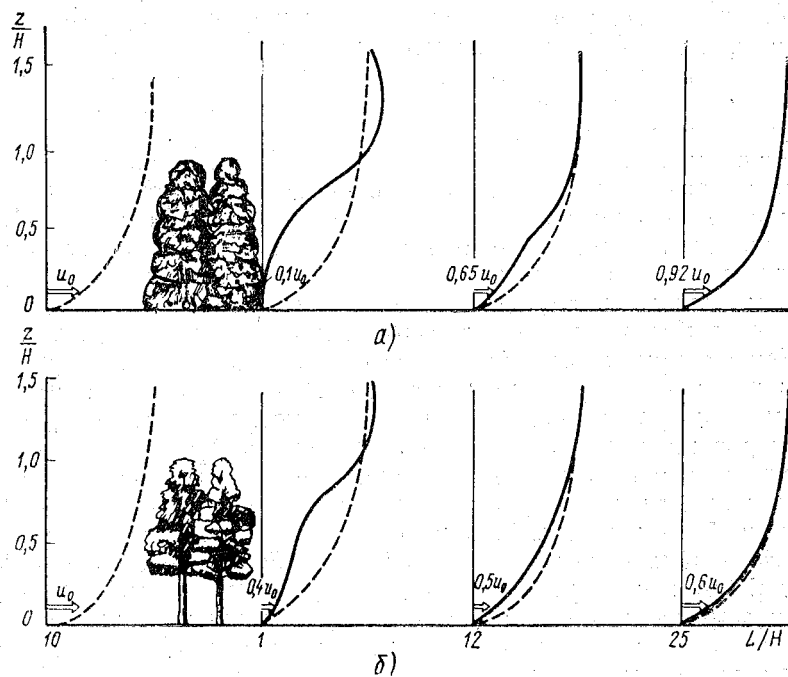


Рис. 1. Влияние сплошных и продуваемых лесных полос на средние горизонтальные скорости ветра:

a — сплошная (непродуваемая) лесная полоса; *б* — продуваемая (ажурная) полоса; u_0 — скорость ветра до полосы; H — высота лесной полосы; L — расстояние от полосы; z — высота над поверхностью земли

Основным фактором улучшения условий произрастания сельскохозяйственных культур среди лесных полос является снижение испаряемости. Зона влияния одиночных лесных полос на испаряемость примерно соответствует зоне их ветрозащитного действия. На полях среднего размера (50—100 га), защищаемых лесными полосами, испаряемость снижается на 10—20% (рис. 2). Поскольку эффект снижения испаряемости сильно растет с уменьшением размера клеток, образуемых лесными полосами, постольку в районах, труднодоступных для орошения и с недостаточным количеством осадков, следует уменьшить размеры клеток по сравнению со средними размерами в два-три раза. Это дает возможность сэкономить на испарении 40—100 мм влаги, что может существенным образом улучшить условия произрастания сельскохозяйственных культур в этих районах.

Снижение испаряемости на полях среди лесных полос имеет особо важное значение для орошаемого земледелия. Применяемые

до сих пор нормы орошения определены для условий открытой степи, а поэтому являются преувеличенными для полей, защищенных лесными полосами. Уменьшение потребности в оросительной воде при полосном облесении примерно на 15% дает возможность при той же мощности водопроводящих каналов оросить большие площади.

Лесные полосы уменьшают сдувание снега с полей. Общее увеличение снегозапасов на полях площадью 50—150 га, защищенных лесными полосами, возрастает на 10—20%. Лесные полосы продуваемой конструкции обеспечивают более равномерное распределение снега на полях; их снегозащитное действие возрастает еще на 5—10%. Повышенные влагозапасы на полях существенно улучшают условия перезимовки озимых культур. Влагозапасы почвы при этом возрастают в среднем на 10—15%.

Оценка изменений степени засушливости ландшафтных зон под влиянием лесных полос показывает, что при полосном облесении больших территорий их общеклиматические условия улучшаются настолько, что южная степь станет схожей с северной, а северная степь — с лесостепью.

Ветровая и водная эрозия почв ежегодно причиняет сельскому хозяйству нашей страны ущерб, исчисляемый в среднем 4 млрд. руб. В отдельные годы, сопровождаемые сильными пыльными бурями или высокими паводками, этот ущерб может достигать десятков миллиардов рублей. Более 40 млн. га пашни в СССР в той или иной мере подвержены ветровой эрозии; площади, подверженной водной эрозии, еще больше. Средний ежегодный недобор урожая, обусловленный потерей плодородия почв из-за эрозии, составляет около 40%.

Естественным путем плодородный слой почвы восстанавливается крайне медленно: 5—10 т на 1 га в год, что составляет несколько десятых долей миллиметра слоя почвы в год. В зависимости от толщины сдутого или смытого плодородного слоя почвы

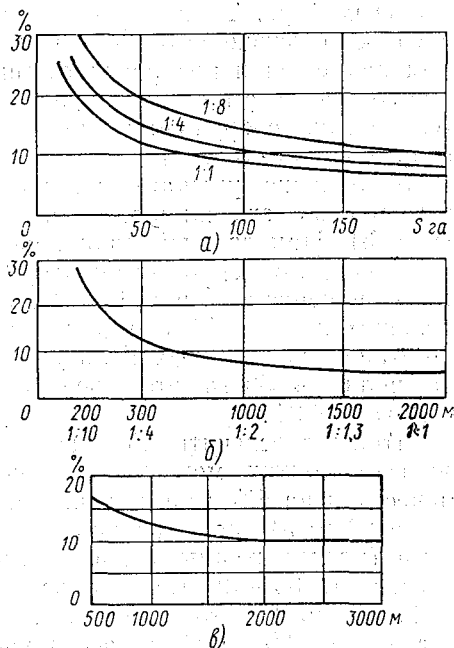


Рис. 2. Зависимость среднего уменьшения испаряемости на поле, защищенном лесными полосами высотой 15 м:

а — площади поля при различных соотношениях сторон; б — ширина поля при длине его 2000 м; в — длина поля при ширине 500 м

(несколько миллиметров или несколько сантиметров) на ее восстановление естественным путем требуются десятки или сотни лет.

Правильно размещенные лесные полосы на большой территории, совместно с комплексом агротехнических мероприятий, способны практически полностью исключить вредные последствия пыльных бурь. То же самое можно сказать и об эрозии почвы, вредное действие которой перестает быть опасным при правильном размещении водорегулирующих и почвозащитных лесных полос совместно с комплексом агротехнических и простейших гидротехнических сооружений (обвалование, террасирование, водоотводные каналы и т. д.).

Увеличение урожайности на межполосном поле тем больше, чем меньше его площадь и чем больше оно вытянуто по форме (рис. 3). При средней урожайности в открытой степи, равной, например, для зерновых культур 20 ц/га на поле размером 100 га, с соотношением сторон 1:4 (т. е. 500×2000 м) и высотой окружающих полос в 14 м, только благодаря действию лесных полос урожайность зерновых культур увеличивается примерно на 20%; на полях в 50 га это увеличение достигает 25 %, а на полях в 10 га — 60 %.

Чтобы обеспечить повышение урожайности зерновых культур во всех точках межполосного поля, включая и его середину, не менее чем на 5% (при условно принятой урожайности в открытой степи 20 ц/га), максимальное расстояние между основными полосами (расположенными вдоль длинной стороны поля) не должно превышать 30—40 высот полос; для обеспечения увеличения урожайности на 8% это расстояние должно быть не более 20—30 высот полос. На поле с расстоянием между основными полосами около 50 высот деревьев прибавка урожая составляет 12—15%. Длина поля относительно мало влияет на величину прироста урожайности; ее величина должна выбираться исходя из соображений удобства работы сельскохозяйственных агрегатов.

Расчеты сельскохозяйственной эффективности лесных полос показали, что при урожайности в открытой степи, например в 20 ц/га, восполнение потерь урожая при обычной ширине полос 10—20 м и ежегодном приросте деревьев на 0,5 м наступает через 5—10 лет после посадки. Полоса шириной 20 м к моменту достижения высоты 15 м дает прибавку урожая на полях примерно в 2 раза большую, чем было потеряно урожая за счет изъятия части площади поля под полосы, а полоса шириной в 40 м — только в 1,4 раза больше. При наличии дорог вдоль полосы ее эффективность снижается. Та же полоса (шириной 20 м и высотой 15 м), но при ширине дороги вдоль нее 6 м, за срок своего существования увеличит урожай лишь в 1,5 раза, при ширине дороги в 10 м — только в 1,3 раза.

Оценка экономической эффективности лесных полос, как отношение полученных доходов к сумме расходов и убытков, показала ее близость к величине сельскохозяйственной эффективности (рас-

хождения не превышают 5—10% в сторону снижения экономической эффективности).

Таким образом, приведенные расчеты показывают, что полезащитное лесоразведение при правильном выборе конструкции лесных полос является одним из самых эффективных и выгодных мелиоративных мероприятий.

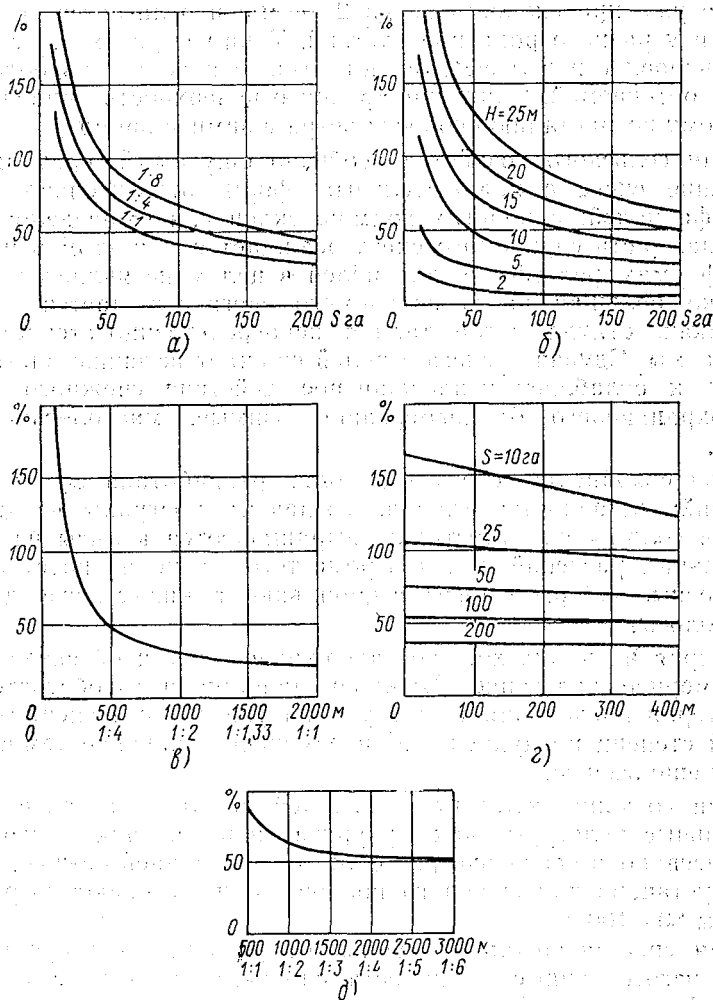


Рис. 3. Зависимость среднего увеличения урожайности зерновых культур в процентах на межполосном поле (урожайность на незащищенных полях 12 ц/га) от разных факторов:

а — от площади поля S при различных соотношениях его сторон (высота лесных полос $H = 15$ м); б — от площади поля S при различной высоте лесных полос H (соотношение сторон поля 1:4); в — от ширины поля h при длине $l = 2000$ м и высоте лесных полос $H = 15$ м; г — от суммарной длины разрывов R в лесных полосах при различной площади поля S и соотношении сторон 1:4; д — от длины поля l при его ширине $h = 500$ м и высоте лесных полос $H = 15$ м.

1.1.6. Снегозадержание

Твердые осадки выпадают обычно более равномерным слоем, чем дождь, в силу более однородного (по сравнению с летним) характера зимней облачности (слоистой и слоисто-кучевой). Однако благодаря малому удельному весу снега, он легко приходит в движение уже при скорости ветра 2—4 м/с и отлагается в понижениях и у разного рода препятствий. Таким образом, снег сглаживает неровности рельефа, делает земную поверхность более гладкой и обтекаемой. Снижение трения о поверхность приводит к известному возрастанию скорости ветра в зимнее время.

Для сельского хозяйства особенно ощутимый вред приносит сдувание снега с положительных форм относительно ровного рельефа полей: с пологих холмов, склонов, водоразделов и т. д. Правда, часть сдуваемого снега осаждается при этом в пониженных формах рельефа и для полей в целом не является потерей. Однако большая часть сдуваемого снега осаждается в оврагах и балках, откуда после таяния непосредственно стекает в реки и водоемы. Сдувание снега с полей снижает весенние влагозапасы почвы и ослабляет теплозащитное действие снежного покрова, предохраняющего от вымерзания озимые, многолетние травы и т. д.

Для сохранения снега на полях разработана система мероприятий: оставляется стерня, создаются преграды из хвороста, снопов соломы или тростника, выращиваются кулисы из высокостебельных растений и т. д. Кроме того, на полях расставляются переносные заборы и щиты, выращиваются живые изгороди и лесные полосы.

Стерня на полях хорошо задерживает снег и обеспечивает его равномерное залегание. Важным является и то обстоятельство, что стерня предохраняет от сдувания уже первый снег, что в немалой степени предупреждает чрезмерное снижение температуры почвы еще осенью.

При создании кулисных изгородей используют такие высокостебельные культуры, как кукуруза, подсолнечник, сорго и т. д. Их высевают в несколько рядов летом или ранней осенью. Ко времени установления снежного покрова они успевают вырасти до высоты 80—100 см.

Для снегозадержания используют разного рода продуваемые щиты, изготовленные из хвороста, снопов, соломы, тростника и дерева. С наветренной стороны продуваемого щита (рис. 4) образуется широкий плоский сугроб; в непосредственной близости от щита снег не накапливается. На подветренной стороне щита откладывается большое количество снега. Когда гребень сугроба на подветренной стороне достигает $3/4$ или полной высоты щита, начинается заполнение выемки и щит перестает работать по назначению. Поэтому при больших накоплениях снега щиты перестав-

ляют на вершину сугроба или в другое место поля для обеспечения равномерного снегонакопления.

Щиты хорошо задерживают снег при ветре, направленном перпендикулярно к плоскости щита. При параллельном ветре снегозадерживающая способность щитов мала. Поэтому при отсутствии преобладающего направления ветра часто применяются перекрестные щиты. В первую очередь щиты следует ставить на полях озимых культур, а затем на полях, предназначенных под такие влаголюбивые культуры, как сахарная свекла, кукуруза, яровая пшеница и др.

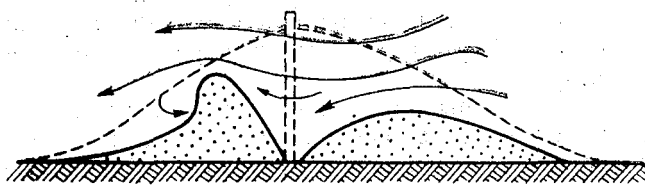


Рис. 4. Схема снегонакопления у продуваемого щита

В целях снегозадержания на полях создают также снежные кучи, валы и канавы. Такие неровности служат щитами или кулисами, способствуя дальнейшему снегонакоплению. Валы и канавы наиболее просто делать снегопахом. Это специальный треугольник деревянной или металлической конструкции, который, двигаясь за трактором углом вперед и будучи достаточно тяжелым, раздвигает снег, образуя канаву, окаймленную снежными валами. Есть и более сложные конструкции снегопахов, способных придавать снежному покрову различный профиль.

1.2. Способы орошения и назначение поливов

1.2.1. Основные элементы оросительных систем

Поливные земли расположены в пределах оросительных систем. Основной задачей этих систем является осуществление передачи воды от ее источника до полей орошения в любое время и в нужном количестве. Оросительные системы включают в себя следующие главные элементы: 1) головное водозаборное сооружение, при помощи которого обеспечивается забор воды из источника орошения (реки, водохранилища, скважины); 2) оросительная сеть — сеть каналов, трубопроводов, по которым вода доставляется от источника орошения до поливных площадок; 3) сооружения на каналах с помощью которых осуществляется управление расходами воды.

Оросительная сеть состоит из магистрального канала, который доставляет воду из источника орошения к орошаемому массиву; проводящей сети, распределяющей воду по орошаемому участку, и регулирующей сети, непосредственно подающей воду для полива сельскохозяйственных культур.

На многих оросительных системах устраивается водосбросная и дренажно-коллекторная сеть, предназначенная для сбора и отвода за пределы орошаемого массива избыточных поверхностных вод и для понижения уровня грунтовых вод. Следует иметь в виду, что вместе с этими водами отводятся за пределы орошаемого массива и растворенные в них соли. Гидротехнические сооружения регулируют забор воды из источника орошения и распределение ее на орошаемой территории (шлюзы-регуляторы, подпорные сооружения и др.).

Головные водозаборы могут быть самотечными, в которые вода поступает из источника орошения самотеком, и с механическим водоподъемом, где вода подается насосами. По конструкции оросительной сети системы подразделяются на открытые, закрытые (трубчатые) и комбинированные.

Открытые оросительные системы используют оросительные каналы в земляном русле или в лотках. Для каналов в земляном русле часто применяют противофильтрационную защиту из бетона, асфальта, битума, синтетических пленок и других материалов. Закрытые оросительные системы состоят обычно из трубопроводов (подземных или наземных). Эти системы бывают стационарными, передвижными или полустационарными.

Закрытые оросительные системы наиболее перспективны. Они обеспечивают высокий КПД системы, не ухудшают мелиоративного состояния орошаемого массива, дают возможность экономно использовать водные ресурсы, позволяют легко осуществлять автоматизацию распределения воды на орошаемом массиве, в том числе на участках со сложным рельефом. Однако закрытые оросительные системы характеризуются высокой стоимостью строительства, большими эксплуатационными затратами и более сложны в обслуживании. Все это в большей мере относится к закрытым системам стационарного типа с механической подкачкой и в меньшей — к передвижным и полустационарным системам.

Крупные комбинированные оросительные системы, в которые постепенно внедряются АСУ, состоят обычно из открытого магистрального канала и межхозяйственных распределителей, чаще с бетонированными руслами. Вся хозяйственно-оросительная сеть трубчатая, включающая иногда гибкие шланги.

Основные требования, предъявляемые к каналам оросительной сети: каналы должны занимать командное (по высоте) положение по отношению к орошаемой площади. Уклоны каналов должны ограничивать скорости течения в пределах от ниже размывающих и до больших тех, при которых имели бы место заиление и зарастание каналов.

Размеры каналов оросительной сети определяются величиной максимальных расходов, пропускаемых по каналам.

Максимальный расход в головном канале определяется из соотношения

$$Q_{\text{бр}} = Q_{\text{нет}} + Q_{\text{пот}}. \quad (1)$$

Здесь $Q_{\text{бр}}$ — максимальный расход брутто, т. е. забираемый из источника орошения; $Q_{\text{нет}}$ — максимальный расход нетто, т. е. подаваемый непосредственно на орошаемое поле, при этом

$$Q_{\text{нет}} = S_{\text{нет}} \cdot q_{\text{мах}}, \quad (2)$$

где $S_{\text{нет}}$ — площадь, непосредственно занятая орошаемой культурой (из общей площади исключаются площади, занимаемые каналами, дорогами, лесными полосами, строениями и т. п.); $q_{\text{мах}}$ — максимальная ордината графика гидромодуля, т. е. расхода воды, который необходимо подавать для полива 1 га; $Q_{\text{пот}}$ — суммарные потери в оросительной сети и с полей орошения (без водопотребления).

Отношение расхода нетто к расходу брутто называется коэффициентом полезного действия оросительной системы:

$$\text{КПД} = \frac{Q_{\text{нет}}}{Q_{\text{бр}}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Значение КПД существующих оросительных систем изменяется от 50 до 80% и более в зависимости от их размера и типа. С ростом площади оросительной системы КПД снижается.

В настоящее время применяются следующие способы орошения: поверхностное, дождевание, подпочвенное, лиманное и др. Первые три способа носят название регулярного орошения, а последний — периодического. Любой способ регулярного орошения должен удовлетворять следующим требованиям: возможно более равномерно увлажнять почву по площади и по глубине распространения корневой системы, не оказывать существенных препятствий механизации работ на поливных землях, позволять производить полив с минимальными затратами труда.

1.2.2. Поверхностное орошение

В степных районах СССР наибольшее распространение получили поверхностные поливы по бороздам и напуском по полосам. Полив по бороздам применяется главным образом, при орошении широкорядных культур, требующих межрядных обработок. Поливные борозды — мелкие, параллельные друг другу канавки с одинаковым расстоянием между ними. Существуют два способа полива по бороздам: по проточным (сквозным) и затопляемым (тупым). Последний способ применяют преимущественно на участ-

как с очень малыми уклонами — до $0,002^0/00$. Борозды бывают мелкие (глубиной 8—10 см), средние (12—15 см) и глубокие (18—20 см); соответствующая им ширина борозд составляет 25—30, 30—35, 35—40 см. Размеры борозд выбираются в зависимости от вида культуры.

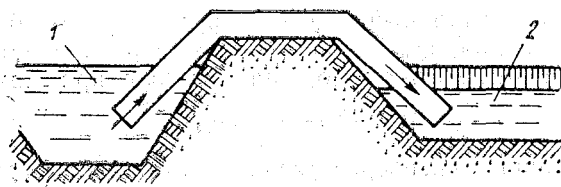


Рис. 5. Переносной сифон:

1 — временный ороситель; 2 — выводная борозда

Длина борозд определяется водопроницаемостью почвы и уклоном местности; наиболее благоприятными являются уклоны $0,002—0,01$. С ростом водопроницаемости и уменьшением уклона длины борозд уменьшается с 200—150 до 50—60 м.

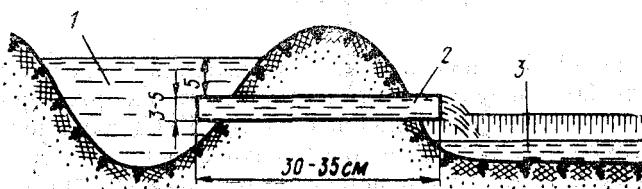


Рис. 6. Схема применения поливных трубок при поливе по бороздам. (Размеры в см):

1 — выводная борозда; 2 — трубка; 3 — поливная борозда

Расстояние между бороздами назначается с учетом водопроницаемости почвы и обеспечения ширины междурядий, необходимой для механизированной обработки. При отсутствии водоупора с ростом водонепроницаемости почвы расстояние между бороздами сокращается. Скорость движения воды по бороздам не должна превышать $0,1$ м/с. При больших скоростях борозды будут размываться. Вода из временного оросителя или выводной борозды в поливные борозды подается с помощью переносных сифонов (рис. 5) или поливных трубок (рис. 6).

Расход воды, подаваемой при поливе в каждую борозду, увеличивается вместе с ростом водопроницаемости почвы, уменьшением уклона и увеличением длины борозды. В среднем этот расход меняется от $0,2—0,4$ до $1,0—1,2$ л/с.

Полив напуском по полосам применяется в основном для сельскохозяйственных культур узкорядного сева. При этом площадь орошаемого поля разбивают на полосы, разделенные валиками. Вода из временного оросителя подводится с помощью выводных борозд к поливной полосе через отверстие в дамбе выводной борозды (рис. 7). Растекаясь по всей ширине полосы и продвигаясь сплошным тонким слоем по ее длине, вода постепенно увлажняет всю полосу. Неровности рельефа являются большой помехой для достижения равномерности увлажнения по всей длине полосы.

Основное достоинство полива напуском по полосам — сравнительно малая трудоемкость метода. Однако при таком поливе нарушается структура верхних слоев почвы, ухудшаются ее водофизические свойства, а при повышенных скоростях движения воды наблюдается перемещение мелких частиц почвы из верхней части полосы в нижнюю. Часто после полива на поверхности почвы образуется при просыхании сплошная корка, стимулирующая испарение почвенной влаги.

Как и полив по бороздам, полив напуском применим на всех почвах и в широких пределах уклонов. Основными условиями, определяющими ширину полос, их длину и размеры валиков, при этом являются: водопроницаемость почвы, уклон и ровность поверхности орошаемого поля. Ширину полос обычно измеряют с габаритами сельскохозяйственной техники. Так, при использовании тракторной двадцатичетырехрядной сеялки с шириной захвата 3,6 м таким же (или в два раза большим) назначают и расстояние между валиками. Длина полос с ростом водопроницаемости почвы и уменьшением уклонов снижается с 100—120 до 30—50 м. В зависимости от уклона и водопроницаемости почв на полосу обычно подают воду расходом от 11 до 22 л/с.

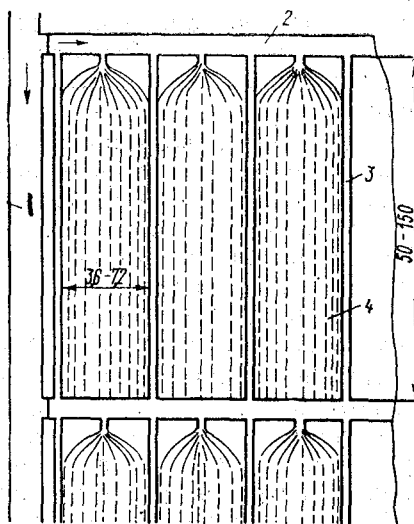


Рис. 7. Схема полива напуском по полосам:

1 — временный ороситель; 2 — выводная борозда; 3 — валик; 4 — поливная полоса

1.2.3. Орошение дождеванием

При этом способе орошения вода, используемая для полива, разбрызгивается над орошаемым полем с помощью специальных дождевальными машин и установок. Орошение дождеванием имеет

ряд преимуществ перед поверхностным орошением. При дождевании полностью механизмуется полив, значительно повышается производительность машин по уходу за сельскохозяйственными культурами из-за отсутствия на орошаемых участках густой поливной сети. Наряду с почвой увлажняется и приземный слой воздуха, снижается температура и смывается пыль с поверхности листа, что значительно активизирует процесс фотосинтеза. Наиболее широко дождевание применяется на малоуклонных и практически безуклонных массивах, а также на полях со слишком большими уклонами и на почвах со значительной фильтрацией.

Конструкция поливной техники, используемой при поливах дождеванием, отличается большим разнообразием. Однако основными рабочими органами всех дождевальных машин и установок, распыляющими водяную струю на капли, являются разбрызгивающие насадки и дождевальные аппараты. По дальности полета капель воды рабочие органы дождевальных машин и установок делятся на дальнеструйные (40—100 м), среднеструйные (15—35 м) и короткоструйные (5—8 м).

Дальнеструйные дождевальные навесные установки (ДДН-45, ДДН-70 и др.), как правило, укрепляются на тракторах и работают позиционно (т. е. не на ходу), забирая воду из временной оросительной сети. Вода подается насосом трактора и через напорный патрубок разбрызгивается по кругу или сектору. Для работы этих машин канавокопатель нарезают временные оросители. Стоянки машин вдоль оросителя делают через 40—70 м в зависимости от скорости и направления ветра. Эти дождевальные установки можно присоединять и к наземным гидрантам стационарной закрытой оросительной сети.

К недостаткам дальнеструйных дождевальных машин следует отнести неустойчивость поливной струи в ветренную погоду, большую неоднородность поливного слоя и чрезмерную крупность капель дождя, часто наносящих повреждения растениям.

К среднеструйным дождевальным установкам относится колесный дождевальный трубопровод (КДТ-25) длиной 142 м и диаметром 125 мм. На трубопроводе установлены дождевальные аппараты, которые и разбрызгивают воду до расстояния 25—30 м от аппарата. Близкой по конструкции является среднеструйная дождевальная установка СДУ-10, предназначенная для полива овощных, технических и ягодных культур. К этому же типу относятся дождевальные установки «Сигма-50» и КИ-59, которые применяются в широком диапазоне рельефных условий. Они состоят из насосных агрегатов, переносных распределительных трубопроводов и двух дождевальных крыльев, на которых установлено по четыре среднеструйных насадки. На полив слоем 30 мм установкам требуется по 2,5 часа. Перемещение установок на другую позицию осуществляется вручную.

Из короткоструйных дождевальных установок для полива наиболее широкое применение получили дождевальная машина ДМ-80, короткоструйная дождевальная установка КДУ-55М (модернизированная), двухконсольный дождевальный агрегат ДДА-100М и новейшие конструкции дождевальных машин «Волжанка» и «Фрегат».

Дождевальная машина ДМ-80 предназначена для полива сельскохозяйственных культур из закрытой напорной сети, работает позиционно. Дождевальные крылья выполнены в виде консолей, для увеличения площади «захвата» которых к консолям с двух сторон подведено 20 открылков с дополнительными насадками.

Установка КДУ-55М также работает позиционно от гидрантов закрытой оросительной сети. Продолжительность работы на одной позиции определяется величиной поливной нормы. Установка состоит из двух дождевальных крыльев, ее применяют, главным образом, для орошения небольших участков, в основном при использовании сточных вод. В последние годы для полива с помощью КДУ-55М используют среднеструйные насадки с шириной захвата в 20—25 м, чем вдвое сокращается количество позиций при орошении.

Дождевальный агрегат ДДА-100М состоит из двухконсольной фермы и насоса, установленных на тракторе (рис. 8). В центральной части ферма имеет поворотный круг для перевода установки в транспортное положение. Для управления наклоном фермы при движении по полю агрегат оборудован гидравлическими домкратами. Это повышает проходимость машины. Для внесения удобрений с поливной водой агрегат оборудован механическим подкормщиком.

Машина ДДА-100М работает в движении с забором воды из открытых оросителей. Интенсивность дождя 2,4 мм/мин. Средний слой дождя за один проход 7,5 мм или 75 м³/га. Агрегат полностью механизмирует полив. За оросительный сезон он может обслужить до 200 га.

Дождеватель консольный широкозахватный «Волжанка» предназначен для полива низкостебельных сельскохозяйственных культур, лугов и пастбищ с уклоном местности до 0,02. Установка состоит из двух дождевальных крыльев, работающих позиционно, с фронтальным перемещением с позиции на позицию. Каждое крыло представляет собой трубопровод диаметром 130 мм, длиной около 400 м, состоящий из 30 труб-секций. Он опирается на 32 колеса, приводимые в движение двигателем внутреннего сгорания мощностью 4 л/с, установленным в центре. Общий расход воды двумя крыльями составляет 62,7 л/с и осуществляется тридцатидвухструйными насадками с радиусом действия 12 м. Один человек обслуживает две-три такие установки.

Дождевальная машина «Фрегат» может работать на участках со сложным рельефом и уклонами до 0,05. Она представляет собой движущийся по кругу многоопорный трубопровод с установ-

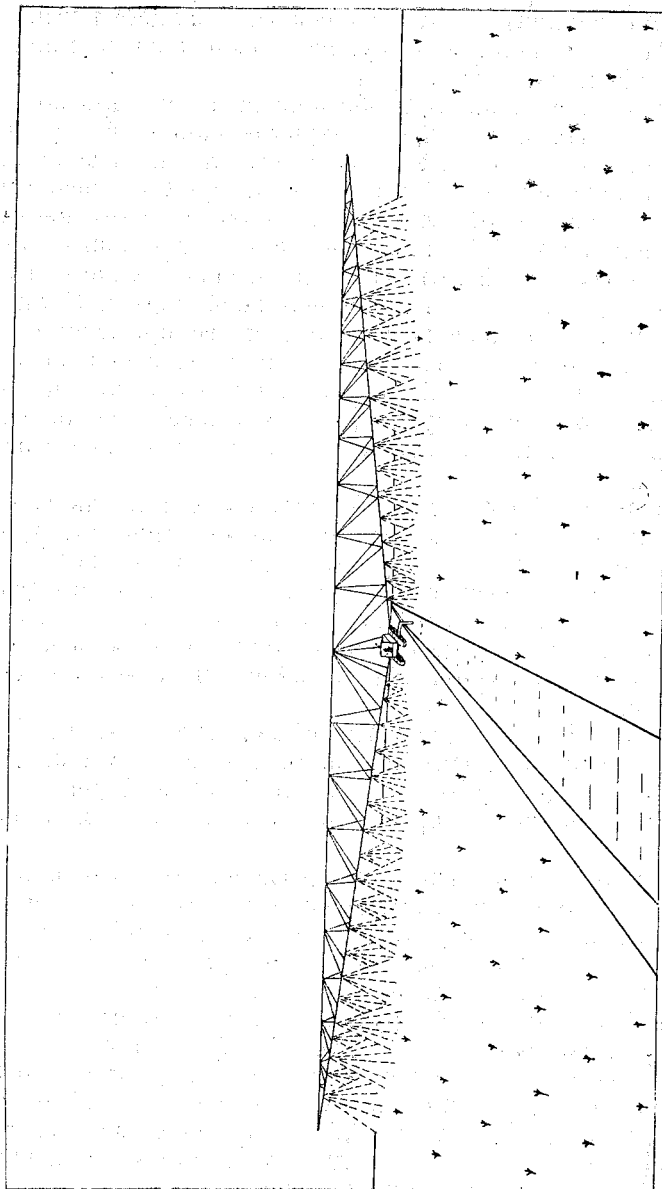


Рис. 8. Двухконсольный дождевальный агрегат ДДА-100М

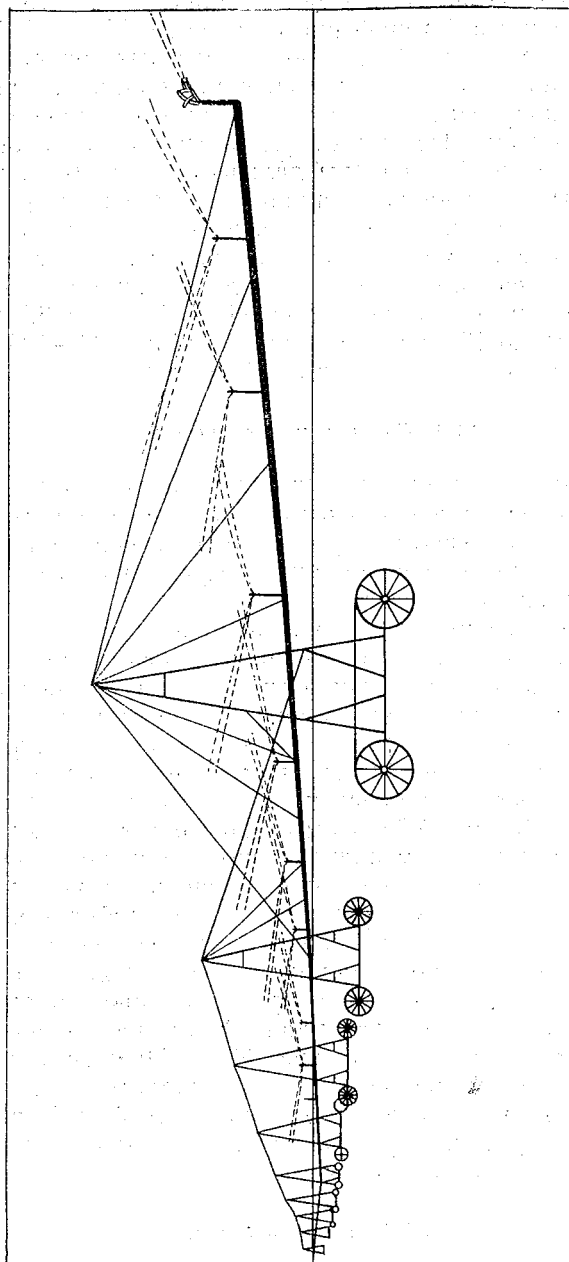


Рис. 9. Дождевальная машина «Фрегат»

ленными на нем среднеструйными дождевальными аппаратами. Трубопровод изготовлен из стальных оцинкованных труб с уменьшающимся от центра к периферии сечением с 178 до 152 мм. Трубопровод установлен на А-образных колесных опорах-тележках (рис. 9). Машина приводится в движение водяными двигателями, работающими под воздействием гидравлического напора в подводящем трубопроводе. Для полива углов четырехугольного участка на концах консолей установлены дальнеструйные (с радиусом полива 30—35 м) дождевальные аппараты. «Фрегат» работает от сети подземных напорных трубопроводов с забором воды из закрепленного на фундаменте гидранта, который является центром вращения дождевального трубопровода. Машина выпускается в пяти модификациях с длиной консолей от 335 до 453,5 м, количеством опор от 12 до 16, расходом воды от 58 до 100—103 л/с, количеством дождевальных аппаратов от 38 до 50 штук.

1.2.4. Подпочвенное орошение

Подпочвенное орошение заключается в подаче воды корнеобитаемому слою почвы снизу за счет капиллярного подъема от заложенных на определенную глубину и проводящих воду пористых труб или кротовин. Такое орошение может осуществляться и по траншеям с пористыми заполнителями.

Применение указанного способа полива возможно на почвах с хорошо выраженными капиллярными свойствами. На легких песчаных, супесчаных и галичниковых почвах подпочвенный полив нецелесообразен. Подпочвенное орошение имеет ряд преимуществ перед другими способами орошения: не требуется устройства на поверхности оросительной сети, чем облегчается механизация агротехнических работ, снижается расход воды на испарение, так как верхний 10—15 см слой почвы обычно остается сухим.

Важным преимуществом подпочвенного орошения является выполнение санитарных условий при орошении сточными водами. Такое орошение не только увлажняет, но и удобряет посевы. На ближайшие годы намечено большое строительство очистных сооружений и каналов, подводящих сбросную воду к орошаемым полям, примыкающим к жилым и промышленным объектам. Орошаемые сточными водами поля удаляют от населенных пунктов и колодцев на расстояние не меньше 200 м. Прежде чем подавать сточную воду в оросительную сеть, ее необходимо предварительно пропускать через отстойники и осадочные бассейны. И все же, несмотря на предварительную очистку, не все сточные воды могут быть использованы для орошения.

1.2.5. Лиманное орошение

Лиманное орошение — наиболее простой и эффективный метод однократного (весеннего) увлажнения полей, расположенных на

склонах. Различают лиманы глубокого (средняя глубина выше 50 см) и мелкого (15—25 см) затопления. Для обеспечения оптимального увлажнения на глубоководных лиманах необходимо устраивать сбросные сооружения. Для ряда районов юго-западной части РСФСР рекомендуется устройство мелких многоярусных лиманов с автоматическим распределением воды по ярусам (рис. 10).

При лиманном орошении в основном используются воды местного стока с прилегающей к лиману территории. Такие лиманы эффективно действуют только при устойчивом снежном покрове, дающем весной значительное количество талой воды. В местах с малым и неустойчивым весенним стоком дополнительное заполнение лиманов водой производят с помощью обводнительных каналов.

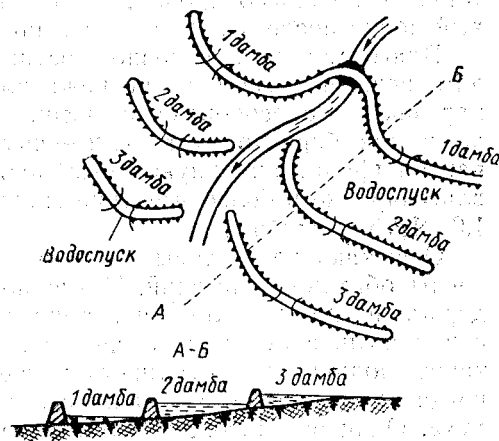


Рис. 10. Схема устройства ярусного лимана

Продолжительность нахождения воды в лимане зависит от свойств почвы, срока и глубины заполнения, вида сельскохозяйственной культуры, уклона и планирования лимана. Обычно сельскохозяйственные культуры и травы более чувствительны к затоплению в первые фазы развития и лучше его переносят в более поздние фазы. С ростом температуры и влажности воздуха продолжительность затопления должна снижаться.

1.2.6. Назначение поливов

Говоря о назначении поливов, следует, прежде всего, назвать вегетационные поливы, обеспечивающие необходимый водно-тепмический режим полей в вегетационный период жизни растений. Правильное определение сроков и норм таких поливов является одним из основных вопросов и целей мелиоративной гидрологии.

Влагозарядковые и предпосевные поливы проводят обычно осенью или весной (перед посевами) с целью увеличения запасов почвенной влаги. Тем самым сокращается число вегетационных поливов и оттягиваются сроки их проведения.

Влагозарядковые (осенние) поливы применяются при глубоком залегании грунтовых вод. При высоком стоянии грунтовых вод полезен предпосевной полив малой нормой, позволяющий избежать

смыкания оросительной воды с грунтовой. Осенние влагозарядковые поливы проводят до вспашки или после сева. До вспашки влагозарядку применяют в тех случаях, когда почва после уборки предшественника сильно иссушена и не поддается обработке, которую необходимо произвести для посева озимых. Влагозарядковый полив после вспашки обеспечивает лучшее увлажнение почвы.

Влагозарядка в основном осуществляется поливом по бороздам, реже напуском и еще реже дождеванием. Поливные каналы нарезают полосообразователями, поливные борозды — окучниками или бороздоделителями — щелерезами. Последние увеличивают инфильтрационную способность почвы, что позволяет при влагозарядке в более короткие сроки увлажнить почву на глубину 1,0—1,5 м и глубже.

Освежающие поливы создают благоприятный микроклимат среды обитания растений. Такие поливы позволяют повысить содержание воды в листьях, понизить их температуру и удалить с них пыль в целях интенсификации фотосинтеза. Очень важны такие поливы в засушливых и особенно суховейных ситуациях, когда резко снижается влажность и повышается температура воздуха. Один освежающий полив слоем 7—9 мм способен повысить относительную влажность воздуха внутри травостоя на 15—20% и снизить его температуру на 2—3°. Обычно поливы проводят до наступления дневной жары. В суховейные дни рекомендуется проводить два полива.

Сейчас учеными нашей страны изучается возможность использования освежающих поливов как средства борьбы с губительными суховеями не только на орошаемых, но и на богарных полях. В таких условиях растения на богаре могут погибнуть за несколько или даже за один день. Рассматривается вопрос об использовании в этих критических ситуациях всего наличного тракторного парка, снабженного резервуаром с разбрызгивателем. Когда речь идет о спасении урожая от полной гибели, тракторы могут не придерживаться каких-то дорог, а должны увлажнять как можно более обширную площадь посевов. Для реализации этого проекта необходимо изготовить запасные резервуары с разбрызгивателями, устанавливаемые на тракторах, и иметь резервные водоемы для наполнения подвижных резервуаров водой.

В последние годы все большее применение находит разновидность освежающих, так называемых импульсных, поливов, продолжительностью в несколько минут по три-четыре раза в час. Такой полив осуществляется обычно стационарными дождевальными установками по заданной программе или с дистанционным управлением. При этом достигается экономия воды, устойчивый и благоприятный микроклимат на полях даже в самые напряженные суховейные дни. Наиболее часто такие поливы применяются пока что на чайных плантациях.

Противозаморозковые поливы предназначены для борьбы с вредными воздействиями заморозков на растения. Часто от за-

морозков (особенно весенних с температурой до -2 , -3°) страдают сады, бахчевые и теплолюбивые овощные (огурцы, помидоры) культуры. Чаще всего заморозки бывают в ночное время за счет радиационного выхолаживания поверхности почвы и растений. Предварительный или проведенный во время заморозков полив культур может предохранить их от гибели. Такие поливы повышают теплопроводность почвы, что снижает глубину инверсии температуры и повышает температуру припочвенного воздуха. При опрыскивании растений водой во время заморозков повышается температура поверхности почвы и листы растений, возрастает влажность почвы и воздуха. Даже в тех случаях, когда поданная на листья вода замерзает, она выделяет при этом теплоту замерзания (80 кал/г), предохраняющую лист от дальнейшего понижения температуры. Практически наиболее приемлема интенсивность дождя при противозаморозковом поливе 1,5—3,0 мм/ч.

Подкормочные поливы позволяют вместе с поливной водой вносить на орошаемые поля и удобрения. Такие поливы можно проводить при любых способах орошения. Для этого, например, на дождевальными машинами устанавливают специальные аппараты-гидроподкормщики, растворенные удобрения из которых вместе с оросительной водой распределяются по полю. При поливе по бороздам или по полосам в головке временного оросителя устанавливают наполненный удобряющим раствором бак с поплавковым сифоном; в результате содержимое бака подается в оросительную воду равномерной струей.

На засоленных землях применяют промывочные поливы, с помощью которых достигается растворение и отвод солей с верхних горизонтов почвы за пределы слоя активного влагообмена. Перед поливом поле глубоко распахивают, боронуют, выравнивают и разбивают на чеки с помощью земляных валиков. Промывную воду подают порциями с небольшими интервалами. С целью растворения солей первой порцией увлажняют почву до предельной полевой влагоемкости, последующими порциями обеспечивают промывку почвы. Операцию по промывке обычно производят в период, когда грунтовые воды устанавливаются на минимальной отметке (чаще всего осенью). Поливы производят с интервалом два—четыре дня при норме в 100—150 мм.

Кроме упомянутых поливов в сельском хозяйстве для очистки полей от сорняков проводят «провокационные» поливы, стимулирующие дружное произрастание сорных трав с последующим их уничтожением.

1.2.7. Сравнительная оценка способов орошения

Из трех широко известных способов орошения (поверхностного, дождеванием и подпочвенного) наибольшее распространение получило поверхностное орошение по бороздам или напуском по полосам.

Поверхностное орошение отличаются простота и доступность при сравнительно низком уровне развития техники полива. Это и обусловило его широкое применение еще на ранних стадиях развития мировой культуры орошения, то есть на протяжении многих тысячелетий. Ценным является и то, что за сравнительно небольшой отрезок времени этим способом можно увлажнить почву на достаточно большую глубину, обеспечив потребность растений в воде на протяжении длительного периода.

Искусственное дождевание дает возможность применять орошение в условиях, при которых отсутствует необходимый уклон для самотека воды, на неспланированных или плохо спланированных площадях и на почвах, сильно дренированных, то есть и там, где поверхностное орошение применять нельзя.

Подпочвенное орошение хотя и перспективно, но в настоящее время еще мало распространено. Оно применяется пока что, главным образом, на осушительно-оросительных системах для двустороннего регулирования водного режима подлежащих мелиорации заболоченных земель.

Оптимальные для развития растений влагозапасы лежат в сравнительно узких границах изменения влажности почвы. С точки зрения возможности поддержания влагозапасов в почве на оптимальном уровне способ орошения по бороздам является менее приемлемым, так как при этом имеет место весьма неоднородное распределение влаги в почве. Вследствие медленного движения воды по бороздам, на почвах со средней и большой инфильтрационной способностью происходит интенсивное впитывание воды в почву в начале борозд, и пока здесь наблюдается интенсивная инфильтрация, то есть пока влажность почвы не станет близкой к полной влагоемкости, до тех пор подача воды в нижележащие вдоль по борозде участки остается ограниченной. Это значит, что на участки поля, отдаленные от начала борозд, а тем более расположенные в конце их, вода приходит поздно и малыми порциями. Поэтому и степень увлажнения почвы на этих участках низкая. Или наоборот, если имеют место большие уклоны, ограниченная инфильтрационная способность почв, или, наконец, полив производят слишком большими нормами, вода не успевает инфильтроваться в почву и, проходя транзитом, часто сосредотачивается в конечной части поля, переувлажняя его.

Для избежания отмеченной неоднородности увлажнения почв можно сокращать длину борозд до 50—200 м. Этим частично улучшают распределение влагозапасов в почве по площади, но не добиваются, однако, полной однородности. Так, например, для среднедренируемых почв Херсонской области влагозапасы в метровом слое в начале и в конце борозд длиной в 100 м различались в два и более раза. Неоднородность увлажнения почв вдоль борозд обусловлена не только разными уровнями отметок начала и конца борозд, но и неизбежным возникновением разного рода углублений и частичных перемычек в бороздах.

При средней и значительной инфильтрационной способности почв, не обеспечивающей в должной мере равномерный поперечный профиль влажности почвы, имеет место глубокое просачивание воды в почву и ее уход за предел корневой системы на пополнение грунтовых вод. Если при этом увеличить густоту борозд, то снижается полезная площадь поля, занимаемая посевами. Поэтому орошение по бороздам применяется большей частью для выращивания пропашных культур. Использование засеваемых борозд вследствие неоднородности посевов пока еще не находит широкого применения.

Подводя итог оценки пригодности орошения по бороздам для обеспечения заданного поливного режима, способствующего поддержанию влажности почвы на оптимальном уровне, можно сказать, что этот метод не вполне надежно обеспечивает на всей площади поля оптимальные условия увлажнения почвы, а следовательно, и максимальный урожай.

Неконтролируемое поступление поливной воды вглубь почвогрунтов за пределы корневой системы при поливах по бороздам приводит к повышению уровня грунтовых вод, что является весьма опасным следствием орошения, приводящим к заболачиванию и вторичному засолению территорий. На протяжении веков и тысячелетий культура орошаемого земледелия, базирующаяся на поливах по бороздам или по полосам, оставила человечеству печальные памятники в виде пустынных засоленных почв в некогда цветущих краях. И в наше время имеется немало примеров бросовых засоленных земель, возникших вследствие нерационального использования воды при орошении по принципу «чем больше, тем лучше». Поэтому способ полива по бороздам (а тем более напуском по полосам, при котором наблюдается еще большая неоднородность увлажнения почвы), много и с пользой послуживший человечеству в прошлом и не потерявший своей актуальности в настоящее время, не имеет перспективы на широкое применение в будущем. Он должен в какой-то мере уступить место более прогрессивному — дождеванию, соответствующему современному и ближайшему будущему уровню развития техники.

Дождевание — это тот способ введения воды в почву, к которому «привыкло» и приспособилось большинство растений на протяжении всей истории своего биологического развития. Искусственный дождь при этом не только увлажняет почву, но и ослабляет степень засушливости микроклимата. Последнее обстоятельство ведет к снижению испаряемости, а следовательно, и к экономному испарению с поля. Правда, при малых размерах орошаемого участка этот эффект незначителен. Вследствие горизонтальной адвекции воздуха он исчезает через несколько дней, а иногда и через несколько часов после полива. Но для больших орошаемых массивов (десятки километров) благоприятное действие этого эффекта наблюдается в течение более длительного периода.

Особенно важно смягчение фитолимата при дождевании в сухой период. Известны случаи, когда при суховеях растения угнетались, а при сильных и продолжительных суховеях даже гибли, несмотря на высокие влагозапасы почвы. В этом случае «транспирационный аппарат» растений не обеспечивал необходимого расхода воды на транспирацию, вследствие чего чрезмерно нагревалась поверхность растений, что приводило к необратимым процессам в клетках и гибели растений. Даже кратковременные «освежающие» и импульсные поливы дождеванием могут спасти растения в этом случае.

Основным недостатком орошения дождеванием является нестабильность работы и пока что малая производительность дождевальных установок. Они не могут обеспечить существенного повышения влагозапасов, так как для этого требуется слишком длительное пребывание дождевальных установок на одном поле. В таком случае рентабельность дождевальных установок заметно снижается.

Все эти недостатки относятся к современным дождевальным установкам, соответствующим уровню техники наших дней. Возможно, что для повышения рентабельности современных дождевальных установок необходимо сочетать их работу с фоновыми осенними, зимними или весенними влагозарядочными поливами, обеспечивающими глубокое и обильное увлажнение почвы к началу вегетационного периода. В этом случае норма вегетационных поливов дождевальными установками может быть существенно снижена и сокращено пребывание дождевальной установки на одном поле. Однако это лишь временный выход, поскольку влагозарядковые поливы, как и поливы по бороздам, часто являются источником неконтрольного поступления воды за пределы корнеобитаемого слоя, что может привести к чрезмерному повышению уровня грунтовых вод.

Необходимо создавать дождевальные установки с гораздо большей производительностью. Будущие машины должны за короткое время обеспечить такие расходы воды, которые соответствовали бы осадкам 100—200 мм. Для этого (в соответствии с инфильтрационной способностью почв) необходимо сделать несколько заходов, а поэтому продвигаться по полю со значительной скоростью. Для обеспечения таких расходов воду, видимо, следует брать не из параллельного водозаборного канала, а подводить ее по гибкому трубопроводу. Это обстоятельство уменьшит загрязненность воды (а следовательно, и повысит надежность работы распыляющих насадков) и исключит непроизводительный сброс воды в конце поля.

Одним из недостатков искусственного дождевания является возможное диспергирование структурных элементов почвы под ударами водяных струй и крупных капель. Это обстоятельство говорит о том, что размеры капель при дождевании нужно умень-

шить до размеров капель естественного дождя. Такое требование технически вполне осуществимо.

Как вывод из сказанного следует отметить, что орошение по бороздам не может обеспечить такое же надежное поддержание оптимальных условий увлажнения почвы, как искусственное дождевание. Однако, вследствие простоты его осуществления, способ орошения по бороздам, видимо, еще многие годы будет находить применение, хотя относительно и во всё уменьшающихся размерах. Поливы с помощью дождевальных установок являются более перспективными. Но, вследствие ряда технических трудностей, этот способ внедряется в практику постепенно, по мере увеличения количества и совершенствования качества дождевальных установок.

Водный режим почвы — это совокупность всех явлений, определяющих поступление, передвижение, расходование и изменение физического состояния почвенной влаги. Этот режим является одним из важнейших факторов почвообразования и одним из главных условий почвенного плодородия. От содержания воды зависят технологические свойства почвы (удельное сопротивление при обработке, способность деформироваться, крошиться и др.), физические, физико-химические и микробиологические процессы, обуславливающие превращение питательных веществ, передвижение их в почве и поступление с водой в растение. Недостаток и избыток почвенной влаги нарушает нормальное снабжение сельскохозяйственных культур водой, питательными веществами и кислородом. Водный режим почвы определяется метеорологическими условиями, свойствами почвы, рельефом, характером растительного покрова, особенностями сельскохозяйственных культур и агротехникой.

ГЛАВА II

ВОДНЫЙ РЕЖИМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ

Преобразование водного режима поля направлено на улучшение условий произрастания сельскохозяйственных растений. При этом основным объектом целенаправленного воздействия является оптимизация водного режима почвы.

2.1. Водные свойства и водный режим почв

Водным режимом почвы называют совокупность всех явлений, определяющих поступление, передвижение, расходование и изменение физического состояния почвенной влаги. Этот режим является одним из важнейших факторов почвообразования и одним из главных условий почвенного плодородия. От содержания воды зависят технологические свойства почвы (удельное сопротивление при обработке, способность деформироваться, крошиться и др.), физические, физико-химические и микробиологические процессы, обуславливающие превращение питательных веществ, передвижение их в почве и поступление с водой в растение. Недостаток и избыток почвенной влаги нарушает нормальное снабжение сельскохозяйственных культур водой, питательными веществами и кислородом. Водный режим почвы определяется метеорологическими условиями, свойствами почвы, рельефом, характером растительного покрова, особенностями сельскохозяйственных культур и агротехникой.

Источником почвенной воды являются, главным образом, атмосферные осадки. Часто значительную роль играют также близко расположенные грунтовые воды (не глубже 3—4 м), капиллярным подтоком которых увлажняется почва. В районах орошаемого земледелия запасы почвенной влаги пополняются поливами.

Жидкие атмосферные осадки, талые и поливные воды проникают в почву благодаря ее водопроницаемости. Степень водопроницаемости зависит от механического состава почвы, плотности ее сложения и водоустойчивости. Чем больше в почве крупных (некапиллярных) промежутков (песчаные, почвы рыхлого сложения и др.), тем выше водопроницаемость. Наиболее высокой (проваль-

ной) водопроницаемостью отличаются почвы с крупными трещинами. Почвы тяжелого механического состава обладают низкой водопроницаемостью (скорость впитывания измеряется долями миллиметра в час).

В практике орошения различают почвы: с малой скоростью впитывания воды (менее 5 см/ч), средней (от 5 до 15 см/ч) и высокой (более 15 см/ч). В первом случае требуется много времени для полива, а в последнем — затрудняется равномерное распределение воды при орошении по бороздам (вода быстро впитывается в первых метрах борозды). Особое значение имеет водопроницаемость почв для впитывания талых вод. Если осенью почва замерзла в сильно увлажненном состоянии, то весной она может оказаться значительно менее водопроницаемой. Под лесной растительностью, предохраняющей почву от сильного промерзания, и на полях с высоким снежным покровом или на полях, где проведено снегозадержание, талые воды впитываются быстро и наиболее полно.

Интенсивность пополнения запасов почвенной влаги путем капиллярного подъема грунтовых вод зависит от водоподъемной способности почвенно-грунтовой толщи и глубины залегания грунтовых вод. Капиллярная влага поднимается на большую высоту в почвах тяжелого механического состава. Так, если в песке, состоящем из частиц диаметром от 2 до 5 мм, капиллярная кайма имеет высоту 2,5 см, то при крупности песчинок от 0,1 до 0,2 мм — 40 см. В природных условиях ее мощность в песчаных почвах и супесях достигает высоты 0,5—1,0 м, в суглинках и глинах 2—4 м. Капиллярное поднятие грунтовой воды в глинистых почвах на большую высоту протекает очень медленно, а в почвах легкого механического состава значительно быстрее, но на меньшую высоту.

Схема равновесного распределения воды в почвенно-грунтовой толще показана на рис. 11. В нижней части толщи (зона грунтовых вод) почти все поры, за исключением 3—5% объема почвы (защемленный воздух), заполнены водой: зона грунтовых вод образуется лишь в том случае, когда на пути просочившейся с поверхности почвы влаги встретится водоупор. Грунтовая вода, в отличие от просачивающейся, движется преимущественно по уклону водонепроницаемого пласта. Верхняя граница грунтовых вод *A* определяется глубиной залегания зеркала воды в скважинах. Количество воды, которое может вместить почва при полном заполнении всех пор, называют полной влагоемкостью (ПВ) или водо-вместимостью почвы.

Непосредственно над зеркалом (уровнем) грунтовой воды залегает слой почвы, также почти полностью заполненный водой. Это нижняя часть зоны капиллярного насыщения (*б*). В отличие от грунтовой воды, влага этой зоны не вытекает в скважину, а задерживается в грунте капиллярными силами. На некоторой высоте от уровня грунтовой воды наиболее крупные почвенные

поры уже не могут удерживать воду, и поэтому влажность почвы в направлении к верхней границе капиллярной каймы постепенно уменьшается. Капиллярная влагоемкость почвы — величина непостоянная, она зависит от высоты слоя почвы над уровнем грунтовой воды. Всю зону капиллярного насыщения (б, в) называют зоной капиллярной каймы. Влага этой зоны легко подвижна и доступна растениям. Если зона капиллярной каймы достигает поверхности почвы, то весь корнеобитаемый слой почвы будет для растений избыточно увлажненным.

При глубоком залегании грунтовой воды в верхней части почвенно-грунтовой толщи после ее обильного смачивания и стекания всей гравитационной влаги обособляется зона однородной влажности (г); степень увлажнения этой зоны называют наименьшей или полевой влагоемкостью (НВ).

Влага этой зоны может передвигаться на незначительные расстояния, удерживаться в почве силой менее 1/3 атмосфер, хорошо доступна растениям. Вся влага сверх наименьшей влагоемкости под действием силы тяжести стекает вниз, в зону капиллярной каймы, а затем — в грунтовые воды. При наименьшей влагоемкости вода может долго удерживаться в почвенно-грунтовой толще, находясь

как бы в подвешенном состоянии. Именно поэтому ее называют также подвешенной. Наименьшая влагоемкость имеет очень важное агрономическое значение, так как определяет верхнюю границу диапазона оптимальных влагозапасов почвы. При снижении влажности менее НВ капиллярные поры в почве перестают быть заполненными водой, наступает разрыв капиллярных связей, при этом скорость перемещения воды во всех направлениях резко снижается. Такое увлажнение почвы называют влаж-

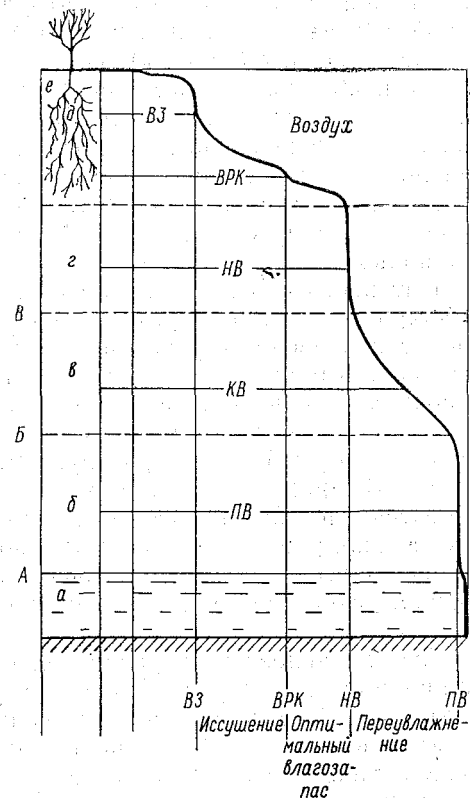


Рис. 11. Схема равновесного распределения влаги в почво-грунтах (после стекания гравитационной воды)

ностью разрыва капилляров (ВРК); оно обычно соответствует нижней границе диапазона оптимальных влагозапасов почвы.

Растения могут иссушить почвенную толщу до такого состояния, при котором начинается их завядание сначала в дневные часы, а затем и в ночное время. Такую величину запаса влаги в почве (∂) называют влажностью завядания (ВЗ). Всю почвенную влагу сверх влажности завядания называют продуктивной влагой. Содержание продуктивной влаги во многом зависит от механического состава почвы и содержания в ней гумуса. Сильный нагрев верхнего слоя при ветре может привести к дальнейшему еще более резкому иссушению почвы вплоть до ее полного физического иссушения (e).

При оценке степени увлажнения почвы нельзя руководствоваться лишь ее влажностью, которая, как известно, выражается в процентах от веса сухой почвы. Если влажность песчаной почвы в 15% характеризует обильное увлажнение, то такой же процент влажности тяжелосуглинистого чернозема указывает на крайнюю степень иссушения. Поэтому для агрономических и мелиоративных целей содержание в почве продуктивной влаги выражают в процентах от максимальных продуктивных влагозапасов, т. е.

$$W_{\text{пр}} = \frac{W - W_{\text{вз}}}{W_{\text{нв}} - W_{\text{вз}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $W_{\text{пр}}$ — относительные продуктивные влагозапасы (%); $W_{\text{нв}}$ — наименьшая влагоемкость (мм); $W_{\text{вз}}$ — влажность завядания (мм); W — фактические влагозапасы (мм).

Обычно вся влага сверх наименьшей влагоемкости просачивается до верхней границы капиллярной каймы и далее до уровня грунтовых вод, который при этом вместе с капиллярной каймой несколько поднимается. Отток грунтовых вод вместе с водами капиллярной каймы происходит по водонепроницаемому ложу — водоупору. Интенсивность оттока зависит от фильтрационных свойств грунта и уклона водоупора. Зеркало грунтовых вод вместе с капиллярной каймой опускается при этом на некоторую глубину. Разность в содержании влаги при полном насыщении и наименьшей влагоемкости называется водоотдачей грунта. Величина водоотдачи колеблется от 5% (в глинистых и суглинистых грунтах) до 20—25% (в песках).

Наиболее распространенные полевые культурные растения обычно используют влагу только верхних слоев почвы (до 1,0—1,5 м). Кустарники, деревья и некоторые многолетние культуры используют влагу из более глубоких слоев. Корни иссушают почву лишь до влажности завядания.

Сочетание различных процессов поступления, распределения, удержания и расходования влаги в почво-грунтах создает различные водные режимы почв. Общая закономерность состоит в том, что наиболее интенсивное поступление влаги в почву наблюдается

весной (при снежных зимах) или зимой (при оттепелях или дождливых зимах). Весной запасы почвенной влаги самые высокие. Наиболее же интенсивно расходуется влага летом. Поэтому запасы почвенной влаги в конце лета наименьшие, причем часто продуктивная влага используется растениями почти полностью.

Выделяют семь типов водных режимов почв: мерзлотный, промывной, периодически промывной, непромывной, десуктивно-выпотной, выпотной и оросительный.

Мерзлотный водный режим распространен по всей территории так называемой вечной мерзлоты (крайние северо-восточные районы ЕТС, север Сибири и Дальнего Востока). Характерная особенность — наличие в почве на некоторой глубине постоянно мерзлого слоя, над которым в теплое время года образуется надмерзлотная верховодка.

Промывной водный режим почвы характеризуется тем, что ежегодно осадки превосходят испарение. Создающийся избыток влаги просачивается и поступает в грунтовые воды. Такой водный режим почвы свойственен таежной зоне с подзолистыми, дерново-подзолистыми и близкими к ним подзолисто-болотными, торфяно-болотными и темноцветноглеевыми почвами.

Периодически промывной водный режим почвы формируется в условиях, когда лишь в отдельные годы суммарное испарение больше осадков, но общий характер режима остается промывным; периодический промывной режим типичен для лесостепной зоны с серыми лесными почвами.

Непромывной водный режим отличается тем, что количество испаряющейся влаги примерно равно ее поступлению с осадками. Последние промывают почвенно-грунтовую толщу не на всю глубину; между смоченным слоем и зоной капиллярной каймы лежит горизонт грунта с постоянной низкой влажностью, близкой к влажности завядания. Водный режим этого типа встречается в степной зоне с черноземными и каштановыми почвами, а также в сероземах полупустынь.

Десуктивно-выпотной и выпотной водные режимы наблюдаются в почвах, которые питаются не только осадками, но и влагой неглубоко залегающих грунтовых вод, подтекающих с более высоко расположенных частей территории при обязательном условии превышения испарившейся воды над суммой осадков. Десуктивно-выпотной режим возникает при относительно более глубоком залегании грунтовых вод, когда поднимающаяся влага их почти целиком перехватывается корнями растений. Выпотной режим создается при сравнительно близком к поверхности залегании минерализованных грунтовых вод, когда часть их поднимается до поверхности почвы и, испаряясь, приводит к ее засолению.

Оросительный водный режим наблюдается в случаях, когда недостаток почвенной влаги в вегетационный период восполняется поливами, промачивающими почву на всю глубину проникновения корней.

2.2. Водный режим растений

Водным режимом растений называется их водообмен, обеспечивающий нормальный ход важнейших физиологических процессов: обмена веществ, роста, развития и размножения. Вода — составная часть всех органов растений. В клетках (оболочке, протоплазме и клеточном соке) она находится в жидком состоянии, в межклеточниках — в парообразном. Содержание воды в клетках достигает 70—80% от массы растений и более в зависимости от вида растения и его органов, метеорологических условий, увлажнения почвы, удобрений и т. п.

Различные растения неодинаково чувствительны к недостатку или избытку воды в почве. Так, в пустынях на песках встречаются растения ксерофиты, легко переносящие резкий недостаток влаги в почве и низкую влажность воздуха; в водоемах и болотах произрастают гигрофиты, способные переносить недостаток кислорода в затопленной неаэрируемой почве. Промежуточное положение между этими крайними группами растений занимают мезофиты, представляющие наиболее многочисленную группу сухолюбивых растений, к которой принадлежит и большая часть культурных растений.

Достаточное содержание воды в растительных клетках обеспечивает их напряженное состояние (тургор), сохраняет форму тканей. Степень насыщения водой (тургосцентность) замыкающих клеток устьиц лежит в основе их раскрытия и закрытия, что необходимо для транспирации и фотосинтеза.

Водный режим растений складывается из трех последовательно протекающих процессов: 1) поступления воды с растворенными в ней веществами в корни растений, 2) передвижения воды по корням и стеблям в листья и другие органы, 3) испарения из листьев в атмосферу (транспирация). Из почвы вода поглощается окончаниями корней, снабженными корневыми волосками. Поверхностные клетки этой «всасывающей зоны» имеют очень тонкие стенки, легко пропускающие воду, и обладают по отношению к воде своеобразной полярностью: наружная сторона клеток всасывает воду, а внутренняя — выталкивает ее в сосуды корня. Так в растении создается корневое давление, нагнетающее воду вверх по корню и стеблю с силой 2—3 атмосферы и более. Вместе с почвенной водой в растения поступают и растворенные в ней минеральные соли.

В поглощении и передвижении воды по растению активно участвует транспирация, т. е. испарение через имеющиеся на листовой поверхности устьица. При этом важную роль играют силы сцепления молекул воды, действием которых вода, поступающая из водоподводящих сосудов в клетки листа, тянет за собой весь нижележащий столб воды. Во всем растении создается последовательная цепь усилий, способствующих поступлению воды из почвы в корень—стебель—лист. Суммарная сила корневого дав-

ления и транспирации доходит до 20—25 атмосфер у деревьев, что достаточно для поднятия воды на высоту 15—20 м.

Количество проходящей через растение воды огромно. Так, в умеренно влажном климате одно растение кукурузы или подсолнечника расходует за вегетационный период 200—250 л воды, 1 га посевов пшеницы — до 2000 м³, кукурузы — свыше 6000 м³, капусты — 8000 м³. В засушливом климате при достаточной водообеспеченности эти количества возрастают в два-три раза. Указанный расход зависит от площади листовой поверхности, биологических особенностей растений, метеорологических условий. Транспирация растет с увеличением суммарной солнечной радиации, повышением температуры и понижением влажности воздуха, при увеличении скорости ветра, увеличении влажности почвы и применении азотных удобрений.

Являясь в своей основе физическим процессом, транспирация в то же время представляет сложное биологическое явление, играющее важную роль в жизни растений. Снижение интенсивности транспирации в результате недостатка воды сопровождается повышением температуры листьев, нарушениями коллоидной системы протоплазмы, ослаблением фотосинтеза. Сверх определенных пределов эти нарушения приобретают патологический характер, становясь необратимыми, вызывают отмирание клеток, угнетение, а в дальнейшем — и гибель растений.

Одним из показателей эффективности использования воды растительным сообществом является коэффициент транспирации — количество воды, расходуемое растениями на образование единицы массы сухого вещества. В среднем на создание 1 кг урожая сухой массы хлебные злаки расходуют около 250—300 л воды, а в условиях засушливого климата 500—600 л и больше, хлопчатник там же расходует до 2000 л воды. Коэффициент транспирации уменьшается с повышением увлажнения и плодородия почвы.

Для построения вегетативной массы растение использует лишь 0,2—0,3% пропускаемой через себя воды, остальные 99,7—99,8% идут на транспирацию способствующую устранению перегрева листьев.

О потребности растений в воде можно судить по сосущей силе клетки, осмотическому давлению и по концентрации клеточного сока (количеству органических и неорганических соединений в клеточном соке). При недостатке воды с ростом сосущей силы, осмотического давления и концентрации клеточного сока выше определенного предела задерживается синтез белка в растении, ослабляется продукционный процесс. Сосущая сила, осмотическое давление и концентрация клеточного сока листьев изменяются в зависимости от степени насыщения клеток водой, метеорологических условий, влажности и плодородия почвы.

Между степенью подвижности воды в растении, сосущей силой, осмотическим давлением, концентрацией клеточного сока и транспирацией существует внутренняя связь. Все факторы, по-

вышающие активность воды в растении, усиливают транспирацию. Достаточная обеспеченность водой необходима и для процесса фотосинтеза. Помимо непосредственного участия воды в биохимических реакциях, связанных с ассимиляцией CO_2 , от содержания воды в клетках зависит размер листовой поверхности, количество устьиц и степень их открытия, диффузия углекислоты, отток и накопление продуктов фотосинтеза.

При оптимальных влажности почвы и других факторах жизни все фазы роста растений проходят нормально, деление клеток и их дифференциация идут более продолжительно и интенсивно. При недостаточной, а часто и при избыточной влажности почвы фазы роста растения протекают менее интенсивно и за более короткий срок, благодаря чему корни, стебли и листья не достигают нормальных размеров. Недостаток и избыток воды особенно резко отражаются на развитии органов плодоношения растений (соцветий, цветков, завязавшихся плодов) и нередко приводит к их полной бесплодности. Большое влияние водный режим оказывает на дыхание растений. При благоприятных условиях водоснабжения и минерального питания дыхание и связанные с ним энергетические процессы интенсифицируются.

2.3. Водный баланс сельскохозяйственных полей

Водный баланс поля — сопоставление расхода и прихода воды за определенный промежуток времени. Водный баланс обычно применяется для анализа водного режима сельскохозяйственных полей в целях обеспечения эффективного использования водных и земельных ресурсов и повышения плодородия почвы. Основные приходные элементы водного баланса сельскохозяйственного поля в границах от поверхности почвы до водоупора следующие: атмосферные осадки H , поливные воды (на орошаемых землях) h , приток поверхностных вод $S_{п.п}$, приток грунтовых вод $S_{п.г}$, конденсация в почве атмосферной влаги E_k . Расходная часть водного баланса формируется под влиянием: суммарного испарения E (эвапотранспирации), состоящего из испарения с почвы или снега $E_п$ и транспирации растений $E_т$ (в которую можно условно включить и испарение осадков и поливной воды, задержанных растениями $E_з$), поверхностного $S_{п.о}$ и грунтового $S_{г.о}$ горизонтального оттока. Схема составляющих водного баланса сельскохозяйственного поля приведена на рис. 12.

Под воздействием приходных и расходных составляющих водного баланса формируются влагозапасы почвы W . Их изменения ΔW лучше всего прослеживаются при составлении водного баланса сельскохозяйственного поля в границах от поверхности поля до уровня грунтовых вод, т. е. в границах так называемой зоны аэрации. Верхняя часть зоны аэрации носит название слоя активного влагообмена, а нижняя — слоя капиллярного увлажнения.

ния. Мощность слоя активного влагообмена почвы определяется расстоянием от поверхности до нижней границы основной массы корневой системы. Его величина большей частью составляет 0,5—1,0 м, однако в зависимости от местных условий эти цифры могут быть значительно выше. Среди элементов водного баланса особая роль принадлежит тем, которые характеризуют вертикальный влагообмен, определяющий собой восходящие и нисходящие перемещения влаги и вместе с ней солей, непосредственно влияющие на почвообразовательный процесс и плодородие почвы.

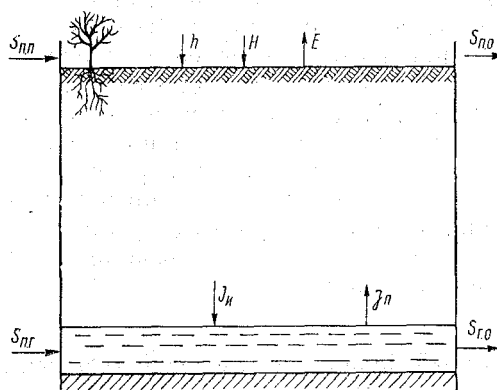


Рис. 12. Схема составляющих водного баланса (условные обозначения см. в тексте)

Уравнение водного баланса поля, в границах от поверхности до водоупора, может быть записано таким образом (размерность всех составляющих — мм):

$$H + h + S_{п.п} + S_{п.г} + E_k + W_n = E_n + E_t + S_{п.о} + S_{г.о} + W_k, \quad (5)$$

где W_n и W_k — начальные и конечные влагозапасы зоны аэрации. Далее, принимая $\Delta W = W_k - W_n$, полагая $E = E_n + E_t - E_k$; $S_{пр} = S_{п.п} + S_{п.г}$ и $S_{от} = S_{п.о} + S_{г.о}$ и допуская

$$S_{от} - S_{пр} = S,$$

где S — результирующий сток с поля, получим

$$\Delta W = H + h - E - S. \quad (6)$$

Уравнение водного баланса зоны аэрации (при неизменной нижней границе, т. е. постоянном уровне грунтовых вод) имеет вид

$$\Delta W = H + h - E + S_{п.п} - S_{п.о} - I_n + j_p, \quad (7)$$

где I_n — инфильтрация за пределы зоны аэрации в грунтовые воды; j_p — подпитывание зоны аэрации грунтовыми водами.

Или иначе

$$\Delta W = H + h - E + S_{п.п} - S_{п.о} + I, \quad (8)$$

где $J = J_{п} - J_{п}$ — результирующий влагообмен на нижней границе зоны аэрации.

Определение ΔW всей зоны аэрации или только слоя активного влагообмена почвы является наиболее важным этапом при выборе режима орошения. Искомое значение ΔW может быть получено непосредственным измерением влагозапасов рассматриваемого слоя почвы или рассчитано методом водного баланса. Вследствие значительной горизонтальной изменчивости влагозапасов почвы и трудоемкости их измерения термостатно-весовым методом, а также больших размеров орошаемых массивов, инструментально определять влагозапасы почвы на каждом из множества полей практически невозможно. Такой метод в настоящее время используется только на агрометеостанциях и на опытных участках, либо в научно-исследовательских целях. При одновременных расчетах оросительного режима большого количества полей ΔW проще вычислять по уравнению водного баланса. Для обеспечения надежности расчетов необходимо, чтобы все составляющие баланса определялись достаточно точно.

Остановимся кратко на способах измерения важнейших составляющих водного баланса сельскохозяйственного поля, к которым относятся испарение, осадки, приток и отток поверхностных вод. Приток и отток грунтовых вод измеряется способами, рассматриваемыми в курсе гидрогеологии.

2.3.1. Приборы для измерения испарения

Важная роль в изучении испарения и создании методов его расчета принадлежит испарителям, т. е. приборам, дающим возможность измерять испарение с поверхности суши и воды. Испарители позволяют глубже и точнее характеризовать процесс испарения, проверить правильность того или иного представления об этом процессе, а также дают возможность всесторонне характеризовать режим испарения с различных поверхностей, в том числе и с сельскохозяйственных угодий.

Подробное описание испарителей выходит за рамки данного пособия, однако для оценки возможной точности измерений испарения приводим краткое описание их принципа действия.

Наиболее широкое распространение получили испарители, предназначенные для измерения испарения с сельскохозяйственных угодий. Среди них высокой точностью измерений испарения отличаются гидравлические испарители большой и малой моделей, являющиеся уникальными по точности приборами. Для измерения испарения на массовой сети станций используются весовые испарители, которые, обладая меньшей точностью, просты в изготовлении и эксплуатации.

Гидравлические испарители выгодно отличаются от других типов приборов почти неограниченной возможностью увеличения размеров почвенного монолита, испарение с которого измеряется прибором, а также чрезвычайно высокой точностью, которая может быть достигнута при определении изменения веса монолита. Установленный в Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории (ВНИГЛ) гидравлический испаритель большой модели имеет площадь почвенного монолита 5 м^2 при глубине 2 м.

Прибор состоит из почвенного монолита, заключенного в стальной кожух, опирающийся на выступы (шейки) поплавка, погруженного в воду кольцевого бассейна (рис. 13). Груз монолита с кожухом (весом около 40 т) уравнивается подъемной силой поплавка. Суммарная площадь 12 шеек подобрана равной площади испаряющей поверхности прибора. Поэтому изменение веса почвенного монолита (выраженное в толщине слоя воды), вследствие испарения, конденсации или выпадения осадков на его поверхность, тождественно вертикальному перемещению плавающей системы испарителя относительно уровня воды в бассейне.

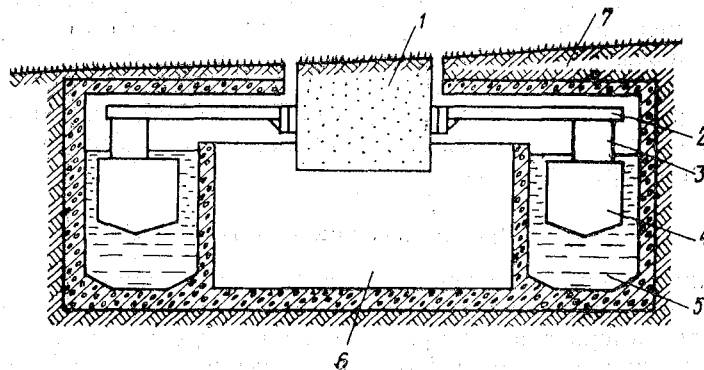


Рис. 13. Схема гидравлического испарителя большой модели:
1 — почвенный монолит; 2 — опорная консоль; 3 — шейка поплавка; 4 — полный кольцевой поплавок; 5 — кольцевой бассейн с водой; 6 — камера для обслуживающего персонала и приборов; 7 — насыпной грунт на крышке прибора

Эти перемещения регистрируются с помощью трех самописцев уровня. Наряду с измерением испарения, конденсации и осадков в испарителе предусмотрена возможность измерять поверхностный сток и количество воды, просочившейся сквозь толщу почвенного монолита. Тем самым прибор дает возможность изучать все составляющие водного баланса почвенного монолита. Наличие суточной регистрации величин испарения впервые позволило с большой точностью измерять величины конденсации на поверхности монолита, испарения с поверхности снега и изучить зависимость испарения от различных гидрометеорологических факторов.

За многолетний период эксплуатации испарителя было установлено, что состояние луговой растительности и сельскохозяйственных культур на монолите практически ничем не отличается от их состояния на окружающем поле. Поскольку режим температуры и влажности почвы, а также состояние растений почвенного монолита большого гидравлического испарителя совпадают с соответствующими характеристиками окружающего склона, поскольку испарение и транспирация с поверхности монолита тождественны испарению и транспирации с поверхности окружающего поля. Поэтому показания рассматриваемого прибора могут быть использованы в качестве эталона при сравнении с другими методами определения составляющих водного баланса (главным образом, испарения и конденсации), а также для изучения режима испарения в различных условиях.

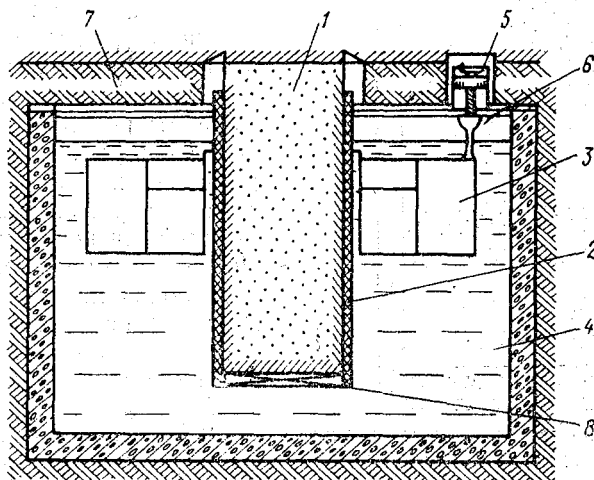


Рис. 14. Схема гидравлического испарителя малой модели:
 1 — почвенный монолит; 2 — металлическое гнездо; 3 — кольцевой поплавок; 4 — бак с водой; 5 — микрометрический винт; 6 — чашка с ртутью; 7 — насыщенный грунт на крышке бака; 8 — сосуд для сбора просочившейся воды

Сооружение гидравлического испарителя большой модели представляет известные трудности в основном технического характера. Поэтому для более широкого использования принципа гидростатического взвешивания была разработана конструкция гидравлического испарителя малой модели, упрощенная и облегченная по сравнению с испарителем большой модели.

Почвенный монолит испарителя малой модели площадью $0,2 \text{ м}^2$, глубиной $1,25\text{—}1,50 \text{ м}$ (рис. 14) заключен в металлический цилиндр, опирающийся на кольцевой поплавок, — понтон, плавающий в резервуаре, наполненном водой. Общий вес плавающей си-

стемы с почвенным монолитом около 800 кг. Поплавок находится в погруженном состоянии. Вертикальные перемещения плавающей системы являются показателями изменения веса почвенного монолита, обусловленного испарением, конденсацией или выпадением осадков на его поверхность. Эти перемещения измеряются с помощью микрометрических винтов с точностью 0,1 мм. В приборе предусмотрена возможность измерения количества воды, просочившейся сквозь почвенный монолит.

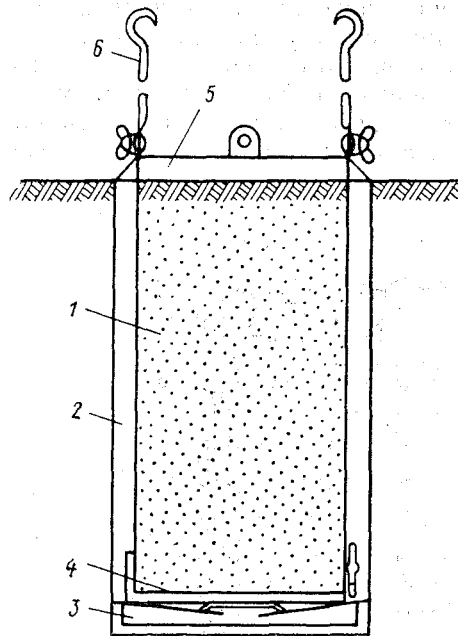


Рис. 15. Схема почвенного испарителя ГГИ-500:

1 — внутренний цилиндр с почвенным монолитом; 2 — внешний цилиндр (гнездо); 3 — сосуд для сбора просочившейся воды; 4 — съемное перфорированное дно; 5 — козырек; 6 — крючья для подъема испарителя

Правильная установка прибора обеспечивает полную тождественность величины испарения с монолита величинам испарения с окружающего поля, что при высокой точности взвешивания дает возможность применения прибора в различных климатических условиях в качестве эталона. Вследствие этого гидравлический испаритель малой модели рекомендован для опорной сети агрометеорологических станций, на которых проводятся измерения испарения с сельскохозяйственных полей. Этому способствовали также относительная простота изготовления и эксплуатации прибора.

Для широкого использования испарителей на сети почвенноиспарительных пунктов, агрометеостанций, на полях колхозов и совхозов рекомендован простой прибор для

измерения испарения и транспирации с сельскохозяйственных полей — испаритель ГГИ-500 (рис. 15). Площадь почвенного монолита 500 см² (0,05 м²), глубина, в зависимости от условий применения испарителя, 0,5—1,0 м.

Дно испарителей ГГИ-500 съемное, с отверстиями, через которые вода, просочившаяся сквозь толщу монолита, стекает в водосборный сосуд. Испаритель взвешивается один раз в пять дней с точностью до 10—15 г, что в переводе на слой воды составляет 0,2—0,3 мм. Подъем и опускание испарителей в гнездо при взвешивании осуществляется простейшим подъемным устройством, позволяющим производить операции с испарителями на расстоянии, не вытупывая вокруг них травостой.

Важной особенностью испарителей ГГИ-500 является возможность с их помощью отдельно определять транспирацию и испарение с почвы между стеблями растений. Для этого одним из испарителей измеряют суммарное испарение (транспирация плюс испарение с почвы), тогда как с помощью другого измеряют испарение с почвы между стеблями растений. Растения над таким испарителем срезают и подвешивают в прежнем положении для создания искусственного затенения. Разность показаний этих испарителей дает величину транспирации за период между взвешиванием испарителей. Возможность измерения транспирации является большим преимуществом испарителей ГГИ-500 перед многими другими способами определения испарения с сельскохозяйственных полей.

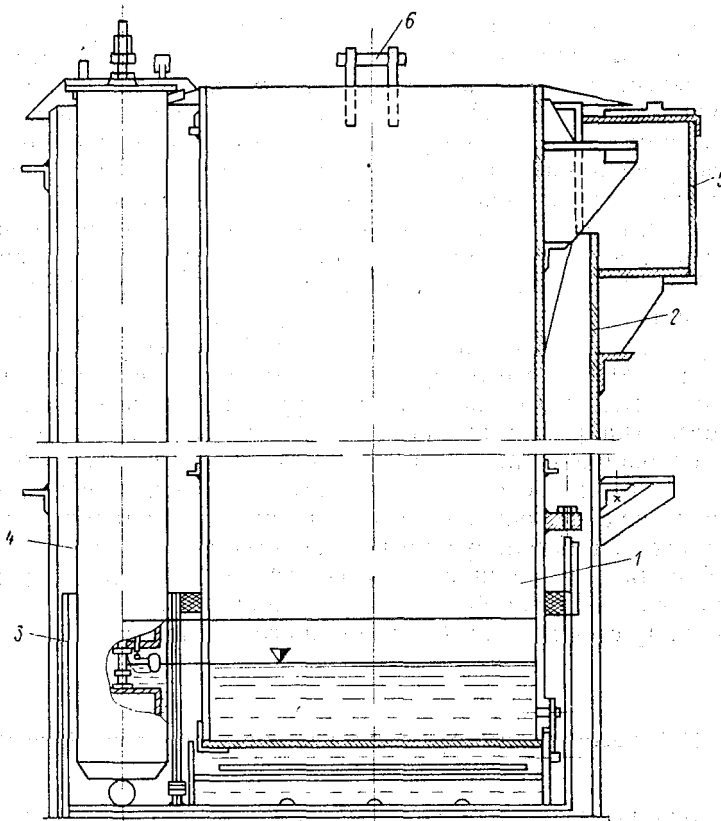


Рис. 16. Схема взвешиваемого лизиметра ГР-80:

1 — внутренний цилиндр с почвенным монолитом; 2 — гнездо; 3 — поддон;
4 — водорегулирующее устройство; 5 — футляр для гидроподъемника; 6 — проушина

Благодаря своей простоте испарители ГГИ-500 получили широкое распространение у нас в стране. Организована и работает сеть почвенно-испарительных станций, уже сейчас охватывающая более 150 пунктов, расположенных во всех основных почвенно-климатических зонах СССР. Полученные данные сетевых наблюдений позволяют изучить режим испарения с сельскохозяйственных культур в различных пунктах страны.

Характерной особенностью многих орошаемых и осушенных земель является неглубокое (1—3 м) залегание уровня грунтовых вод. Эти воды играют заметную роль в формировании водного баланса указанных территорий и влияют на величину отдельных элементов баланса, в том числе и на испарение. В этом случае для измерения испарения целесообразно применять не испарители, а лизиметры.

Принцип работы лизиметра такой же, как и у испарителя, однако от последнего он отличается тем, что в монолите лизиметра искусственно создается и поддерживается на заданной глубине уровень грунтовых вод. Кроме испарения с поверхности суши, с помощью лизиметра можно измерять расход грунтовых вод в зону аэрации, в том числе и подпитывание корнеобитаемого слоя, и инфильтрационное питание грунтовых вод. Известно много разнообразных конструкций лизиметров, но в нашей стране преимущественное распространение получил один из этих приборов, носящий в классификаторе гидрометслужбы индекс ГР-80.

Лизиметр ГР-80 состоит из гнезда, цилиндра с монолитом почво-грунта и водорегулирующего устройства (рис. 16). Диаметр монолита 2000 см², а его глубина может быть 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 м. Цилиндр с монолитом посредством того или иного подъемного устройства (например автокрана) может выниматься из гнезда для взвешивания с целью определения изменения влагосодержания монолита, что необходимо для вычисления испарения. Расход грунтовых вод в зону аэрации и их инфильтрационное питание измеряются водорегулирующим устройством по количеству воды, долитой в лизиметр или слитой из него. В настоящее время ведутся работы по созданию приспособления, позволяющего взвешивать цилиндр с монолитом без выемки его из гнезда.

2.3.2. Способы измерения притока и оттока оросительной воды

Рациональная эксплуатация мелиорированных территорий и особенно изучение их водного баланса требуют точного учета количества воды, поступающей поверхностным путем в пределы этих территорий или стекающей с них. В зависимости от размеров водоводов, по которым происходит движение воды, применяются различные способы ее измерения. Так, в крупных каналах и кол-

лекторах учет стока обычно производится гидрометрическим методом или, как его еще называют, — методом «площадь—скорость», при измерении скорости потока гидрометрической вертушкой. Такие измерения целесообразно осуществлять в специально оборудованных гидротворках, оснащенных гидрометрическими мостиками, с которых и выполняются все работы. При наличии на указанных водотоках шлюзов-регуляторов, имеющих порог в виде водослива практического профиля, учет стока может осуществляться гидравлическим методом, т. е. на основе использования функциональной связи между напором на водосливе и проходящим через него расходом воды. Для повышения точности измерений шлюз-регулятор рекомендуется протарировать.

В небольших каналах и выводных бороздах расходы воды могут измеряться посредством тонкостенных водосливов, гидрометрических лотков и водомерных насадок. Из первого типа устройств наибольшее распространение получили водосливы с треугольной и трапециoidalной формой выреза. Эти расходомеры обладают высокой точностью измерений, но создают большие потери напора, что часто служит ограничением к их применению. Лотки (Паршала, Вентури) не имеют указанного недостатка, но являются значительно более сложными в конструктивном отношении. Водомерные насадки могут работать в затопленном режиме, почти не вызывая потерь напора, однако их погрешность измерений значительно больше, чем у рассмотренных выше двух типов расходомеров.

В самых маленьких водоводах типа поливных борозд измерение расхода воды в случае необходимости производится временно устанавливаемыми (врезаемыми в почву) тонкостенными водосливами или объемным методом (по наполнению емкости). Известны случаи разработки специальных приборов для производства измерений в рассматриваемых условиях (например, водомеры Пикуша), однако применение этих приборов требует предварительной оценки точности их показаний.

Наконец, следует отметить, что районы орошаемого земледелия характеризуются большим количеством переездов через различные каналы. Многие из переездов выполнены в виде уложенных в канал и засыпанных сверху землей коротких отрезков труб. Разработана система приставок к этим трубам, которые в комплекте со специальными приборами, носящими название динамических расходоуказателей, позволяют превратить трубу-переезд и в водомерное устройство. Более подробно вопросы такого переоборудования освещены в специальной литературе.

На современных закрытых оросительных системах, к которым вода подается по трубам, а распределяется по полям различными дождевальными машинами, учет количества воды производится с помощью промышленных расходомеров на насосных станциях или непосредственно на дождевальных машинах.

2.3.3. Приборы для измерения осадков

Основной составляющей приходной части водного баланса богарного сельскохозяйственного поля являются осадки. Их доля в увлажнении орошаемых полей также может быть значительна. Величины осадков учитываются практически во всех схемах расчета влагозапасов почвы, а следовательно, и режима орошения. Поэтому точность измерения осадков играет большую роль в определении норм и сроков поливов.

Для измерения осадков в гидрометслужбе СССР применяются преимущественно осадкомеры, плювиографы и почвенные дождемеры. Приемная поверхность первых двух приборов устанавливается на высоте 2 м, почвенных дождемеров — вровень или с небольшим превышением над поверхностью почвы.

Проведенные в последние годы научно-исследовательскими учреждениями (ГГИ, ГГО, УкрНИГМИ и др.) исследования показали, что измеренные этими приборами осадки, как правило, занижены. Если почвенные дождемеры занижают жидкие осадки всего лишь на 2—3% (расход дождевой воды на смачивание и испарение из осадкомерного ведра за период между выпадением осадков и их измерением), то осадкомер и плювиограф занижают жидкие осадки в среднем на 10—15%. Это занижение кроме упомянутых причин обусловлено еще возрастанием скорости ветра над приборами, что приводит к «выносу» части капель дождя за пределы их приемных поверхностей. Занижение увеличивается вместе со скоростью ветра и уменьшением размера дождевых капель.

Еще более значителен эффект «выноса» при измерении твердых осадков. Здесь занижение составляет 20—50% и также зависит от скорости ветра, формы и веса снежинок. Правда, в период метелей и снежных бурь может иметь место обратный эффект — надувание снега в осадкомер, но это явление лишь в редких случаях ведет к компенсации снижения осадков за счет выдувания.

Учитывая большую горизонтальную изменчивость летних осадков и, как правило, большую удаленность полей и орошаемых массивов от метеостанций, для повышения точности расчета норм и сроков поливов рекомендуется установка дополнительных осадкомеров по соседству с полями. Принимая во внимание большую погрешность измерений, присущую осадкомеру и плювиографу, предпочтительно использовать почвенный дождемер. Но и у этого прибора имеется ряд недостатков: его необходимо изолировать от мест пребывания домашних животных, в него неизбежно попадают мелкие грызуны и пресмыкающиеся, а при значительном ветре в нем оседают почвенная пыль и органические осадки. При его установке в пределах травостоя на поле, во избежание забрызгивания дождя, вокруг прибора в радиусе 1—2 м необходимо сре-

зять растения. В этом случае изменяется ветровой режим над приемной поверхностью, что неизбежно влечет за собой снижение точности показаний.

Указанных недостатков в значительной мере лишен осадкомер специальной конструкции, разработанный в УкрНИГМИ (автор А. Р. Константинов). Его приемная поверхность также устанавливается на уровне 2 м, но, благодаря обтекаемой форме приемной воронки и наличию сетки, скорость ветра над приемной поверхностью практически совпадает со скоростью ветра на том же уровне в невозмущенном прибором потоке (рис. 17). Вследствие этого и эффект «выноса» осадков у прибора пренебрежимо мал.

Форма приемной воронки выбрана исходя из условия сохранения скорости ветра над приемной поверхностью, близкой к скорости на том же уровне в открытом месте. Концентрическая решетка снижает завихренность ветра над воронкой и способствует еще большему совпадению упомянутых скоростей ветра. Для избежания выбрызгивания капель дождя с площади внешнего кольца приемной поверхности воронки ее верхняя кромка загибается. Кронштейн дополнительной жесткости исключает вибрацию прибора при сильном ветре. Величины дождевых осадков, измеренные с помощью осадкомера УкрНИГМИ, практически совпадают с величинами осадков, измеренных с помощью наземного дождемера. Прибор вполне пригоден для измерения осадков на мелиорируемых землях.

Из рассмотренных выше элементов водного баланса сельскохозяйственного поля наибольшее значение, с позиций мелиоративной гидрологии, имеет испарение, так как оно количественно характеризует потери воды с поля и дает возможность судить о степени влагообеспеченности растений. Поэтому для определения величины испарения разработано достаточно большое количество

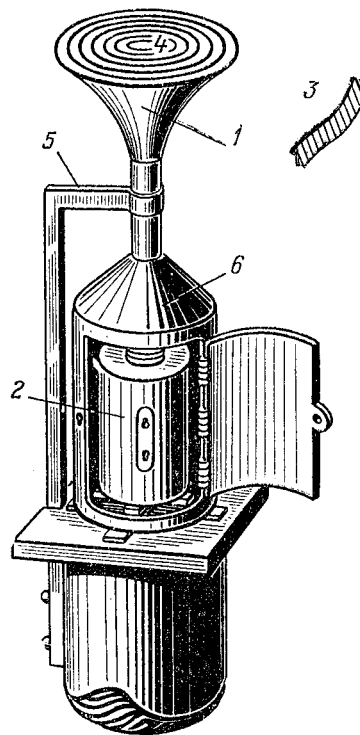


Рис. 17. Осадкомер конструкции УкрНИГМИ:

1 — приемная часть; 2 — водосборный сосуд; 3 — форма загиба верхней кромки осадкомера; 4 — решетка; 5 — кронштейн жесткости; 6 — кожух

различных расчётных методов, которые могут использоваться вместо измерения испарения испарителями или лизиметрами. В следующей главе после изучения теплового баланса поля будет дана краткая характеристика наиболее распространенных в нашей стране методов расчета испарения.

ГЛАВА III

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ

Тепловой режим поля характеризуется температурой растений и воздуха внутри травостоя и температурой почвы на разных глубинах. Тепловой баланс поля характеризуется составляющими баланса, результирующее действие которых и определяет температурный режим.

3.1. Температурный режим поля

Температура является одним из ведущих факторов внешней среды, определяющих условия развития и роста растений. Чрезмерно высокая температура губительно действует на растения. Это действие усугубляется низкой влажностью воздуха и почвы. Низкая температура замедляет рост и развитие растений.

В растительном сообществе образуется свой фитоклимат и свое вертикальное распределение температуры, зависящее от структуры растительного покрова, интенсивности солнечной радиации, скорости и направления ветра, а также увлажнения почвы и транспирационных особенностей растений. Обычно вертикальный профиль температуры воздуха внутри растительности в дневное время имеет два максимума: один вблизи поверхности почвы, а другой на уровне деятельной поверхности. В зависимости от степени сомкнутости травостоя каждый из этих максимумов может быть абсолютным. Так, при сомкнутом или почти сомкнутом травостое, когда прямые лучи солнца практически не достигают поверхности почвы, максимум температуры воздуха приходится на деятельную поверхность. Для редких посевов и особенно для зерновых культур при высоком стоянии солнца, когда его лучи большей частью достигают почвы, максимум температуры воздуха отмечается у поверхности почвы.

Ночью растительный покров предохраняет поверхность почвы от выхолаживания тем больше, чем гуще травостой. В этом случае минимум температуры может наблюдаться как у поверхности почвы, так и на уровне деятельного слоя. Последний более выра-

жен при сомкнутом травостое, когда температура воздуха возрастает по направлению вверх и вниз от деятельной поверхности.

Интенсивность физиологических процессов, протекающих в организме растений (фотосинтез, дыхание, передвижение раствора питательных веществ и т. д.), зависит от температуры. Оптимальные и крайние значения температур для разных растений и в разные периоды их жизни различны. Некоторые растения успешно развиваются при температуре около 0° , тогда как другие гибнут уже при температуре ниже $10-15^{\circ}$. Наконец, имеется низшая растительность, успешно вегетирующая в горячих водах гейзеров с температурой, превышающей 60° .

Как известно, основными функциями растительного организма являются рост и развитие. Развитие связано с очередностью наступления фаз, обусловленной наследственностью растений, и с продолжительностью этих фаз, которая в значительной мере зависит от внешних условий и главным образом от температуры воздуха. Рост растений, как процесс накопления растительной массы, является результатом действия двух противоположных явлений: фотосинтеза (ассимиляция) и дыхания (диссимиляция). В первом случае создается органическое вещество, а во втором происходит его разложение.

Влияние температуры на эти процессы различно, но для каждого из них характерным является наличие трех кардинальных точек: минимума, максимума и оптимума. Минимуму соответствует температура, ниже которой оба процесса приостанавливаются в силу большой вязкости протоплазмы и малой скорости всех проходящих в ней процессов. Точке максимума соответствует температура, выше которой указанные процессы прекращаются вследствие чрезмерного снижения вязкости протоплазмы, повышения осмотического давления и ослабления тургора и, как следствие этого, частичного или полного закрытия устьиц. Смыкание устьиц вызывает одновременно и сокращение транспирации, что при интенсивной солнечной радиации может привести к чрезмерному нагреванию листьев растений. При этом в клетках листа могут начаться необратимые процессы, приводящие к гибели растений, вследствие свертывания белковых веществ протоплазмы. В интервале между максимумом и минимумом лежит точка оптимума, соответствующая тем значениям температуры воздуха, при которых процессы фотосинтеза и дыхания протекают с максимальной интенсивностью.

Схематически зависимость интенсивности фотосинтеза и дыхания от температуры воздуха, построенная в соответствии с исследованиями физиологов, может быть представлена в виде, изображенном на рис. 18. Кривые, приведенные на этом рисунке, справедливы при условии удовлетворительного минерального питания и нормальной обеспеченности влагой и светом. При их недостатке или избытке ход кривых фотосинтеза и дыхания может существенно измениться.

Нижний температурный предел для дыхания лежит ниже -10° . Приостановка дыхания происходит в основном вследствие промерзания растительных тканей. У зимующих растений нижний предел температуры лежит очень низко: вполне заметное дыхание (например, у почек лиственных деревьев) можно наблюдать даже при температуре -20° , -25° . Максимум дыхания приходится на температуру $36-40^{\circ}$, после чего интенсивность дыхания снижается, а при 50° и выше вовсе прекращается. Процесс ассимиляции начинается при температуре воздуха около 5° , максимален при температуре $25-30^{\circ}$ и полностью прекращается при температуре $45-50^{\circ}$.

Разность между интенсивностями фотосинтеза и дыхания, равная результирующей интенсивности образования биомассы, положительна примерно от 5 до 35° . Выше и ниже этого предела интенсивность разложения органического вещества в процессе дыхания превосходит интенсивность его образования в процессе фотосинтеза. Оптимум для образования биомассы лежит между 20 и 30° .

Процесс фотосинтеза происходит в светлое время суток, тогда как дыхание — в течение круглых суток. Поэтому в зависимости от соотношения дневных и ночных температур результирующее образование биомассы может быть различным. Теплые дни и прохладные ночи наиболее благоприятны для прироста биомассы.

При набегании ветра на высокий стеблестой растений некоторая часть воздушного потока проникает внутрь его, а основная часть отгесняется растительностью вверх. Интенсивность проникновения воздушного потока в растительность зависит от скорости ветра, высоты и густоты растений. В посевы пшеницы нормальной густоты воздушный поток проникает на $5-7$, максимум — 10 м.

Поднятие воздушного потока над растительностью характеризуется высотой «слоя вытеснения» (рис. 19), который для средней густоты растений составляет примерно $2/3$ их высоты. При редкой растительности верхняя граница слоя вытеснения может снизиться до $1/2$ высоты растительности и даже ниже, а для густой — подняться до $3/4$, $4/5$ и более.

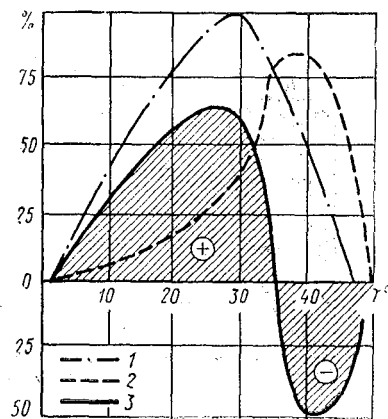


Рис. 18. Связь интенсивности фотосинтеза (1), дыхания (2) и результирующего образования биомассы растений (3) в области преобладания ассимиляции (+) и диссимиляции (-) с температурой воздуха (в процентах от максимальной интенсивности фотосинтеза)

С ростом скорости ветра глубина проникновения воздушного потока в растительность возрастает, а верхняя граница слоя вытеснения снижается. В посевах пшеницы, например, критическая скорость ветра, начиная с которой глубина проникновения ветра в стеблестой пшеницы сильно возрастает, составляет около 5 м/с, это имеет место и для некоторых других видов растительности.

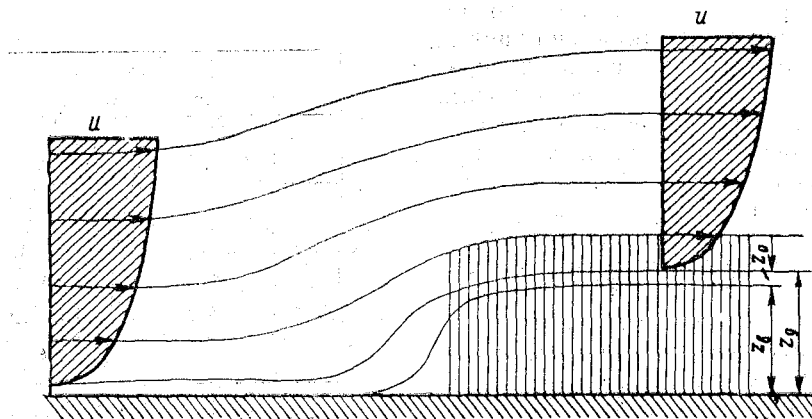


Рис. 19. Схема набегания воздушного потока на травостой пшеницы: z_B — слой вытеснения; z_0 — слой шероховатости; z_q — деятельный слой (для скорости ветра)

Средняя скорость ветра уменьшается по мере приближения к поверхности почвы. Она обращается в нуль на уровне слоя шероховатости z_0 . Вследствие подобия профилей метеорологических элементов верхний уровень слоя шероховатости, на котором скорость ветра обращается в нуль, является также характерным уровнем в профиле распределения температуры и влажности воздуха. Это самая нижняя точка, где еще справедлив закон распределения температуры и влажности воздуха, действующий в вышележащей толще приземного слоя атмосферы. Поэтому, зная параметр z_0 , можно определить температуру T_0 и упругость водяного пара e_0 на уровне $z=z_0$ путем экстраполяции температуры и влажности воздуха на вышележащих уровнях до верхней границы слоя шероховатости по формулам:

$$\left. \begin{aligned} T_0 &= T_{2,0} + (T_{0,2} - T_{2,0}) \lg \frac{200}{z_0}, \\ e_0 &= e_{2,0} + (e_{0,2} - e_{2,0}) \lg \frac{200}{z_0}, \end{aligned} \right\} (9)$$

где индексы 2,0 и 0,2 означают уровни (в метрах) производства градиентных измерений температуры и влажности воздуха, речь о которых пойдет ниже.

Температура T_n и влажность воздуха e_n , примыкающего к поверхности (для почвы, лишенной растительности) или на уровне слоя вытеснения (для травостоя), может быть получена из соотношений:

$$\left. \begin{aligned} T_0 - T_{2,0} &= m_T (T_n - T_{2,0}), \\ e_0 - e_{2,0} &= m_e (e_n - e_{2,0}), \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где m_T и m_e — эмпирические коэффициенты; при

$$T_n > T_{2,0} \quad m_T = m_e = 0,5; \quad \text{при} \quad T_n < T_0 \quad 0,5 < m < 1,0.$$

Говоря о температуре и влажности поверхности травостоя, подразумевают температуру и влажность внутри его на уровне слоя вытеснения, так как именно на эту высоту приподнимаются массы воздуха, непосредственно примыкающие к поверхности почвы, лишенной растительности, при набегании воздушного потока на стеблестой растений. Однако более важной является характеристика температуры и влажности воздуха на уровне так называемой «действительной поверхности» травостоя, лежащей непосредственно над слоем вытеснения. На этом уровне проходит основная граница соприкосновения воздушного потока с травостоем; здесь формируются нижние граничные условия воздействия травостоя на поток.

На рис. 20 приведены измеренные внутри и над стеблестоем пшеницы профили скорости ветра, температуры и влажности воздуха, где пунктирными линиями показан вид профилей, полученных по формулам (9) и (10). На уровне слоя вытеснения наблюдаются заниженные величины измеренных температуры и влажности воздуха по сравнению с экстраполированными по профилю. Это обстоятельство говорит о том, что внутри травостоя верхняя граница слоя вытеснения не является резко выраженной характеристикой в отношении рассматриваемых метеоэлементов, а представляет собой более или менее размытую область; пики температуры и влажности на этом уровне сглаживаются.

Наряду с влагозапасами почвы важной гидрометеорологической характеристикой является ее температура, изучению которой уделяется еще недостаточное внимание. По этому поводу академик И. П. Герасимов отмечает, что «неудовлетворительное в настоящее время состояние вопроса о термическом режиме почв становится особенно ясным при сопоставлении его с изучением водного режима».

Температура почвы является не менее важным фактором жизнедеятельности растений. Хотя температура воздуха и связана непосредственно с температурой почвы, однако в зависимости от механических и физических свойств разных типов почв, а также их увлажнения, соотношения между температурой воздуха и почвы могут изменяться в значительных пределах.

С температурой почвы непосредственно связаны сроки прорастания семян, интенсивность развития корневой системы и кушения, жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, всасывающая способность корней, интенсивность разложения органических веществ, усвоение удобрений и т. д. Особенно отчетливо высокая температура почвы влияет на прорастание и всходы семян. Например, температура почвы выше 30—40° уже не ускоряет, а замедляет прорастание семян большинства зерновых культур. Для кукурузы соответствующие температурные границы отодвигаются до 40—50°.

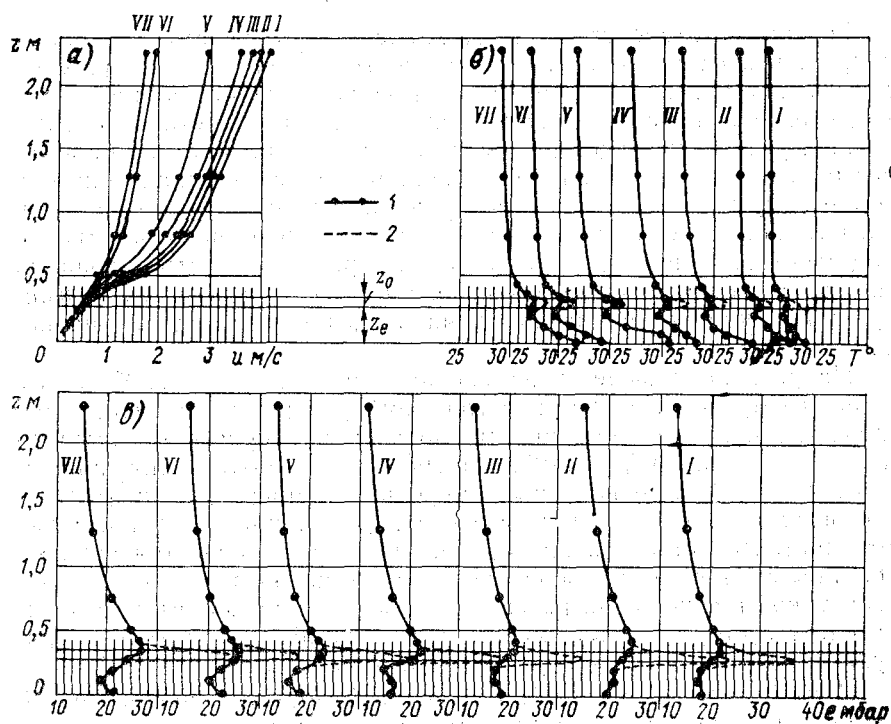


Рис. 20. Профили скорости ветра (а), температуры (б) и влажности воздуха (в) над пшеничным полем:

Номерами 1 — VII обозначены профили при различной устойчивости стратификации атмосферы (VII — наиболее неустойчивая стратификация); 1 — профили, построенные по экспериментальным точкам; 2 — профили, рассчитанные по формулам

Так же сильно температура почвы влияет и на интенсивность кушения. На зерновые культуры (пшеницу, ячмень и просо) независимо от их сортового состава температура почвы на глубине узла кушения выше 25° действует уже угнетающе. Большое влияние оказывает температура почвы на прорастание и всходы картофеля. Начиная с 27—28°, темпы прорастания и скорость появ-

ления всходов замедляются. Высокая температура почвы приводит также к задержке клубнеобразования и уменьшению размера клубней.

С повышением температуры почвы возрастает сосущая сила корней, скорость оборота и растворимость питательных веществ в почве, жизнедеятельность микроорганизмов, а при достаточных влагозапасах к тому же возрастает усвоение минеральных и органических удобрений растениями. Однако при температуре почвы, превышающей 40°, положительная роль микроорганизмов в почвенном питании растений снижается или даже переходит в свою противоположность.

Температура почвы под посевами исследовалась в ряде работ. Наиболее простая методика расчета температуры почвы на глубинах 5, 10, 15 и 20 см под лугом основывается на использовании температуры и влажности воздуха, в которые вносилась поправка на запаздывание температуры на расчетных глубинах почвы по сравнению с ходом температуры воздуха. Теснота связи между измеренными и рассчитанными температурами почвы на разных глубинах характеризуется коэффициентом корреляции $r = 0,8 \pm 0,093$ с вероятной σ около 1°. Разность между $T_{изм}$ и $T_{рас}$ оказалась зависящей от типа почвы, учет которой еще более повысил точность расчета.

Исследовалось отличие температур почвы на глубинах 5 и 10 см под лугом от температур на тех же глубинах под озимой пшеницей в разное время суток. Разница оказалась незначительной, приводящей к повышению вероятного значения σ с 1,0 до 1,5°. На глубинах 15 и 20 см ошибка расчета еще меньшая. Такая же разница температур на одном и том же уровне под озимой пшеницей наблюдается вследствие естественной вариации даже на сравнительно однородных полях и почвах. Таким образом изложенная выше методика позволяет рассчитывать температуру почвы под зерновыми культурами с достаточной для практики точностью.

3.2. Тепловой баланс поля

Тепловой баланс обычно составляется для деятельной поверхности, под которой условно понимают сравнительно тонкий слой почвы, воды, снежного или растительного покрова, где происходит поглощение и преобразование прямой и рассеянной солнечной радиации и формирование собственного излучения.

Тепловой баланс деятельной поверхности поля записывается в виде уравнения

$$R = LE + P + Q, \quad (11)$$

где R — радиационный баланс; P — турбулентный теплообмен с атмосферой; Q — теплообмен с нижележащими слоями почвы; LE — затрата тепла на испарение E , состоящего из транспира-

ции E_T и испарения с почвы $E_{\text{п}}$, затененной растениями; L — скрытая теплота парообразования.

Члены этого уравнения называются составляющими теплового баланса.

Наряду с составляющими, учитываемыми в уравнении (11), имеют место и менее существенные составляющие (расход-приход тепла за счет снеготаяния и замерзания, его поглощение в процессе фотосинтеза и т. п.). Однако сумма их значительно меньше любой из учитываемых уравнением (11) четырех составляющих.

Радиационный баланс деятельной поверхности или «остаточная радиация» рассчитывается как разность между приходом и расходом лучистой энергии:

$$R = S_c (1 - \alpha) - E_{\text{эф}} \quad (12)$$

Приход состоит из поглощенной $S_c(1 - \alpha)$ коротковолновой прямой и рассеянной радиации и поглощенной части $E_{\text{атм}}$ излучения атмосферы. Здесь S_c — суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация; α — отражательная способность поверхности (альbedo). Расходная часть баланса состоит из коротковолновой отраженной радиации αS_c и излучения поверхности почвы $E_{\text{п}}$. Известно, что

$$E_{\text{эф}} = E_{\text{п}} - \delta E_{\text{атм}}$$

где δ — поглощательная способность деятельной поверхности.

Если приходная часть радиационного баланса больше расходной, т. е. поверхность поглощает больше лучистой энергии, чем отражает и излучает, то радиационный баланс положительный; избыток полученной энергии расходуется на нагрев почвы и воздуха и на испарение с деятельной поверхности. Если же приходная часть радиационного баланса меньше расходной, то баланс отрицательный. В этом случае потеря энергии поверхностью возмещается теплом, отнимаемым ею от почвы и воздуха, и теплом, выделяющимся при конденсации на ней водяного пара.

В умеренных широтах положительный радиационный баланс характерен для дневных часов, особенно в теплое время года, отрицательный — для ночных или в зимнее время. Под воздействием орошения радиационный баланс сельскохозяйственного поля несколько возрастает (на 5—15%) за счет уменьшения альbedo и снижения эффективного излучения $E_{\text{эф}}$.

Радиационный баланс на сети гидрометеорологических станций измеряется с помощью балансомера. Для более точных характеристик баланса с помощью актинометра отдельно измеряется прямая солнечная радиация, а с помощью балансомера — баланс радиации без прямой.

Турбулентный поток тепла P связан с теплообменом между деятельной поверхностью и приземным слоем атмосферы. Этот теплообмен осуществляется благодаря наличию турбулентного

перемешивания. Турбулентный поток тепла в атмосфере зависит от скорости ветра и от разности температур деятельной поверхности и прилегающих к ней слоев атмосферы. Если температура деятельной поверхности выше температуры воздуха, то турбулентный поток тепла направлен от поверхности в воздух. Этот поток условно принято считать положительным.

Надежного метода экспериментального определения турбулентного теплообмена пока нет. Турбулентный поток тепла обычно рассчитывают на основании уравнения теплового баланса

$$P = \frac{(R - Q) \alpha_T \Delta T}{\alpha_T \Delta T + 1,56 \alpha_e \Delta e}, \quad (13)$$

где

$$\Delta T = T_{0,5} - T_{2,0}; \quad \Delta e = e_{0,5} - e_{2,0}.$$

Величины $T_{0,5}$; $T_{2,0}$; $e_{0,5}$; $e_{2,0}$ — температура и влажность воздуха, измеренные на высотах 0,5 и 2 м над поверхностью земли; о параметрах α_T и α_e будет сказано ниже. Формула применима при условии $(R - Q) \geq 0,1$ кал/см²·мин, положительных разностях температуры $\Delta T \geq 0,1^\circ$ и влажности $\Delta e \geq 0,1$ мбар. Если хотя бы одно из этих условий не выполняется, что возможно в ночное время, в утренние и вечерние часы, а иногда и днем при пасмурной погоде, расчет производится по формуле турбулентной диффузии

$$P = 1,35 k_{T,1} \Delta T, \quad (14)$$

где $k_{T,1}$ — коэффициент турбулентности (м²/с), характеризующий интенсивность вертикального переноса тепла на высоте 1 м от поверхности. Коэффициент $k_{T,1}$ зависит от измеренной разности скоростей ветра на двух уровнях: 2,0 и 0,5 м ($\Delta u = u_{2,0} - u_{0,5}$) и разности температуры на тех же уровнях. Экспериментальные данные по разностям температуры, влажности воздуха и скорости ветра, необходимые для расчета турбулентного потока тепла, получают путем градиентных измерений.

Расчет потока тепла в почве основан на данных об изменении температуры почвы с глубиной и по времени при известных теплофизических характеристиках почвы. Для точного определения этого потока следовало бы рассматривать весь слой почвы, в котором за данный интервал времени отмечается изменение температуры, однако для простоты иногда ограничиваются лишь глубиной 20 см. На этой глубине колебания температуры, как правило, еще не прекращаются, но основной теплообмен за короткие интервалы времени между сроками наблюдений совершается в пределах этого слоя.

Поток тепла в почве за интервал между двумя соседними сроками находится по результатам измерения температуры и влажности почвы до глубины 80 см по формуле

$$Q_1 = \frac{C}{\tau} N_1, \quad (15)$$

где C — средняя для слоя 0—80 см объемная теплоемкость почвы, определяемая с учетом измерений влажности почвы; τ — продолжительность интервала, за который находится поток Q_1 ; N_1 — величина, характеризующая изменение температуры 80-сантиметрового слоя почвы за интервал τ .

Если наблюдения проводятся только до глубины 20 см, то поток тепла в почве может быть рассчитан по формуле

$$Q_2 = \frac{C}{\tau} \left(N_1 - \frac{Q}{z_2 - z_1} N_2 \right), \quad (16)$$

где N_1 — величина, характеризующая изменение температуры 20-сантиметрового слоя почвы за интервал τ ; a — средний коэффициент температуропроводности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы; z_1 и z_2 — фиксированные глубины в этом слое, причем $z_2 > z_1$; N_2 — величина, характеризующая изменение во времени разности температур на глубинах z_2 и z_1 .

Формула (16) содержит член с N_2 , характеризующий поток тепла в почве ниже уровня z_1 и зависящий от средней теплопроводности слоя почвы до глубины z_1 и от разности температур на глубинах z_1 и z_2 . При расчете потока тепла по данным о температуре на глубинах 5, 10, 15, 20 см принимают $z_1 = 10$ см, $z_2 = 20$ см. При приближенных оценках вторым слагаемым в некоторых случаях можно пренебречь.

3.3. Тепловые мелиорации

В последние годы возрастает роль тепловой мелиорации. Она обычно применяется пока что на сравнительно небольших площадях для обогрева почвы и примыкающего к ней слоя воздуха. Прежде всего тепловая мелиорация осуществляется в оранжереях и теплицах, созданных не только из дорогостоящего и хрупкого стекла, но и гораздо более дешевых и удобных светопрозрачных полимерных пленок. Микроклимат пленочных укрытий достаточно хорошо изучен и полностью регулируем в соответствии со свето- и водопотребностью растений.

Наибольшие масштабы для применения тепловых мелиораций представляют естественные почвы (без укрытий). Здесь, в первую очередь, следует сказать об утепляющем действии органических удобрений. Тепло, возникающее в процессе разложения навоза,

повышает температуру пахотного слоя почвы, препятствует образованию водонепроницаемого слоя тающей почвы. Это увеличивает инфильтрационные способности почвы, снижает поверхностный сток с полей и уменьшает объем и интенсивность половодья.

Иногда обогрев почвы осуществляется электричеством с помощью экранирующих сеток и электрогрелок. Из-за большого расхода электроэнергии этот метод пока что применим лишь на малых площадях. Вопросы использования для обогрева почвы мульчи, пленок, полимерных пенообразователей и латексов был рассмотрен выше.

Некоторые приемы обработки почвы также оказывают влияние на ее температурный режим. Рыхление и прикатывание почвы способны ослабить или усилить ее тепловой контакт с нижележащими слоями. Создание ребристых поверхностей улучшает тепловой и воздушный режим почвы. Эти приемы уже находят применение на практике: гребневая посадка картофеля, создание гряд, почвенных валов в садах, траншейный способ выращивания винограда и т. д.

Наибольшее применение находят способы защиты растений от заморозков. Для дорогостоящих культур (фруктов, винограда, томатов и других теплолюбивых растений) используются малогабаритные обогревательные печи, работающие на нефтяных отходах, специальные шашки, дымовое облако которых ослабляет радиационное выхолаживание поверхности. Для тех же целей жгут хворост и солому, которые одновременно и отепляют окружающий воздух. Иногда в момент заморозков производят опрыскивание растений водой, повышающей температуру воздуха и поверхности растений. Более подробно об этом методе сказано в 1.2.6.

В последние годы все большее применение находит механическое перемешивание воздуха в зоне заморозков, возникших вследствие радиационного выхолаживания. Для этой цели используют либо отработавшие свои ресурсы авиамоторы, либо вертолеты. Их действие основывается на разрушении инверсии температуры в приземном слое. Вследствие этого увеличивается доступ более теплого воздуха верхних слоев в приземные слои, что снижает эффект выхолаживания подстилающей поверхности.

Особенно частым заморозкам подвержены сухие болотистые почвы (торфяники) вследствие их малой теплопроводности и теплоемкости. Для ослабления степени морозоопасности этих почв увеличивают их теплопроводность и теплоемкость путем смешивания с песком.

Для ускорения таяния снега выбранный участок посыпают сажой или каким-либо другим темным нетоксичным порошком. Для защиты озимых от вымерзания, как уже говорилось выше, можно интенсифицировать выпадение снега зимой из слоистой и слоисто-кучевой облачности, провести снегозадержание на полях, а также покрыть их жидкой незамерзающей пеной.

3.4. Методы расчета испарения

Существующие методы расчета испарения с сельскохозяйственных полей можно разделить на методы водного баланса, теплового баланса, комплексный, турбулентной диффузии, по данным измерений температуры и влажности воздуха на метеостанциях биологическим кривым водопотребления и эмпирическим формулам.

Сколько-нибудь подробное описание методов расчета испарения с сельскохозяйственных полей не может быть выполнено в рамках настоящего учебного пособия. Оно проводится в специальных работах и обзорных статьях, а также в других учебных курсах гидрологического профиля. Мы остановимся лишь на кратком упоминании их достоинств и недостатков, которыми может руководствоваться, выбирая тот или иной метод при выполнении расчетов в мелиоративных целях.

3.4.1. Метод водного баланса

В основе метода водного баланса лежит закон сохранения вещества (в данном случае, количества воды). Поэтому его физические предпосылки не вызывают сомнения. В ряде случаев (например, летом) расчет испарения с сельскохозяйственных полей по уравнению водного баланса (5) может оказаться простым, так как в расчетах можно пренебречь некоторыми составляющими (например, поверхностным и грунтовым стоком). В этом случае достаточно знать лишь осадки и изменение влагозапасов почвы. За бездождный период испарение равно изменению влагозапасов (при залегании уровня грунтовых вод глубже 2—3 м и незначительном их участии в подпитывании зоны аэрации).

Однако метод водного баланса далеко не универсален: он таит в себе ряд недостатков, снижающих его точность и ограничивающих сферу применения. К числу таких трудностей относятся: а) неточность измерения осадков в точке из-за систематических погрешностей осадкомеров, о чем было сказано выше; б) неравномерное выпадение осадков по площади; в) большая горизонтальная изменчивость влагозапасов почвы; г) сложности учета поверхностного стока с полей и водообмена корнеобитаемого слоя почвы с нижележащими слоями.

Несмотря на эти недостатки метод водного баланса по сей день является основным для определения испарения с сельскохозяйственных полей.

3.4.2. Метод расчета по температуре и влажности воздуха

В основе этого метода лежат построенные по эмпирическим данным графики связи испарения с температурой и влажностью

воздуха, измеренными на метеостанции в психрометрической будке*.

По среднемесячным и среднегодовым значениям температуры и влажности воздуха (рис. 21) с введением в них поправок, обусловленных инерционностью тепло- и влагообмена между деятельной поверхностью и уровнем измерений этих элементов на метеостанциях (рис. 22) рассчитывается испарение с больших однородных территорий. Если учесть еще вид культуры и фазу её развития, то можно с помощью вспомогательных графиков рассчитать испарение за разные периоды вегетации отдельных сельскохозяйственных культур (например, яровых зерновых культур, рис. 23), а также испарение с почвы, затененной стеблестоем культуры. Разность суммарного испарения и испарения с затененной почвы позволяет определить транспирацию культуры.

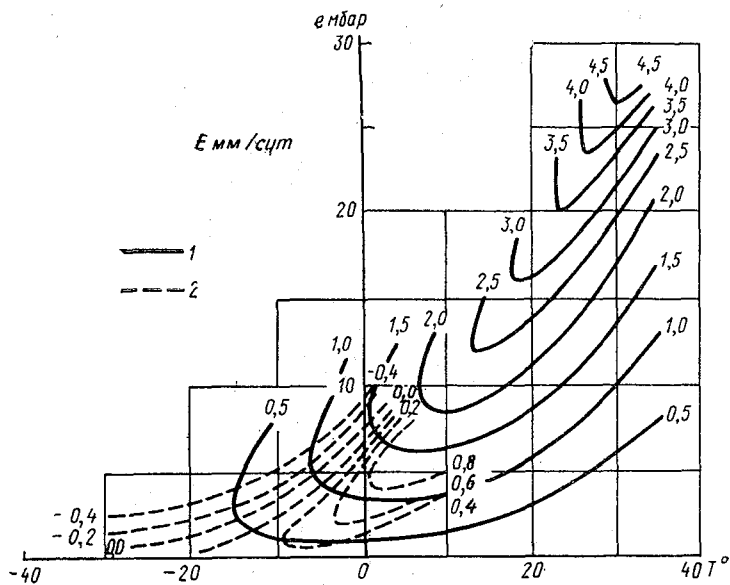


Рис. 21. График для расчета величин испарения (мм/сут) с почвы (1) и снега (2) по исправленным средним значениям температуры и влажности воздуха

Расчеты испарения по упомянутому методу являются наиболее простыми и наименее трудоемкими. Они не требуют каких-либо специальных наблюдений, кроме тех, которые обычно ведутся на метеостанциях. Точность расчетной методики примерно такая же, как и точность методов водного и теплового балансов. Однако

* В настоящее время метод существенно уточнен путем использования при расчетах дополнительной информации об осадках, скорости ветра, облачности и высоте солнца.

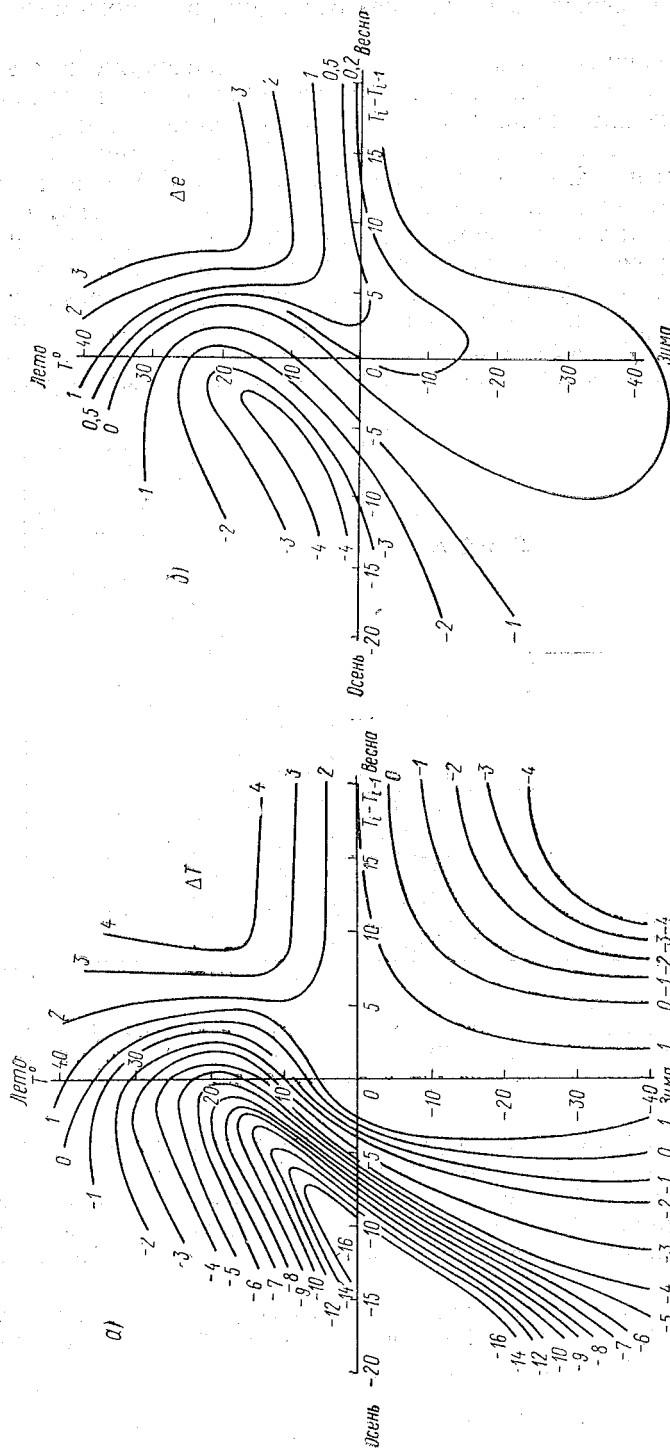


Рис. 22. Зависимость поправки на сезонный ход температуры воздуха ΔT (а) и упругости водяного пара Δe (б) от измененной среднемесячной температуры T° и разности температур за расчетный T_i и предыдущий T_{i-1} месяцы.

эта точность заметно снижается при расчетах испарения в условиях с резкой контрастностью подстилающей поверхности (поле, вода, болото, лес и т. п.) при выраженной адвекции. В условиях

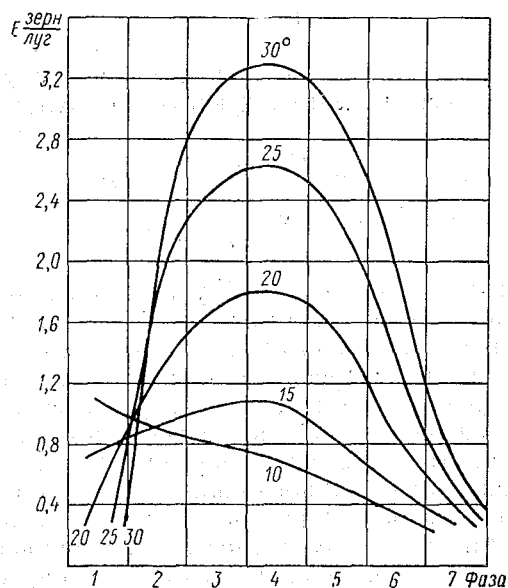


Рис. 23. Сезонный ход отношения величин испарения с яровых зерновых культур к величинам испарения с луга при различных температурах воздуха:

1 — фаза возобновления вегетации; 2 — выход в трубку; 3 — колошение; 4 — цветение; 5 — молочная спелость; 6 — восковая спелость; 7 — полная спелость

недостаточного увлажнения особенно заметно искажающее влияние водоемов. Это влияние может быть специально учтено, однако трудоемкость методики от этого возрастает.

3.4.3. Метод теплового баланса

Испарение может быть рассчитано методом теплового баланса, т. е. по соотношению

$$E = \frac{1}{L} (R - P - Q). \quad (17)$$

Приведенное уравнение пригодно для расчета испарения за любые промежутки времени и с любых поверхностей, в том числе и с сельскохозяйственных полей, если предварительно определены

величины других составляющих теплового баланса. Для средне-годовых расчетов можно использовать упрощенную формулу

$$E = \frac{1}{L} (R - P). \quad (18)$$

Чаще всего на практике для определения испарения методом теплового баланса используют следующую формулу:

$$E = \frac{R - Q}{L \left(1 + 0,64 \frac{\alpha_r}{\alpha_e} \frac{\Delta T}{\Delta e} \right)} \text{ мм/ч.} \quad (19)$$

Хотя этот метод в основе своей универсален, опыт использования показывает ограниченность условий его надежного применения, вызванных следующими обстоятельствами: а) большие ошибки определения испарения в вечерние, ночные и утренние часы, а также в пасмурные дни, поскольку погрешности определения других составляющих баланса сопоставимы в эти периоды с величинами затрат тепла на испарение; б) большая трудоемкость определения радиационного баланса и теплообмена в почве, требующая специальной аппаратуры и вычислительных навыков; в) пространственная несовместимость радиационного баланса и теплообмена в почве, измеряемых в точке, с градиентами температуры и влажности воздуха, формирующимися над большими площадями; г) временная несовместимость радиационного баланса, измеренная величина которого соответствует мгновенному значению элемента, тогда как величина потоков тепла в почву и градиенты температуры и влажности воздуха формируются на протяжении значительного отрезка времени; д) использование при расчете «соотношения Боуэна» (что соответствует принятию $\alpha_r = \alpha_e = \alpha_u = 1$), которое в природе не всегда выполняется.

Несмотря на эти узкие места метод теплового баланса находит все более и более широкое применение в практике, особенно в тех случаях, когда требуется детальное исследование процесса испарения, его суточных сумм и суточного хода.

По данным актинометрических наблюдений в ясную погоду в околополуденные часы интенсивность суммарной радиации в степной части ЕТС в июне составляет примерно 1,30 кал/см²·мин. Около 22% этого количества суммарной радиации листья растений отражают, около 25% пропускают. Таким образом, каждый квадратный сантиметр листа поглощает в 1 мин около 0,7 кал суммарной радиации.

Часть тепла, образовавшегося за счет поглощенной радиации, теряется путем излучения. Эти потери в указанных условиях составляют около 0,3 кал/см²·мин. Таким образом, на нагревание листовой поверхности должно идти 0,4 кал/см²·мин. Принимая

массу 1 см^2 листа равной $0,02 \text{ г}$, а теплоемкость равной $0,9 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$, получим, что при отсутствии транспирации и турбулентного теплообмена лист должен за 1 мин нагреваться на 22° . В результате такого сильного нагревания лист через несколько минут достиг бы гибельной температуры. Однако, как следует из многочисленных данных, температура поверхности растений сравнительно мало отличается от температуры окружающего воздуха. Освещенная сторона растений обычно имеет более высокую температуру, чем воздух, а теневая сторона характеризуется температурой, либо близкой к температуре воздуха, либо несколько меньшей ее. Средняя температура поверхности растений при солнечном свете, как правило, превышает температуру окружающего воздуха.

Принимая, согласно экспериментальным данным, затрату тепла на турбулентный теплообмен (при достаточном увлажнении почвы) равной в рассматриваемом районе примерно 30% затраты тепла на испарение, приходим к выводу, что для ликвидации опасного повышения температуры лист должен испарять (при температуре воздуха 30°) примерно $0,5 \times 10^{-3} \text{ г}$ воды с 1 см^2 за 1 мин, или около $0,3 \text{ мм/ч}$. Примерно такое испарение растениями в фазы активной вегетации наблюдается в полуденные часы в степной части ЕТС.

3.4.4. Комплексный метод расчета испарения

Комплексные методы расчета испарения с поверхности суши основываются на использовании уравнения водного баланса с привлечением отдельных элементов уравнения теплового баланса (главным образом при определении величины максимально возможного испарения). В СССР методику, вытекающую из совместного анализа уравнения теплового и водного баланса, в частности предложил М. И. Будыко. В методике рассматриваются две стадии испарения с почвы: первая соответствует оптимально увлажненной почве, испарение с которой равно испаряемости, а вторая — недостаточно увлажненной почве с влажностью ниже критической.

Используя линейную зависимость интенсивности испарения с почвы от величины активных влагозапасов, М. И. Будыко предложил следующую расчетную схему:

$$E = E_0 \quad \text{при} \quad \frac{W_1 + W_2}{2} \geq W_0; \quad (20)$$

$$E = E_0 \frac{W_1 + W_2}{2W_0} \quad \text{при} \quad \frac{W_1 + W_2}{2} < W_0. \quad (21)$$

Здесь E и E_0 — месячные суммы испарения и испаряемости; $\frac{W_1 + W_2}{2}$ — среднее за месяц количество продуктивных влагозапа-

сов в двухметровом слое почвы; W_1 и W_2 — продуктивные влагозапасы соответственно в начале и конце месяца; W_0 — критические продуктивные влагозапасы в двухметровом слое почвы, при которых и выше которых испарение E равно испаряемости E_0 .

Продуктивные влагозапасы в конце месяца вычисляются по формулам:

$$W_2 = \frac{c}{a} \quad \text{при} \quad \frac{W_1 + W_2}{2} < W_0; \quad (22)$$

$$W_2 = W_1 + H + S - E_0 \quad \text{при} \quad \frac{W_1 + W_2}{2} \geq W_0, \quad (23)$$

где $c = W_1 b + H - S$; $b = 1 - \frac{E_0}{2W_0}$; $a = 1 - \frac{E_0}{2W_0}$;

H и S — средние многолетние месячные суммы осадков и стока.

Метод применим для сравнительно больших территорий. Для отдельных сельскохозяйственных полей его использование не вполне целесообразно. Расчеты испарения этим методом трудоемки, недостатки методов водного и теплового баланса почвы в полном объеме относятся и к этому методу. Наиболее узким местом метода является использование упомянутой линейной зависимости (21), далеко не всегда выполняющейся в природе, особенно на мелиорируемых землях (при больших влагозапасах).

3.4.5. Метод турбулентной диффузии

Как известно, в природе наблюдаются два режима течений жидкостей и газов — ламинарный и турбулентный. Ламинарный поток характеризуется устойчивыми скоростью и направлением течения и почти полным отсутствием завихрений, турбулентный — хаотическими пульсациями скорости и направления в каждой точке потока. Чем больше начальная завихренность ламинарного потока и чем выше шероховатость поверхности, вдоль которой движется жидкость или газ, тем раньше ламинарный режим потока переходит в турбулентный. Степень завихренности воздушного потока в атмосфере и шероховатость земной поверхности таковы, что обуславливают ранний переход ламинарного течения в турбулентное, в связи с этим в обычных условиях в атмосфере имеет место турбулентный режим течений, который особенно развит днем.

Неровности земной поверхности и неравномерное нагревание различных ее участков, а также изменение с высотой скорости ветра и температуры воздуха вызывают непрерывное и беспорядочное перемещение во всех направлениях вихрей разных размеров. Это беспорядочное перемещение отдельных объемов воздуха называют турбулентным перемешиванием. В процессе перемешивания

вания турбулентные вихри переносят с собой тепло, водяной пар, пылинки, количество движения и другие свойства. В частности, они осуществляют интенсивный теплообмен и влагообмен между поверхностью и атмосферой.

Интенсивность влагообмена, теплообмена и обмена других субстанций между поверхностью и атмосферой зависит от интенсивности турбулентного перемешивания и распределения данной субстанции с высотой. Интенсивность турбулентного перемешивания количественно характеризуется коэффициентом обмена k . При этом скорость испарения выразится формулой

$$E = -\rho k_e \frac{\partial q}{\partial z} = -\rho \delta \alpha_e k \frac{\partial e}{\partial z}, \quad (24)$$

где ρ и q — плотность и удельная влажность воздуха; e — упругость водяного пара; δ — размерный коэффициент; k_e — коэффициент обмена для потока водяного пара.

Для атмосферных процессов в приземном слое характерны три состояния устойчивости. Устойчивое или инверсионное состояние преобладает в ночные часы, а также в другие периоды, когда наблюдается рост температуры с высотой. В этих случаях интенсивность турбулентного обмена резко снижается, что часто сопровождается обратным градиентом влажности воздуха, обуславливающим конденсацию водяного пара на подстилающей поверхности.

Равновесному, или безразличному, состоянию свойственно постоянство температуры воздуха с высотой. В этом случае говорят о температурно-однородной атмосфере.

Сверхравновесному состоянию соответствует повышение температуры с приближением к подстилающей поверхности, развитая турбулентность, интенсивный турбулентный тепло- и влагообмен поверхности с атмосферой.

Коэффициент обмена в температурно-однородной атмосфере, согласно теории Прандтля—Кармана, может быть представлен в виде

$$k = \kappa^2 z^2 \frac{\partial u}{\partial z}, \quad (25)$$

где κ — безразмерный параметр (постоянная Кармана); u — скорость ветра.

Теоретически, а также на основании многочисленных экспериментальных данных установлено, что при равновесном состоянии атмосферы скорость ветра растет пропорционально логарифму высоты z и обращается в ноль не на самой поверхности, а на некоторой высоте над ней z_0 , зависящей от размера, густоты и формы элементов шероховатости. При близкой к равновесной

стратификации атмосферы скорость ветра на различных высотах определяют обычно по формуле

$$u = \frac{v_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0}, \quad (26)$$

где v_* — динамическая скорость, равная $\sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ (τ — турбулентное напряжение трения).

Величина $\frac{\partial u}{\partial z}$, необходимая для расчета коэффициента обмена k , определяется из соотношения

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{u_2 - u_1}{z \ln \frac{z_2}{z_1}}. \quad (27)$$

Отсюда выражение для расчета коэффициента обмена при близкой к равновесной стратификации в приземном слое (по данным измерений скорости ветра на двух высотах) будет иметь вид

$$k = \kappa^2 z \frac{u_2 - u_1}{\ln \frac{z_2}{z_1}} \quad (28)$$

или в частном случае, если полагать $z_1 = z_0$,

$$k = \kappa^2 z \frac{u}{\ln \frac{z}{z_0}}. \quad (29)$$

Учитывая подобие в вертикальном распределении метеорологических элементов в пределах приземного слоя атмосферы, можно рассчитать вертикальный градиент любой субстанции, а следовательно, и влажность воздуха при равновесных условиях по следующей формуле:

$$\frac{\partial q}{\partial z} = -\delta \frac{e_1 - e_2}{z \ln \frac{z_2}{z_1}}, \quad (30)$$

где $\delta = \frac{0,622}{p - 0,878e} \approx 0,62 \cdot 10^{-3} \text{ 1/мбар}$.

Подставив k из (28) и $\frac{\partial q}{\partial z}$ из (30) в формулу (24), получим выражение для расчета вертикального потока водяного пара E при близкой к равновесной стратификации атмосферы:

$$E = \rho \kappa^2 \delta \frac{u_2 - u_1}{\ln \frac{z_2}{z_1}} \frac{e_3 - e_4}{\ln \frac{z_4}{z_3}}. \quad (31)$$

Температурная стратификация оказывает большое влияние на интенсивность вертикального переноса различных субстанций в воздухе. От нее зависят формы профилей метеорологических элементов, а следовательно, и соответствующие вертикальные градиенты, интенсивность тепло- и массообмена.

В настоящее время имеется ряд схем, по разному учитывающих влияние стратификации на вертикальные профили метеорологических элементов. К их числу можно отнести обобщенные логарифмический и степенной законы, экспоненциальный и универсальный законы изменения метеорологических элементов с высотой. Поскольку для выполнения расчетов интенсивности испарения или вертикального потока других субстанций необходимы не столько профили метеорологических элементов, сколько их производные, т. е. градиенты, то более важно знать отличие истинных производных по высоте соответствующих метеорологических элементов при любой температурной стратификации от производных, рассчитанных по основному, т.е. логарифмическому закону. Если обозначить градиент метеорологического элемента M , определяемого по логарифмическому закону, через $(\partial M/\partial z)_{\text{лн}}$, а истинный градиент —

через $\frac{\partial M}{\partial z}$, то соотношение между ними можно представить в виде

$$\frac{\partial M}{\partial z} = \gamma \left(\frac{\partial M}{\partial z} \right)_{\text{лн}}, \quad (32)$$

где величину γ можно назвать поправочным коэффициентом, характеризующим отличие естественных профилей метеорологических элементов от логарифмических (рис. 24).

Расчеты потоков тепла, влаги и количества движения методом турбулентной диффузии (24) и теплового баланса (11) требуют знания соотношения коэффициентов обмена для различных субстанций M . Для учета этого обстоятельства вводят параметры

$\alpha_T = \frac{k_T}{k}$ для потока тепла, $\alpha_e = \frac{k_e}{k}$ — для потока водяного пара,

$\alpha_u = \frac{k_u}{k}$ — для потока количества движения. Коэффициенты α_T ,

α_e и α_u определяются из эксперимента. В ряде работ содержатся рекомендации по значению этих величин. Без учета этих параметров использование расчетных методов турбулентной диффузии

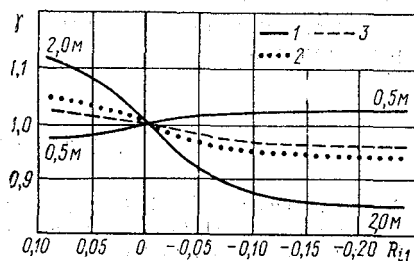


Рис. 24. Зависимость поправочного коэффициента γ , определенного по профилю скорости ветра, от устойчивости стратификации и высоты над земной поверхностью:

1 — над лугом ($z = 0,5$ м и $2,0$ м); 2 — над паровым полем ($z = 1,0$ м); 3 — над водной поверхностью ($z = 1,0$ м)

рекомендуется только при состояниях атмосферы, близких к равновесному.

Расчет испарения методом турбулентной диффузии, основывающийся на использовании закономерностей турбулентного обмена в приземном слое атмосферы, получил у нас в стране достаточно широкое распространение. Метод позволяет определять часовые, суточные, месячные и годовые величины испарения с любого вида поверхности, включая и сельскохозяйственные поля небольших размеров. Необходимо лишь, чтобы воздушный поток проходил над однородной поверхностью от кромки поля до места производства градиентных измерений расстояние не менее 200—300 м. При необходимости расчета испарения с полей меньших размеров приходится обычно снижать уровень градиентных измерений скорости ветра, температуры и влажности воздуха.

При соблюдении соответствующих инструктивных указаний точность расчета испарения методом турбулентной диффузии примерно равна точности расчета испарения методами водного и теплового баланса. Этим методом обычно пользуются в тех случаях, когда имеются надежные данные градиентных измерений. Чаще всего это бывает в научно-исследовательских работах.

Расчет испарения по эмпирическим формулам будет рассмотрен в следующих учебных пособиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аскоченский А. Н. Орошение и обводнение в СССР. М., 1967. 213 с.
2. Костяков А. Н. Основы мелиорации. М., 1960. 621 с.
3. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. Л., 1975. 370 с.
4. Алпатов А. И. Влагодобор культурных растений. Л., 1954. 248 с.
5. Константинов А. Р., Астапова Н. И., Левенко А. А. Методы расчета испарения с сельскохозяйственных полей. Л., 1971. 125 с.
6. Константинов А. Р. Погода, почва и урожай озимой пшеницы. Л., 1978. 263 с.
7. Мезенцев В. С. Расчеты водного баланса. Омск, 1976. 73 с.
8. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. Л., 1976. 295 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие	3
Введение	4
Глава I. Виды мелиораций	9
1.1. Борьба с засушливыми явлениями	9
1.1.1. Способы борьбы с засушливыми явлениями	9
1.1.2. Искусственные осадки	11
1.1.3. Защита от солнечной радиации	12
1.1.4. Применение депрессоров испарения	13
1.1.5. Лесные полосы	14
1.1.6. Снегозадержание	20
1.2. Способы орошения и назначение поливов	21
1.2.1. Основные элементы оросительных систем	21
1.2.2. Поверхностное орошение	23
1.2.3. Орошение дождеванием	25
1.2.4. Подпочвенное орошение	30
1.2.5. Лиманное орошение	30
1.2.6. Назначение поливов	31
1.2.7. Сравнительная оценка способов орошения	33
Глава II. Водный режим сельскохозяйственных полей	38
2.1. Водные свойства и водный режим почв	38
2.2. Водный режим растений	43
2.3. Водный баланс сельскохозяйственных полей	45
2.3.1. Приборы для измерения испарения	47
2.3.2. Способы измерения притока и оттока оросительной воды	52
2.3.3. Приборы для измерения осадков	54
Глава III. Тепловой режим сельскохозяйственных полей	57
3.1. Температурный режим поля	57
3.2. Тепловой баланс поля	63
3.3. Тепловые мелиорации	66
3.4. Методы расчета испарения	68
3.4.1. Метод водного баланса	68
3.4.2. Метод расчета по температуре и влажности воздуха	68
3.4.3. Метод теплового баланса	71
3.4.4. Комплексный метод расчета испарения	73
3.4.5. Метод турбулентной диффузии	74
	79

*КОНСТАНТИНОВ АЛЕКСЕЙ РОДИОНОВИЧ
СУББОТИН АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ*

Водный и тепловой режим орошаемых полей

Редактор *З. Б. Ваксенбург*

Корректоры *Т. Л. Кувшинская, Е. А. Мошникова*

М-26395 Сдано в набор 15.1.1979 г. Подп. к печати 3.08.1979 г. Зак. 182.
Формат бумаги 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 1. Тираж 700 экз.
Темплан 1979 г., поз. 1281. Объем 5,0 п. л. Уч.-изд. л. 5,0. Цена 25 коп.
Издание ЛПИ имени М. И. Калинина. 195251, Ленинград, Политехническая, 29.

Типография 6 ВОК ВМФ