

## Лекция 11. Общие сведения об оросительных мелиорациях

1. Сущность и цель оросительных мелиораций.
2. Водопотребление сельскохозяйственных культур.
3. Классификация режимов орошения
4. Особенности разработки режимов орошения
5. Элементы режима орошения

### 1. Сущность и цель оросительных мелиораций

Оросительные мелиорации, как один из основных видов сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций, представляют собой комплекс инженерных, агротехнических, природоохранных и организационных мероприятий, которые обеспечивают оптимальный водный режим в корнеобитаемом слое почвы (испытывающей в естественных условиях недостаток влаги).

Исходя из определения можно сделать вывод о том, что оросительные мелиорации требуются, прежде всего, в тех регионах, где ощущается постоянный недостаток влаги в естественных условиях.

Орошаемые земли в мире занимают около 1/5 всей пашни (всего 1,3 млрд. га), дают до 1/2 общей продукции земледелия.

Площадь орошаемых земель в странах мира в последние 200 лет постоянно росла и увеличилась более чем в 35 раз и в настоящее время составляет более 310 млн. га (Азия – 237, Америка – 52. Европа – 26, Африка – 15, Австралия и Океания – 2 млн. га).

**Доля площади орошаемых земель:** Азия более 70%, Северная Америка и Южная Америка - 16%, Европа - 8%, Африка - 5%, Океания - 1% (данные FAO - 2020 год).

Первое место в мире по темпам развития орошения уверенно занимает Индия, где площадь орошения доведена до 68 млн. га. В Китае орошаются 48 % обрабатываемых земель (68 млн. га).

Таблица 12.1. Топ-20 стран с наибольшей площадью орошаемых земель (2020 г.)

Страна	Площадь орошаемых земель, млн. га
1. Индия	68
2. Китай	68
3. США	27
4. Пакистан	20
5. Иран	9
6. Мексика	6,3
7. Турция	5,2
8. Таиланд	4,9
9. Бангладеш	4,7
10. Россия	4,7
....	
12. Узбекистан	4,3
13. Испания – 3,5	3,8
14. Казахстан	3,6
17. Румыния – 3,0	3,1
20. Италия - 3...3,5	2,8
Итого	235,4

Вместе с тем оросительные мелиорации в последнее время значительно продвинулись на север, «захватив» в том числе и Республику Беларусь. Это объясняется тем, что территорию республики наиболее правильно будет отнести к зоне неустойчивого увлажнения. Осадки выпадают здесь неравномерно, и их часто не хватает для создания оптимальных условий для растений в отдельные периоды не только засушливых, средних, но и более влажных лет. Периодический недостаток почвенной влаги отрицательно сказывается на продуктивности влаголюбивых сельскохозяйственных культур, особенно возделываемых на минеральных почвах, где от засух урожай овощей и трав снижается иногда в 1,5–2 раза.

Целесообразность и эффективность орошения сельскохозяйственных угодий в республике обосновывается положительным производственным опытом проведения этого мероприятия как на собственных, так и на соседних территориях (Польша, Германия, Скандинавские страны).

Начало производственного орошения в условиях Беларуси приходится на середину шестидесятых годов прошлого столетия. Через тридцать лет (в конце 90-х) в хозяйствах страны оросительные системы имелись на площади более 150 тыс. га. На всей этой площади применялось дождевание. Причем для полива использовались и используются как природные, условно чистые воды, так и сточные воды животноводческих комплексов.

Поскольку срок службы поливной техники ограничен, на 1 января 2006 г. площадь орошаемых земель сократилась до 114 тыс. га, а на 1 января 2010 г. оросительные системы в работоспособном состоянии находились на площади 8,3 тыс. га и на 7,6 тыс. гектаров нуждались в реконструкции и восстановлении.

Среди перечня задач, которые необходимо решить для повышения эффективности орошаемого земледелия, первое место принадлежит правильному выбору объектов для строительства оросительных систем. Выбор объектов орошения в условиях республики необходимо проводить в два этапа. На первом в качестве ограничений должны выступать заданные энергетические и материальные ресурсы, необходимые объемы и структура дополнительной сельскохозяйственной продукции, а в качестве критерия сравнения – экономические показатели, например приведенные затраты.

Главная цель оросительных мелиораций является воспроизводство почвенного плодородия для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур посредством регулирования водно-воздушного режима в условиях недостатка естественной влаги.

## **2. Водопотребление сельскохозяйственных культур**

Требования сельскохозяйственных культур к водному режиму почвы ограничивается верхней и нижней границей биологически оптимальной влажности. Кроме этих границ для расчета режима орошения необходимо знать водопотребление (эвапотранспирацию) орошаемого сельскохозяйственного поля. *Эвапотранспирация* представляет собой суммарный расход влаги полем, занятым той или иной сельскохозяйственной культурой. В него включается транспирация растений и испарение с поверхности почвы – *эвапорация*.

Наиболее достоверные данные о водопотреблении растений получают путем непосредственных полевых измерений, изучения водного и теплового балансов. В этом случае обязательны длительные и многочисленные наблюдения в различных почвенно-

климатических и хозяйственных условиях. При отсутствии таких опытных данных, на получение которых необходимо затрачивать много труда и времени, прибегают к расчету величины водопотребления, используя различные методы.

*Метод водного баланса* определения водопотребления основан на использовании уравнения водного баланса орошаемого поля и решении этого уравнения относительно величины эвапотранспирации. Точность определения водопотребления методом водного баланса в большой степени зависит от точности определения (измерения) входящих в уравнение составляющих. Метод рекомендуется при глубоком залегании грунтовых вод. Недостаток метода водного баланса заключается в том, что он дает лишь осредненные величины эвапотранспирации, не выявляя зависимость водопотребления от биологических, погодных и других факторов жизни растений.

*Метод водного баланса монолитов* при определении водопотребления подразделяется на *метод испарителей* и *метод лизиметров*. Метод испарителей основан на использовании сосудов (цилиндров) с водонепроницаемым дном и стенками, в которые помещают почвенные монолиты. Водопотребление определяют по изменению массы почвенного монолита испарителя с произрастающей на нем сельскохозяйственной культурой за конкретные промежутки времени. Метод лизиметров в отличие от метода испарителей учитывает вертикальный влагообмен в монолите. С этой целью в лизиметрах автоматически поддерживается нужная глубина грунтовых вод с помощью воды во внешнем сосуде. Расход воды из почвенного слоя лизиметра можно рассчитывать по изменению влажности почвы во времени взятием почвенных образцов или другими известными способами. *Метод теплового баланса* основан на использовании уравнения теплового баланса поверхности земли и решении этого уравнения относительно величины водопотребления

$$E = (R - B - S) / L, \quad (12.1)$$

где  $R$  – радиационный баланс;

$B$  – теплообмен в почве (количество тепла, идущее на нагревание почвы);

$S$  – турбулентный теплообмен поля с атмосферой;

$L$  – скрытая теплота испарения (парообразования).

Метод позволяет определить водопотребление за короткие промежутки времени. Он наиболее удобен для изучения взаимосвязи его с основными составляющими тепло- и влагообмена. Однако широкое применение метода ограничено в связи с трудоемкостью и громоздкостью нахождения составляющих уравнения теплового баланса, большими ошибками в определении водопотребления в вечерние, ночные и утренние часы, а также в пасмурные дни.

*Расчетные методы* основаны на установлении корреляционной зависимости между эвапотранспирацией и одним или группой показателей, определяющих величину водопотребления.

До настоящего времени в практике находит применение метод А. Н. Костякова, основанный на использовании плановой урожайности и коэффициента водопотребления (табл. 12.1), который получают опытным путем. Водопотребление  $E$  находят по зависимости

$$E = K_b Y, \quad (12.2)$$

где  $K_b$  – коэффициент водопотребления (количество единиц воды, потребляемое на выращивание единицы урожая) данной культуры, отвечающий определенным климатическим условиям, уровню плодородия почвы, агротехнике и урожайности;

$Y$  – планируемая урожайность.

Таблица 12.2. Коэффициенты водопотребления овощных культур в зависимости от урожая

Культура	У, т/га	$K_b$ , м <sup>3</sup> /т
Капуста ранняя	25	90
	40	70
Капуста поздняя	40	90
	90	40
Томаты, огурцы	15	220
	25	140
Лук	10	250
	20	130
Морковь	30	120
	50	70
Свекла	25	120
	40	80

Коэффициенты водопотребления уменьшаются с повышением плодородия почвы и увеличением урожая с единицы площади. Они зависят от большого количества факторов (метеоусловий, уровня агротехники, сорта растений, урожайности, плодородия и др.) и изменяются в больших пределах, что затрудняет получение их соответствующих значений. Кроме того, этот метод не может быть использован для определения водопотребления в отдельные периоды вегетации растений.

Наиболее распространены методы расчета водопотребления с помощью биологических кривых. Это наиболее обоснованный и универсальный подход. При этом учитываются все основные факторы, определяющие величину водопотребления сельскохозяйственных культур: их биологические особенности, погодные условия и влаготпасы почвы.

Во многих странах при расчетах водопотребления и поливного режима широко применяется биоклиматический метод, теоретически обоснованный А. М. Алпатьевым и доведенный С. М. Алпатьевым до практического применения. Согласно этому методу водопотребление за  $i$ -й период рассчитывается по формуле

$$E_i = K_i \sum d_i, \quad (12.3)$$

где  $K_i$  – биологический коэффициент водопотребления, изменяющийся в онтогенезе (по расчетным  $i$ -м периодам) по характерной для каждого вида растений кривой, мм/мб;

$\sum d_i$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за рассматриваемый  $i$ -й период, мб.

Дефицит влажности воздуха представляет разность между упругостью насыщенного пара при данной температуре и упругостью фактически содержащегося в воздухе водяного пара и измеряется в миллибарах.

По формуле С. М. Алпатьева водопотребление можно найти как в целом за период вегетации, так и за отдельные периоды (месяц, декада, пентада, сутки). Точность определения величины водопотребления в значительной степени зависит от точности применяемых биологических коэффициентов.

Эти коэффициенты имеют не только зональную, но и погоднo-климатическую вариацию, т. е. в условиях одной и той же зоны изменяются в зависимости от погодных условий, что необходимо учитывать при расчетах водопотребления (рис.12.1). Поэтому биологические коэффициенты зачастую называют биоклиматическими.

В целом при выборе метода определения водопотребления сельскохозяйственных культур необходимо учитывать также простоту его использования и наличие требуемых исходных данных для расчетов. Во всех рассмотренных методах в основу поддержания оптимального водного режима положены традиционные способы орошения (дождевание, поверхностное орошение), которые обеспечивают увлажнение всей поверхности поля.

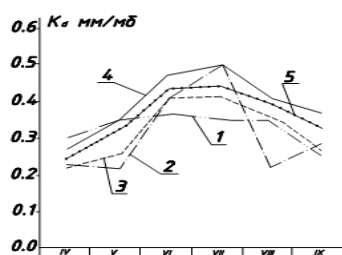


Рис 12.1. Изменение биоклиматических коэффициентов (мм/мб) суммарного испарения яблоневым садом по данным различных авторов:

- 1 – С. А. Яковлев (схема посадки 10×10 м, возраст 21–25 лет, Запорожская область);  
2 – И. С. Флюрце (4×2,5 м, 2–4 года, Молдавия); 3 – В. И. Статюк (7×7 м, 12–14 лет, Украина); 4 – М. Г. Голченко, Т. Д. Лагун (6×4 м, 2–4 года, Беларусь)

При применении других способов орошения, например внутрпочвенного или капельного, испарение с поверхности почвы сводится к минимуму, а водопотребление зависит в основном лишь от транспирации растений. В данном случае водопотребление можно установить методами непосредственного измерения или с помощью поправочных коэффициентов.

### 3. Классификация режимов орошения

В широком понимании режим орошения сельскохозяйственных культур – это совокупность поливных и оросительных норм, сроков и количества поливов, их распределение внутри вегетационного периода, а также продолжительность поливных и межполивных интервалов при конкретных климатических, почвенных и агротехнических условиях.

Для севооборотных участков, кроме того, важным элементом режима орошения является расчетная величина ординаты укомплектованного графика гидромодуля. Режим орошения (поливной режим) является основой для составления проектов орошения земель, так как от него зависят размеры, конструкция и характер работы оросительных

систем.

В зависимости от целей применения, способов установления и других условий режимы орошения могут различаться по многим признакам. В зоне неустойчивого увлажнения необходимо учитывать приведенные ниже критерии и показатели.

*Степень укрупнения.* Режимы орошения могут укрупняться по культурам, почвам, площади и во времени.

Различают по этому признаку индивидуальный и групповой режимы орошения. *Индивидуальный режим* орошения рассчитывается для конкретной сельскохозяйственной культуры с учетом почвенно-климатических и других условий, а также техники и технологии полива. Это основной вид режима орошения, который является базой для всех других. *Групповой режим* орошения рассчитывается (разрабатывается) для совокупности культур в севообороте с учетом структуры посевных площадей. Выражается он чаще всего динамикой изменения во времени оросительного гидромодуля или величиной средневзвешенной оросительной нормы на один структурный гектар севооборотной площади.

Режимы орошения могут определяться для конкретной почвенной разновидности или как средневзвешенные для основных разновидностей почв, на которых выращивается одна или несколько культур.

По площади (масштабам применимости) режимы орошения могут разрабатываться в привязке к конкретному орошаемому массиву или метеостанции, по данным которых они рассчитываются, а также как средневзвешенные для определенных территорий: административных структурных единиц (республика, область), гидролого-климатических зон, речных бассейнов, природно-экономических районов.

Под укрупнением во времени имеется в виду разработка режимов орошения для групп лет различной естественной увлажненности (сухих, средних, влажных и т. д.) или для лет конкретной обеспеченности.

*Критерии оптимальности.* Выделяют следующие режимы орошения: биологически оптимальные, экономически обоснованные, экономически целесообразные, агроэкологически сбалансированные, хозяйственно-возможные и под планируемый (программируемый) урожай.

*Биологически оптимальный* – это такой режим орошения, который обеспечивает оптимальные водный и воздушный режимы почв, создавая условия для получения максимально возможной урожайности в определенной природной среде и при определенном способе полива.

*Экономически обоснованный* режим орошения должен быть подтвержден технико-экономическими расчетами. Он разрабатывается для проектируемых оросительных систем с целью оптимизации их параметров, обоснования площадей и объемов воды для орошения.

*Экономически целесообразный* режим орошения применяется тогда, когда лимитирующим фактором являются ресурсы (чаще всего ограничивается водоподача), но орошение все еще экономически целесообразно.

*Агроэкологически сбалансированный* режим орошения имеет место, когда при проведении поливов исключены переувлажнение, эрозия, поверхностный и внутрипочвенный сток из расчетного слоя (слоя регулирования почвенных влагозапасов).

При этом гарантируется заданный водный режим почвы и созданы условия для воспроизводства почвенного плодородия по всей орошаемой площади.

*Хозяйственно-возможный* режим орошения формируется с учетом наличия трудовых ресурсов, их квалификации, оснащенности хозяйств сельскохозяйственной и поливной техникой и характеризуется, как правило, заниженным количеством поливов. Однако он не должен быть хуже экономически целесообразного.

Режим орошения может быть разработан также под конкретную величину планируемого (программируемого) урожая.

#### **4. Особенности разработки режимов орошения**

*Этапы производственного применения.* Режимы орошения могут разрабатываться для технико-экономических обоснований проектов (ТЭО), для комплексного использования и охраны водных ресурсов, а также для проектов оросительных систем и для организации поливов при их эксплуатации. Эксплуатационные режимы разрабатываются с учетом всех климатических, организационно-хозяйственных и других условий, которые возникают или могут возникать в процессе эксплуатации оросительных систем.

*Способы установления.* Режимы орошения устанавливаются на основании специальных полевых исследований (опытные), обобщения производственной деятельности передовых хозяйств (*производственные*) и с помощью расчетных методов (*расчетные*) с применением тех основных показателей, от которых зависят режимы орошения. В связи с отсутствием в достаточном количестве производственных и экспериментальных данных, особенно в зоне неустойчивого увлажнения, на практике наибольшее распространение получили расчетные способы определения режимов орошения. Перспективность расчетных методов, в частности с использованием метеорологических показателей, подчеркивалась на международных конгрессах по ирригации и дренажу.

*Учет потерь воды.* Нормы орошения могут определяться без учета потерь (*брутто*) и с учетом потерь воды (*нетто*).

*Способы орошения.* Режимы орошения должны соответствовать способам и технике орошения. Например, в зоне неустойчивого увлажнения режимы орошения могут быть для обыкновенного дождевания с учетом применяемой техники, для импульсного дождевания, для подпочвенного увлажнения (субирригации), для капельного орошения.

*Периоды действия.* Режимы орошения подразделяются на текущие и перспективные. Текущие режимы орошения предназначены для текущего планирования и проектирования, разработки водных балансов, контроля за использованием воды потребителем. *Перспективные режимы орошения* разрабатываются с учетом прогноза изменения влияющих факторов (почвенно-гидрологических условий, реконструкции старых и иногда новых систем и т. д.). Используются для прогнозирования потребности в воде на будущее. По уровням планирования перспективные режимы орошения могут быть среднесрочными (5 лет), долгосрочными (10 лет) и прогнозными (20 лет).

*Назначение.* Режимы орошения подразделяются на увлажнительные, задача которых состоит в постоянном поддержании оптимального водного режима, и поливы *специального назначения* (посадочно-предпосевные, влагозарядковые, промывные,

противозаморозковые, освежительные, удобрительные, провокационные и совмещенные).

*Качество воды.* Можно выделить режимы орошения с использованием природных вод (из реки, ручьев, подземных вод, прудов и т. д.), сточных бытовых вод и животноводческих стоков.

*Гидрогеологические условия.* Различают режимы орошения при близком залегании грунтовых вод (менее 3 м), определяемые с учетом подпитывания корнеобитаемого слоя почвы, и при глубоком залегании грунтовых вод (более 3 м).

*Биологические свойства культур.* С учетом биологических свойств культур режимы орошения подразделяются на *постоянные* (монотонные) и *дифференцированные*. В первом случае поливы проводятся за весь период вегетации по одному неизменному порогу предполивной влажности почвы с одинаковой глубиной увлажняемого слоя. При дифференцированном режиме уровень предполивной влажности почвы и (или) глубина увлажняемого слоя изменяются на протяжении вегетационного периода.

*Внутрисезонное распределение.* По характеру этого показателя режимы орошения могут быть установлены на примере типичного года (*типовые*) и соответствовать наиболее вероятному распределению норм орошения по декадам, месяцам, фазам развития культур, а также устанавливаться в соответствии с текущими погодными условиями конкретного года (*оперативные*). Научно обоснованное определение режимов орошения можно рассматривать как залог высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и необходимое условие поддержания на орошаемых землях благоприятной гидрогеомелиоративной обстановки.

## 5. Элементы режима орошения

Текущий расчет режима орошения состоит, прежде всего, в определении его основных составных элементов – поливной нормы, сроков полива, продолжительностей поливного периода, межполивного интервала и поливного цикла – по заданным исходным показателям.

Главным составным элементом режима орошения является *норма полива (поливная норма)* – это объем или слой воды, подаваемый на единицу площади (1 га) для разового ее увлажнения. Различают поливные нормы нетто и брутто.

Под *поливным периодом* понимается продолжительность одного полива орошаемой площади (участка).

Межполивной интервал считается от момента завершения текущего и до момента начала следующего за ним полива площади (участка).

*Поливной цикл* включает в себя (суммирует) поливной период и следующий за ним межполивной интервал, т. е. продолжается от начала данного полива площади (участка) и до момента начала следующего за ним полива.

*Предполивной уровень влажности почвы* – это тот уровень влажности (почвенных влагозапасов), с которого начинается текущий полив данного участка площади. Предполивной уровень почвенных влагозапасов на первом участке площади (с которого начинается ее полив) называется *начальным предполивным уровнем*.

Под *поливной нормой нетто* следует понимать количество поливной воды (в м<sup>3</sup>/га или мм), переведенное из проточного состояния в почвенные влагозапасы корнеобитаемого слоя в течение одного полива. *Поливная норма брутто* учитывает различные виды потерь (сток, испарение и др.).

При определении величины поливной нормы нетто исходят из ограничительного соотношения:

$$m \leq W_{\text{вп}} - W_{\text{пу}}, \quad (12.4)$$

где  $m$  – норма полива нетто;

$W_{\text{вп}}$  – верхний предел регулирования почвенных влагозапасов;

$W_{\text{пу}}$  – предполивной уровень почвенных влагозапасов (содержание влаги в почве перед поливом).

В свою очередь известно, что содержание влаги в почве можно определить по ее влажности:

$$W = 0,1\beta\gamma h \quad \text{или} \quad W = 0,1\beta^{\text{об}}h, \quad (12.5)$$

где  $W$  – запасы почвенной влаги в расчетном слое, мм;

$h$  – мощность расчетного слоя, см;

$\beta$  – влажность почвы, % от ее сухой массы;

$\gamma$  – объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;

$\beta^{\text{об}}$  – влажность почвы, % от ее объема.

Подставляя в уравнение выражение влагозапасов через физические характеристики почвы, получим расчетные уравнения для определения верхнего предела поливной нормы:

$$m = 0,1\gamma h(\beta_{\text{вп}} - \beta_{\text{пу}}) = 0,1h(\beta_{\text{вп}}^{\text{об}} - \beta_{\text{пу}}^{\text{об}}), \quad (12.6)$$

где  $\beta_{\text{вп}}$  – верхний предел регулирования почвенной влажности, % от массы почвы;

$\beta_{\text{вп}}^{\text{об}}$  – то же, % от объема;

$\beta_{\text{пу}}$  – влажность почвы перед началом полива площади, % от ее сухой массы;

$\beta_{\text{пу}}^{\text{об}}$  – то же, % от объема.

Для регионов, где орошение необходимо только в отдельные периоды вегетации, есть опасность переувлажнения в результате совпадения во времени поливов и дождей. Здесь увлажнять рекомендуется только верхний (чаще всего 0–50 см) слой почвы. Поливные нормы нетто в таких условиях составляют 10–30 мм (100–300 м<sup>3</sup>/га). Меньшие нормы из указанных пределов характерны для легких и более тяжелых по гранулометрическому составу почв, а большие – для средних.

Поливная норма брутто  $m^{\text{бр}} = \frac{m}{\eta_m}, \quad (12.7)$

где  $\eta_m$  – коэффициент (меньше единицы), учитывающий потери поливной воды в процессе полива (коэффициент использования воды на поле).

При дождевании эти потери складываются из затрат на испарение из дождевальных

струй (дождевого облака) в воздухе, на смачивание вегетативной массы растений и испарение с ее поверхности в процессе полива, а также на унос дождевых капель ветром за пределы орошаемой площади. При поверхностных поливах потери состоят из сбросов на инфильтрацию и водоотведение в нижней части поля.

Поливные нормы в значительной степени зависят от способа и техники полива. Например, при поверхностном поливе нормы значительно выше (в два раза и более), чем при дождевании, что обусловлено требованием равномерного распределения поливной воды по полю.

В свою очередь при дождевании нормы полива необходимо сопоставлять с допустимыми пределами, которые еще обеспечивают экологическую сбалансированность (требуемое качество) полива.

Под *оросительной нормой* понимается количество воды ( $\text{м}^3/\text{га}$  или мм), которое необходимо подать на поле дополнительно к выпадающим атмосферным осадкам, чтобы поддерживать почвенные запасы корнеобитаемого слоя в заданных пределах в течение вегетационного периода. Оросительная норма суммирует в себе все поливные нормы, поступившие на площадь за *оросительный период*, т. е. за ту часть вегетации, в течение которой существовала необходимость в орошении или готовности к нему, считая от начала поливов и до их завершения. Поэтому оросительную норму относят к суммирующим характеристикам режима орошения.

Обеспечивая благоприятный водный режим в засушливый период вегетации, орошение создает условия для получения запланированного урожая. Для создания наилучших условий для растений и получения максимального урожая на орошаемую площадь необходимо подать *биологически оптимальную норму орошения*.

Ранее было показано, что водный режим для сельскохозяйственных культур будет биологически оптимальным, если влажность в корнеобитаемом слое находится в границах: КВ (ВРК) – НВ. Причем главными факторами, от которых зависит норма орошения, в первую очередь являются метеорологические условия конкретного года, влияющие на распределение и частоту поливов в течение вегетации, а также гидрогеология поля (прежде всего глубина залегания и минерализация грунтовых вод), его почвы и рельеф, способ и техника орошения. От гидрологических характеристик зависит также и величина поливной нормы.

Все основные, методы расчета оросительных норм, как и других элементов режима орошения, базируются на водобалансовых соотношениях.

Размерности всех элементов, составляющих водный баланс, должны быть идентичны и обычно принимаются в миллиметрах или кубических метрах на гектар.

Для оценочных расчетов может применяться уравнение водного баланса корнеобитаемого слоя почвы, охватывающее весь вегетационный период:

$$M = E - P - \Delta W - Q, \quad (12.8)$$

где  $M$  – оросительная норма нетто;

$E$  – максимальная эвапотранспирация (водопотребление сельскохозяйственного поля при оптимальном водном режиме);

$P$  – атмосферные осадки за вычетом потерь на сброс;

$\Delta W$  – используемые запасы влаги в расчетном слое почвы;

$\Delta Q$  – подпитка корнеобитаемого (расчетного) слоя от грунтовых вод;

$$\Delta W = W_{\text{н}} - W_{\text{ни}}, \quad (12.9)$$

где  $W_{\text{н}}$  – влагозапасы в слое регулирования (расчетном слое почвы) на начало вегетации;

$W_{\text{ни}}$  – нижний предел оптимального увлажнения почвы.

Учет сброса части атмосферных осадков осуществляется с помощью формулы

$$P = \mu P_{\text{изм}}, \quad (12.10)$$

где  $\mu$  – коэффициент использования осадков, учитывающий их просачивание за пределы расчетного слоя почвы или сток с ее поверхности (в среднем равен 0,7–0,9);

$P_{\text{изм}}$  – сумма выпавших (измеренных) осадков за расчетный период.

Оросительные нормы даже для одной сельхозкультуры не остаются постоянными из года в год, меняясь в зависимости от метеоусловий. Поэтому при составлении проектов оросительных систем необходимо знать оросительные нормы для лет различной обеспеченности (повторяемости). До недавнего времени выбор расчетного года (при известном проценте обеспеченности) производился по сумме осадков за вегетационный период: острозасушливый год – обеспеченность осадками 95 %, среднесухой – 75 % и т. д. Однако в годы с одинаковым количеством осадков оросительные нормы могут значительно различаться между собой. Это связано с тем, что величина оросительной нормы зависит не только от осадков, но и от их распределения в течение вегетации и от условий, определяющих величину водопотребления. Поэтому выбирать год расчетной обеспеченности наиболее правильно не по осадкам, а непосредственно по величине оросительной нормы.

Выбор года расчетной обеспеченности проводится по результатам водобалансовых расчетов за многолетний период, в процессе которых определяются оросительные нормы для конкретной культуры в каждый реальный год. По полученным данным оросительных норм строятся эмпирические кривые обеспеченности и по известным уравнениям устанавливаются их статистические характеристики. Подбирается теоретическая кривая обеспеченности и по ней находится норма орошения для года расчетной обеспеченности (норма водопотребности). Таким образом, *под нормой водопотребности* понимается оросительная норма, вычисленная для года расчетной обеспеченности.

Изложенная методика расчета норм водопотребности по реальным годам длительного ряда достаточно трудоемка, поэтому расчеты рекомендуется проводить на ЭВМ с учетом пространственно-временной их изменчивости.

На *сроки полива* наибольшее влияние оказывают биологические особенности выращиваемых сельскохозяйственных культур, климатические условия, характер почвогрунтов и гидрогеологические особенности орошаемых земель. Для установления срока начала полива в практических условиях применяется несколько методов и приемов.

*Установление начала полива по фактической влажности расчетного слоя почвы* (по

А. Н. Костякову) основано на систематическом наблюдении за динамикой запасов почвенной влаги в расчетном слое. Полив следует начинать тогда, когда запас воды в корнеобитаемом слое снизится до предполивной влажности. Способ применим при разработке как проектного, так и эксплуатационного режимов орошения.

*Глазомерные методы* (по внешним признакам) основаны на определении сроков начала полива по внешнему виду (окраске или привяданию листьев), сигнализирующему о недостатке влаги. Сюда же относится и способ определения запасов влаги в почве, а соответственно, и сроков начала полива, на ощупь. Все эти методы условны и субъективны. Они могут применяться в процессе эксплуатации оросительных систем лишь в исключительных случаях, когда другие способы по каким-то причинам недоступны. Поэтому они здесь подробно не рассматриваются.

*Определение сроков начала полива по физиологическим показателям* основано на тесной взаимосвязи между влажностью почвы и физиологическими процессами, протекающими в растениях. Один из наиболее объективных способов заключается в определении в полевых условиях концентрации клеточного сока и сравнении его с пределами, соответствующими нижней границе оптимальной почвенной влажности. Способ применим при назначении эксплуатационного режима орошения.

*Назначение сроков начала полива по фазам развития растений* основывается на неодинаковой чувствительности растений к уровню влажности почв в различные периоды роста в соответствии с биологическими особенностями и динамикой водопотребления. Поливы приурочиваются к тем фазам развития растений, когда они наиболее чувствительны к недостатку влаги. Например, наибольшее потребление воды у картофеля приходится на фазу цветения и образования клубней, у томатов – завязывания и созревания плодов. Способ может применяться как в эксплуатационной, так и в проектной практике оросительных мелиораций. Недостаток – способ не учитывает наличных запасов влаги в почве, климатических условий и состояния растений перед поливом.

*Методы назначения сроков начала полива, основанные на учете метеорологических факторов, водоудерживающей способности почв и биологических особенностей культур*, находят широкое применение как в проектной, так и в эксплуатационной практике. Предложено довольно значительное количество таких методов. Основаны они в основном на расчетах динамики влагозапасов (или их дефицита) корнеобитаемого слоя почвы в зависимости от климатических факторов с учетом почв и вида культуры. Воднобалансовые методы наиболее часто применяются при расчете режима орошения сельскохозяйственных культур.