С. Д. ЛЫСОГОРОВ, В. А. УШКАРЕНКО

ПРАКТИКУМ ПО ОРОШАЕМОМУ ЗЕМЛЕДЕЛИЮ

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ ВЫСШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

С. Д. ЛЫСОГОРОВ
В. А. УШКАРЕНКО

ПРАКТИКУМ ПО ОРОШАЕМОМУ ЗЕМЛЕДЕЛИЮ

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям

МОСКВА АГРОПРОМИЗДАТ 1985

ББК 41.41
Л88
УДК 631.587(075.8)

Рецензенты: доктор сельскохозяйственных наук *Г. К. Львов*, доктор сельскохозяйственных наук *В. И. Марымов*, кандидат сельскохозяйственных наук *В. М. Жидков*.

Лысогоров С. Д., Ушкаренко В. А.

Л 88 Практикум по орошаемому земледелию. — М.: Агропромиздат, 1985. — 128 с., ил. — (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).

В учебном пособии рассмотрены наиболее важные в орошаемом земледелии вопросы: качество оросительной воды, влияние поливов на почву, микроклимат, растения. Большое внимание уделено земледелию в условиях орошения: структуре посевных площадей, севооборотам, индустриальной технологии возделывания основных культур, составлению плана поливов в севообороте. Пособие рассчитано на выполнение заданий в лабораториях и в поле.

Для студентов сельскохозяйственных вузов по агрономическим специальностям.

Л $\frac{3803010302-034}{035(01)-85}$ 94—85

ББК 41.41
631.1

ТП изд-ва «Колос»

**Сергей Дмитриевич Лысогоров,
Виктор Александрович Ушкаренко**

ПРАКТИКУМ ПО ОРОШАЕМОМУ ЗЕМЛЕДЕЛИЮ

Зав. редакцией *М. М. Антонова*
Редактор *Е. М. Боровкова*
Художественный редактор *М. Д. Северина*
Технические редакторы *С. В. Фельдман, Е. В. Соломович*
Корректор *Ю. Ю. Белинская*

ИБ № 3646

Сдано в набор 30.07.84. Подписано к печати 27.11.84. Т-17907. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 7,44. Усл. кр.-отт. 7,67. Уч.-изд. л. 8,83. Изд. № 014. Тираж 11000 экз. Заказ № 4099. Цена 30 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

170000. г. Калинин. Областная типография.

© ВО «Агропромиздат», 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

Орошению принадлежит все возрастающая роль в решении задач, поставленных Продовольственной программой СССР на период до 1990 года, в которой намечено довести площадь орошаемых земель до 23—25 млн. га.

Во многих сельскохозяйственных вузах в учебные планы вводится чтение курса орошаемого земледелия, включающего лекции и лабораторно-практические занятия.

В настоящем практикуме предусмотрены задания, соответствующие всем важнейшим разделам лекционного курса по орошаемому земледелию. Задания рассчитаны как на выполнение в лаборатории, так и в поле при прохождении летней практики.

В практикум включены работы различной сложности — в нем отражен имеющийся опыт преподавания, а также учтена перспектива студенческого поиска и исследований, углубления знаний по влиянию орошения на растение и эффективность приемов агротехники.

Научно-исследовательская работа студентов, выполняемая при прохождении курса орошаемого земледелия, при соответствующем оформлении, может стать основой курсовой или дипломной работы.

Из большого числа практических заданий, включенных в практикум, рекомендуется вносить в рабочие планы сельскохозяйственного вуза те из них, которые соответствуют отводимому количеству часов, оборудованию, степени подготовленности преподавателей.

Орошаемое земледелие как наука развивается на стыке знаний по почвоведению, агрохимии, физиологии растений, растениеводству и др. Этим объясняется наличие в практикуме таких работ, как учеты сосущей силы листьев и концентрации их клеточного сока. На занятиях по физиологии растений студенты знакомятся с соответствующим явлением и методикой его определения.

На занятиях же по орошаемому земледелию это явление находит практическое применение — для диагностики полива растений.

Другие работы, выполняемые на стыке смежных наук, позволяют студентам полнее уяснить влияние орошения и приемов орошаемого земледелия на почвенные условия, ход продукционного процесса растений, эффективность использования ими оросительной воды.

По решению методической комиссии часть заданий, относящихся к практикуму по орошаемому земледелию, может быть передана для выполнения другим кафедрам с учетом профиля учебной работы, исследований и интересов преподавателей, ведущих соответствующие дисциплины.

Авторы выражают глубокую признательность доктору сельскохозяйственных наук Г. К. Льгову, доктору сельскохозяйственных наук В. И. Марымову и кандидату сельскохозяйственных наук В. М. Жидкову за ценные замечания и предложения, сделанные при рецензировании данной работы.

ОРОСИТЕЛЬНАЯ ВОДА

Уровень плодородия почвы и урожайность сельскохозяйственных культур в орошаемых условиях в значительной мере зависят от степени увлажнения почвы и качества оросительной воды.

Для орошения применяют пресные воды рек, озер, грунтовые воды; бытовые, промышленные стоки и стоки животноводческих комплексов. В нашей стране и за рубежом проводят исследования по использованию минерализованных вод морей и океанов.

Оросительная вода содержит взвешенные частицы, растворенные соли и газы. Небольшое количество этих веществ не оказывает заметного влияния на орошаемую почву и возделываемые на ней сельскохозяйственные культуры. Однако, если их содержание превышает известные пределы, такая вода становится вредной и ее нельзя использовать для полива. Вопрос о пригодности оросительной воды в каждом конкретном случае нужно решать с учетом ее состава, степени минерализации в динамике, почвенно-климатических условий региона орошения и биологии возделываемой культуры.

ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Качество оросительной воды определяется следующими основными показателями: температурой, наличием взвешенных частиц и минерализацией. Температура воды, используемой для полива, должна быть близкой к температуре растительного организма, содержание крупных взвешенных частиц — минимальным, а минерализация соответствовать допустимым нормам. Холодная вода задерживает развитие культур, что опасно в северных районах зон орошения.

Взвешенные вещества при орошении играют как положительную, так и отрицательную роль. Высокодисперсные взвешенные вещества (илистые частицы диаметром $<0{,}001$ мм) содержат значительное количество органического вещества, имеют удобрительную ценность, эффективно используются растениями. Пылеватые частицы (диаметр от 0,001 до 0,05 мм) не имеют удобрительной ценности, но предотвращают нежелательное уменьшение водопроницаемости почвы в результате заиления. Песчаные частицы (диаметр более 0,05 мм) не содержат удобрительных веществ, быстро оседают в воде и для их удаления из каналов передаточно-распределительной системы необходимы большие затраты.

Содержание растворенных веществ — ведущий показатель качества оросительной воды. Высокая ее минерализация вызывает вторичное засоление почвы. Качество воды зависит не только от количества растворенных веществ, но и от их химического состава.

В оросительной воде встречаются следующие ионы: Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, HCO_3^-. Комбинируясь между собой, они образуют соли. Для характеристики вредности солей удобно пользоваться схемой А. Н. Костякова:

$NaCl$	Na_2SO_4	Na_2CO_3
$MgCl_2$	$MgSO_4$	$MgCO_3$
$CaCl_2$	$CaSO_4$	$CaCO_3$

Все соли, расположенные над чертой, разделяющей схему, вредны (хлориды и все соли натрия); соли, находящиеся ниже черты, безвредны (карбонаты кальция, магния и сульфаты кальция).

Соотношение токсичности различных солей натрия, если принять токсичность серно-кислого натрия за единицу, выглядит следующим образом:

соль	Na_2CO_3	$NaCl$	$NaHCO_3$	Na_2SO_4
степень токсичности	10	3	3	1

Наиболее токсична для растений сода. Содержание ее в почве 0,001% (по аниону CO_3^{2-}) уже чувствительно для растений (в связи с присутствием натрия) и вызывает процесс осолонцевания.

Критическое содержание хлора в почве для прорастания семян 0,01%, при концентрации более 0,04% наступает гибель растений. Концентрация иона хлора в пресной оросительной воде не должна превышать 50—100 мг/л, предельно допустимой концентрацией хлоридов в сточных водах считают 300 мг/л.

При установлении поливного режима сельскохозяйственных культур при обычном орошении и в условиях использования сточных вод следует пользоваться следующими примерными нормами допустимых в поливной воде концентраций вредных ингредиентов (мг/л): сульфаты — 500, магний — 300, карбонат натрия — 100—200, метанол — 200, капролактам — 200, формальдегид — 50, метиловый эфир — 50, фенол — 40, ацетон — 40, детергенты — 30, железо — 20, вольфрам — 10, смолы растительные — 5, барий — 4, роданиды, медь и цинк — 2, бор, марганец, кобальт — 1. Допустимая концентрация ДДТ, никеля, нитритов и цианидов колеблется в пределах от 0,1 до 0,5 мг/л воды.

Первичную оценку пригодности воды для орошения в нашей стране делают по классификации А. Н. Костякова, согласно ко-

торой допустимое содержание солей в оросительной воде составляет 1—1,5 г/л. При содержании солей 1,5—3,0 г/л необходимо знание их химического состава. Если в воде обнаружена сода концентрацией более 1 г/л или хлористый натрий более 2 г/л — она непригодна для орошения.

Для большинства культур безвредна вода с минерализацией 2—5 г/л, а для солеустойчивых — 10—12 г/л. Токсичной признана вода, содержащая 15—20 г/л растворимых солей.

Опыт использования минерализованных вод для орошения свидетельствует о том, что главным является не столько минерализация, сколько ее характер, соотношение главных ионов, значение pH. Воды с минерализацией 0,5—0,7, например, могут быть непригодны, а с минерализацией 1,2—18 г/л — допустимы для орошения.

Для правильной оценки оросительной воды необходимо определить ее химический состав: сухой остаток, содержание анионов (CO_3^{2-}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}) и катионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{2+}). Содержание K^+, Fe^{2-}, NO_3^-, Cu^{2+}, Al^{3+}, Mn^{2+} в пресной воде незначительное и не принимается во внимание.

Сточные воды отличаются большим разнообразием качества, поэтому в схему их анализа дополнительно включены исследования специфических показателей (прокаленный остаток, содержание взвешенных веществ, биохимическое потребление кислорода, содержание вредных ингредиентов и т. д.), с методикой определения которых можно ознакомиться в книге Ю. Ю. Лурье, А. И. Рыбникова «Химический анализ производственных сточных вод», — М.: Химик, 1974.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Температура. Температуру поливной воды определяют сразу после отбора пробы или непосредственно в водоеме. При измерении пользуются ртутным термометром с делениями в 0,1° С.

На месте отбора проб воду в количестве не менее 1 л наливают в сосуд, температуру которого доводят до уровня температуры воды, погрузив его предварительно в источник. В воду, находящуюся в сосуде, погружают нижнюю часть термометра и через 5 мин делают отсчет показаний. Стенки сосуда должны быть защищены от источников нагревания и охлаждения. Одновременно измеряют температуру воздуха и почвы. Температура воды ниже 15—20° С задерживает рост и развитие растений.

Взвешенные вещества. Определение взвешенных веществ проводят весовым методом. Образцы исследуемой воды фильтруют через промытые дистиллированной водой и предварительно взвешенные беззольные бумажные фильтры, затем фильтры с содержимым сушат при температуре 105° С до постоянной массы. При

большом содержании взвешенных веществ (более 50 мг/л) для определения берут менее 1 л воды, при малом их содержании — 1 л.

Содержание взвешенных веществ в исследуемой воде (мг/л) вычисляют по формуле:

$$x = \frac{1\,000(a_1 - a)}{V},$$

где a_1 — масса фильтра со взвешенным веществом, мг; a — масса фильтра, мг; V — количество взятой для определения воды, мл.

Определение pH. Кислотность оросительной воды (pH) определяют потенциометрическим методом с помощью ламповых потенциометров: pH-метром «Агрохимик», pH-метром ЛПУ-01, pH-метром ППМ-03М. Если лаборатория не располагает приборами по определению pH, то прибегают к химическому методу.

В пробирку наливают 10 мл анализируемой воды с температурой 18° С, прибавляют 1 мл 0,3%-ного раствора индикатора метанитрофенола, встряхивают и сравнивают окраску раствора с окраской растворов стандартной цветной шкалы.

Сухой остаток. Сухой остаток, полученный при выпаривании профильтрованной воды, характеризует содержание растворенных в ней солей. Для определения общего количества солей в воде с помощью мерной колбы берут 100 мл исследуемой жидкости, переносят в несколько приемов в заранее высушенную, взвешенную на аналитических весах фарфоровую чашку и выпаривают на водяной бане. Колбу, в которую набирали анализируемую воду, 2—3 раза споласкивают дистиллированной водой и также сливают в чашку. После выпаривания чашку с осадком вытирают снаружи, сушат в сушильном шкафу при температуре 105° С в течение трех-четырех часов, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.

Сухой остаток рассчитывают по формуле:

$$П = \frac{a}{V} 100,$$

где П — общее количество солей, %; a — масса сухого остатка, г; V — объем воды, взятой для выпаривания, мл.

Пример вычисления. Для выпаривания взято 100 мл воды. Масса сухого остатка 0,076 г.

$$П = \frac{0{,}076 \cdot 100}{100} = 0{,}076\%.$$

Минерализацию оросительной воды можно определить и с помощью специальных приборов — солемеров.

Прокаленный остаток. Прокаленный остаток, в отличие от сухого остатка, не содержит органических примесей. Для его определения чашку с сухим остатком осторожно прокаливают при

температуре 600°С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Прокаливание повторяют до постоянной массы.

Формула для вычисления результата та же, что и в предыдущем определении.

Определение иона CO_3^{2-}. В коническую колбу или стакан вместимостью 150—200 мл помещают 50 мл исследуемой воды, добавляют 1—2 капли 1%-ного спиртового раствора фенолфталеина. При наличии ионов CO_3^{2-} раствор порозовеет. Пробу титруют 0,02 н. раствором H_2SO_4 до обесцвечивания. Записывают отсчет. Если проба не окрасилась, то ионов CO_3^{2-} нет. При титровании по фенолфталеину карбонатная форма щелочности переходит в гидрокарбонатную. В этих условиях оттитровывается только половинное количество карбонатов щелочных металлов. Поэтому при расчете в формулу вводится коэффициент 2.

$$A = \frac{2a \cdot \text{н.} \cdot 1000}{V},$$

где A — мг·экв. CO_3^{2-} в 1 л воды; a — количество H_2SO_4, пошедшее на титрование, мл; 2 — коэффициент перевода на нормальные карбонаты; н. — нормальность кислоты; V — объем воды, взятой для анализа, мл; 1 000 — коэффициент пересчета на 1 л;

$$B = 0{,}030\frac{A}{10},$$

где B — содержание CO_3^{2-}, %; $\frac{A}{10}$ — мг·экв. CO_3^{2-} в 100 мл воды; 0,030 — граммовое значение мг·экв. CO_3^{2-}.

Пример вычисления. Объем воды, взятой для анализа, 50 мл. На титрование израсходовано 4 мл 0,02 н. раствора H_2SO_4.

$$A = \frac{4 \cdot 2 \cdot 0{,}02 \cdot 1000}{50} = 3{,}20 \text{ мг} \cdot \text{экв.};$$

$$B = 0{,}030 \frac{3{,}20}{10} = 0{,}0096\%.$$

Реактивы: 1%-ный раствор фенолфталеина (1 г фенолфталеина растворяют в 100 мл 60%-ного раствора спирта); 0,02 н. раствор H_2SO_4 (содержимое одной тубы фиксанала разводят в 5 л дистиллированной воды).

Определение общей щелочности. Общую щелочность можно определять в той же пробе. После титрования растворимых карбонатов (а если они отсутствуют, то после добавления фенолфталеина) приливают 2—3 капли смешанного индикатора Гроака и титруют 0,02 н. раствором H_2SO_4 до перехода зеленой окраски в фиолетовую. Учитывают количество кислоты, пошедшее на титрование.

При наличии карбонат-иона в исследуемой воде общую щелочность вычисляют по суммарному количеству кислоты, пошедшей на титрование по фенолфталеину и по смешанному индикатору

Гроака. Если же растворимых карбонатов нет, то общую щелочность рассчитывают по количеству кислоты, пошедшей на титрование по смешанному индикатору Гроака.

Общую щелочность рассчитывают по следующим формулам:

$$A = \frac{a \cdot н. \cdot 1000}{V},$$

где A — мг·экв. HCO_3^- в 1 л; a — количество кислоты, пошедшее на титрование, мл; н. — нормальность кислоты; 1000 — коэффициент пересчета на 1 л; V — объем воды, взятой для анализа, мл;

$$B = \frac{A \cdot 0{,}061}{10},$$

где B — содержание HCO_3^-, %; $\frac{A}{10}$ — мг·экв. HCO_3^- в 100 мл; 0,061 — граммовое значение мг·экв. HCO_3^-.

Пример вычисления. Объем исследуемой воды, в котором определяют общую щелочность, 50 мл. На титрование по смешанному индикатору Гроака пошло 5,2 мл 0,02 н. раствора H_2SO_4. На титрование по фенолфталеину израсходовано 4 мл кислоты.

$$A = \frac{(4+5{,}2) \cdot 0{,}02 \cdot 1000}{50} = 3{,}68 \text{ мг} \cdot \text{экв.}$$

$$B = \frac{3{,}68}{10} \cdot 0{,}061 = 0{,}0224\%.$$

Реактивы: смешанный индикатор Гроака (100 мл спиртового раствора метилрота смешать с 4 мл водного раствора метиленблау); 0,02 н. раствор H_2SO_4.

Определение хлор-иона по Мору. Хлор-ион (Cl^-) определяют титрованием хлоридов азотно-кислым серебром в присутствии 10%-ного раствора хромово-кислого калия:

$$NaCl + AgNO_3 = NaNO_3 + AgCl.$$

Избыток $AgNO_3$ вступает в реакцию с хромово-кислым калием и образует хромово-кислое серебро в виде красно-бурого осадка Ag_2CrO_4:

$$K_2CrO_4 + 2AgNO_3 = 2KNO_3 + Ag_2CrO_4.$$

Появление красно-бурого окрашивания раствора является признаком окончания первой реакции.

Порядок определения Cl^- следующий: исследуемую воду в количестве 25 мл помещают в коническую колбу или стакан вместимостью 100—150 мл, нейтрализуют 0,01 н. раствором H_2SO_4 в присутствии лакмусовой бумажки, так как при определении этого иона нужна нейтральная реакция. В нейтрализованную пробу прибавляют 1 мл 10%-ного раствора K_2CrO_4 и титруют 0,02 н. раствором $AgNO_3$ до появления неисчезающего слабого красно-бурого окрашивания.

Расчет проводят по формулам:

$$A = \frac{a \cdot н. \cdot 1000}{V},$$

где A — мг·экв. Cl^- в 1 л; a — количество азотно-кислого серебра, пошедшего на титрование, мл; н. — нормальность титрованного раствора азотно-кислого серебра; V — объем воды, взятой для анализа, мл; 1000 — коэффициент пересчета на 1 л;

$$B = 0{,}0355 \frac{A}{10},$$

где B — содержание Cl^-, %; $\frac{A}{10}$ — мг·экв. Cl^- в 100 мл; 0,0355 — граммовое значение мг·экв. Cl^-.

Пример вычисления. Для определения Cl^- взято 25 мл воды. На титрование израсходовано 5,1 мл 0,02 н. раствора $AgNO_3$.

$$A = \frac{5{,}1 \cdot 0{,}02 \cdot 1000}{25} = 4{,}01 \text{ мг·экв.};$$

$$B = 0{,}0355 \frac{4{,}01}{10} = 0{,}0142\%.$$

Реактивы: 0,01 н. раствор H_2SO_4 (одну тубу фиксанала разводят в 10 л дистиллированной воды); 10%-ный раствор K_2CrO_4 (10 г хромово-кислого калия растворяют в 100 мл дистиллированной воды); 0,02 н. раствор $AgNO_3$ (3,5 г азотно-кислого серебра растворяют в 1 л дистиллированной воды, затем оставляют раствор на 2—3 дня и устанавливают его нормальность по хлористому натрию; фиксанал NaCl разводят до концентрации 0,02 н.).

Определение сульфат-иона. Сульфат-ион (SO_4^{2-}) осаждают хлористым барием в кислом растворе в виде малорастворимого серно-кислого бария по реакции

$$SO_4^{2-} + BaCl_2 \longrightarrow BaSO_4 + 2Cl^-.$$

Разработаны весовой и объемный методы определения SO_4^{2-}, причем первый более точный, поэтому им и следует пользоваться. При весовом методе определения SO_4^{2-} исследуемую воду в количестве 50—100 мл переносят в химический стакан вместимостью 100—150 мл и подкисляют 10%-ным раствором HCl по метиловому красному до кислой реакции.

Жидкость в стакане нагревают до кипения, приливают по каплям 5—10 мл кипящего 10%-ного раствора $BaCl_2$, постоянно помешивая, кипятят несколько минут и оставляют на нагретой бане или этернитовой плитке на 8—10 ч для образования крупнокристаллического осадка. Затем делают пробу на полноту осаждения SO_4^{2-}. Для этого в отстоявшуюся прозрачную жидкость по стенке стакана приливают 2—3 капли раствора хлористого бария. Если при этом в месте падения капель $BaCl_2$ не образуется мути, осаждение закончено. Если образовалась муть, то приливают 1—2 мл 10%-ного $BaCl_2$, нагревают до кипения и ставят на отстаивание, после чего фильтруют через плотный беззольный фильтр.

Осадок на фильтре промывают холодной дистиллированной водой до исчезновения бария (проба 10%-ным раствором H_2SO_4). Фильтр с осадком подсушивают на воронке, помещают в тигель, предварительно прокаленный в муфеле и взвешенный на аналитических весах, и ставят в холодную муфельную печь. Температуру в муфеле повышают постепенно, в тигле происходит озоление осадка. Озоленный осадок прокаливают при температуре 600° С в течение 20—30 мин до постоянной массы, затем тигель с осадком охлаждают в эксикаторе и взвешивают.

Расчет сульфат-иона проводят по формулам:

$$A = \frac{a \cdot 0{,}4114 \cdot 1000 \cdot 1000}{48{,}03 \cdot V},$$

где A — мг·экв. SO_4^{2-} в 1 л; a — масса осадка $BaSO_4$, г; 0,4114 — коэффициент пересчета массы $BaSO_4$ на SO_4^{2-}; 1000 — перевод граммов в миллиграммы; 1000 — коэффициент пересчета на 1 л; 48,03 — эквивалентная масса иона SO_4^{2-}; V — объем исследуемой воды, мл.

$$B = \frac{A}{10} \cdot \frac{48{,}03}{1000},$$

где B — содержание SO_4^{2-}, %; $\frac{A}{10}$ — мг·экв. SO_4^{2-} в 100 мл; $\frac{48{,}03}{1000}$ — граммовое значение мг·экв. SO_4^{2-}.

Пример вычисления. Для определения SO_4^{2-} взято 100 мл исследуемой воды, масса осадка 0,0672 г.

$$A = \frac{0{,}0672 \cdot 0{,}4114 \cdot 1000 \cdot 1000}{48{,}03 \cdot 100} = 5{,}76 \text{ мг·экв.};$$

$$B = \frac{5{,}76}{10} \cdot \frac{48{,}03}{1000} = 0{,}0277\%.$$

Реактивы: раствор метилового красного; 10%-ный раствор $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ (10 г соли доводят до 100 мл дистиллированной водой); 10%-ный раствор HCl (23,7 мл концентрированной HCl — до 100 мл водой); 10%-ный раствор H_2SO_4 (6,1 мл концентрированной H_2SO_4 — до 100 мл водой).

Определение кальция и магния комплексометрическим методом. Комплексометрическое определение основано на способности двунатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты, называемой трилоном Б, образовывать с ионами металлов прочные внутрикомплексные соединения.

Такие соединения Ca^{2+} и Mg^{2+} с трилоном Б бесцветны, и для того чтобы установить эквивалентную точку при титровании, применяют металл-индикатор, образующий с катионами металлов окрашенное соединение. Трилон Б извлекает из этого соединения катион, по завершении реакции окраска раствора изменяется.

Определение суммы ионов кальция и магния. Исследуемую воду в количестве 25—50 мл помещают в коническую колбу вместимостью 200—250 мл и доводят дистиллированной водой до объема 50—100 мл. Прибавляют 5 мл аммиачного буфера, 10 ка-

пель металл-индикатора хромогена черного и титруют 0,05 н. раствором трилона Б до изменения вишнево-красной окраски жидкости в лиловую, а затем в голубую с зеленоватым оттенком. Титрование следует вести медленно, по каплям, так как переход окраски индикатора в точке эквивалентности довольно длителен. Учитывают количество трилона Б, пошедшее на титрование, и проводят расчет по формуле:

$$A = \frac{1000\, a\, н.}{V},$$

где A — мг·экв. $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ в 1 л; a — количество трилона Б, пошедшее на титрование, мл; н. — нормальность раствора трилона Б; V — объем жидкости, взятой для определения, мл; 1000 — коэффициент пересчета на 1 л.

Определение кальций-иона. В коническую колбу вместимостью 200—250 мл наливают 25—50 мл исследуемой воды и доводят дистиллированной водой объем до 50—100 мл, прибавляют 5 мл 10%-ного раствора NaOH, небольшое количество (на кончике стеклянной палочки) металл-индикатора мурексида и тотчас же титруют 0,05 н. раствором трилона Б. Титруют медленно, до перехода ярко-пурпурной окраски в фиолетовую. Титрование следует вести со свидетелем, в качестве которого можно использовать перетитрованную пробу.

Определяемый показатель рассчитывают по той же формуле. Вычитая из суммы Ca^{2+} и Mg^{2+} содержание Ca^{2+}, получаем количество мг·экв. Mg^{2+} в 1 л исследуемой воды. Затем рассчитываем процентное содержание ионов кальция и магния.

Пример вычисления. При определении суммы Ca^{2+} и Mg^{2+} израсходовано 5,4 мл 0,05 н. раствора трилона Б, а при определении Ca^{2+} — 4,4 мл.

$$A \text{ мг·экв. } Ca^{2+}+Mg^{2+} = \frac{5{,}4 \cdot 0{,}05 \cdot 1000}{25} = 10{,}8;$$

$$A \text{ мг·экв. } Ca^{2+} = \frac{4{,}4 \cdot 0{,}05 \cdot 1000}{25} = 8{,}8;$$

$$A \text{ мг·экв. } Mg^{2+} = 10{,}8 - 8{,}8 = 2{,}0.$$

Процентное содержание $Ca^{2+} = \frac{8{,}8}{10} \cdot 0{,}020 = 0{,}0176$, где 0,020 — граммовое значение мг·экв. Ca^{2+}.

Процентное содержание $Mg^{2+} = \frac{2}{10} \cdot 0{,}012 = 0{,}0024$, где 0,012 — граммовое значение мг·экв. Mg^{2+}.

Реактивы: 0,05 н. раствор трилона Б (в 1 л дистиллированной воды растворяют 9,3 г соли, нормальность трилона устанавливают по хлористому кальцию); буферный аммиачный раствор (20 г NH_4Cl растворяют в 500 мл дистиллированной воды, добавляют 100 мл 25%-ного раствора NH_4OH и доводят объем до 1 л); 10%-ный раствор NaOH (10 г NaOH растворяют в 60 мл дистиллированной воды, фильтруют в мерную колбу на 100 мл и доводят до чер-

ты); индикатор хромоген черный (0,2 г хромогена черного растворяют в 10 мл аммиачного буфера и этиловым спиртом доводят до 100 мл); индикатор мурексид (употребляют в сухом виде).

Перспективным для определения кальция и особенно магния является метод атомно-абсорбционной спектроскопии.

Определение натрий-иона. Натрий определяют либо фотометрическим методом при наличии пламенного фотометра, либо расчетным по разнице между суммой анионов в мг·экв. и суммой катионов Ca^{2+} и Mg^{2+}.

Процентное содержание натрия в исследуемой воде определяют, умножая содержание натрия в мг·экв. на его граммовое значение.

Пример вычисления. В 1 л анализируемой воды содержится (мг·экв.): HCO_3^- — 3,68; Cl^- — 4,01, SO_4^{2-} — 5,76 (сумма анионов 13,45); Ca^{2+} — 8,8, Mg^{2+} — 2,00 (сумма катионов 10,80).

Содержание мг·экв. $Na^+ = 13{,}45 - 10{,}80 = 2{,}65$. Полученная величина неточная, так как включает все погрешности проводимых анализов.

$$\text{Процентное содержание } Na^+ = \frac{A}{10} \cdot 0{,}023 = \frac{2{,}65}{10} \cdot 0{,}023 = 0{,}0061,$$

где 0,023 — граммовое значение мг·экв. Na^+.

Располагая данными химических анализов, изложенных выше, можно судить о качестве оросительной воды (табл. 1).

1. Результаты химического анализа исследуемой оросительной воды

Показатели	Единицы измерения	
	мг·экв.	%
Анионы		
HCO_3^-	3,68	(0,0224:2)
Cl^-	4,01	0,0142
SO_4^{2-}	5,76	0,0277
Сумма анионов	13,45	0,0531
Катионы		
Ca^{2+}	8,80	0,0176
Mg^{2+}	2,00	0,0024
$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	10,80	0,0200
$Na^+ + K^+$	2,65	0,0061
Сумма катионов	13,45	0,0261
Расчетное значение минерализации	—	0,0792
Сухой остаток	—	0,0760

Примечание: При сопоставлении суммы анионов и катионов в процентах с размером сухого остатка следует брать половину найденного количества HCO_3^-, так как при получении сухого остатка половина углекислоты карбонатов улетучивается.

Сумма анионов и катионов в процентах должна равняться значению сухого остатка, выраженного в процентах. Предельно допустимое расхождение этих величин ±5%.

Фактическое различие между экспериментально-расчетным показателем минерализации исследуемой оросительной воды и сухим остатком составило 4%, что свидетельствует о хорошем качестве химических анализов.

Судя по процентному содержанию ионов, тип засоления оросительной воды хлоридно-содовый. Пригодность воды для полива устанавливают после вычисления ирригационного коэффициента.

Задание. Определить качество оросительной воды, химические анализы которой выполнены на лабораторно-практических занятиях. Результаты полученных данных занести в таблицу, форма которой дана в разделе определения натрия. Установить тип засоления исследуемой воды, используя при этом следующую классификацию:

Тип засоления	Содержание соответствующих ионов, %
Содовый	>0,005
Хлоридный	>0,01
Сульфатный	>0,5

ОЦЕНКА ИРРИГАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ВОДЫ

Пригодность воды для орошения оценивают по данным ее химического состава с учетом почвенно-климатических условий и биологических особенностей возделываемых культур.

К одному из основных показателей качества оросительной воды относится степень ее минерализации. При плохих условиях дренажа и низкой фильтрующей способности грунтов безвредной для растений, как указывалось выше, считается оросительная вода с общей минерализацией 1—1,5 г/л. Для легких или хорошо дренируемых почв допустима минерализация до 3 г/л. Однако такой вывод ориентировочный, а оценка воды по общей минерализации признана недостаточной.

С целью уточнения пригодности воды для орошения на основании химического анализа проводят ее оценку на возможность осолонцевания почв. Для оценки ирригационных качеств воды широко используют щелочную характеристику, то есть рассчитывают ирригационный коэффициент (Ка), называемый еще щелочным коэффициентом Стеблера.

Ирригационный коэффициент выведен эмпирически на основании большого числа наблюдений за влиянием солей на сельскохозяйственные культуры и представляет собой столб воды, выраженный в дюймах, при испарении которого остается количество солей, делающее непригодным для большинства растений слой почвы мощностью 1,2 м.

Вычисляют ирригационный коэффициент для вод различных гидрохимических типов по специальным формулам, в которые входит содержание отдельных ионов в мг·экв. (табл. 2).

2. Состав воды и формулы расчета ирригационного коэффициента

Состав воды	Формула расчета
Ионов Na^+ в растворе меньше, чем ионов Cl^-, то есть $rNa^+ < rCl^-$ Присутствует хлорид натрия	$\frac{288}{5rCl^-}$
Ионов Na^+ в растворе больше ионов Cl^-, но меньше, чем суммарное содержание ионов сильных кислот. В растворе есть хлориды и сульфаты	$\frac{288}{rNa^+ + 4rCl^-}$
Ионов Na^+ больше суммарного содержания ионов сильных кислот. В растворе есть хлориды, сульфаты и карбонаты	$\frac{288}{10rNa^+ - 5rCl^- - 9rSO_4^{2-}}$

Примечание. В формулах r соответствует содержанию иона в мг·экв. на 1 л воды.

По ирригационному коэффициенту оценивают качество оросительной воды:

Ка>18	Хорошее, ее можно успешно применять для орошения без специальных мер, предупреждающих накопление щелочей
Ка=6—18	Удовлетворительное. Необходимы специальные меры для предупреждения накопления щелочей. Исключением являются почвы рыхлые, со свободным дренажем
Ка=5,9—1,2	Неудовлетворительное. Искусственный дренаж необходим почти всегда
Ка<1,2	Плохое, она практически непригодна для орошения

Оросительная вода, качество которой рассматривалось выше, имеет хлоридно-содовый тип засоления; иона натрия в ней меньше, чем хлора, а поэтому ирригационный коэффициент определяют по формуле:

$$Ка = \frac{288}{5rCl^-} = \frac{288}{5 \cdot 4{,}01} = 14{,}4.$$

Сопоставление полученного результата с приведенной выше классификацией показывает, что качество исследуемой воды удовлетворительное, а поэтому при ее использовании необходимо принимать меры по предупреждению накопления щелочей. На рыхлых, хорошо дренируемых почвах эту воду можно использовать для полива без опасения.

Пример вычисления. Определить ирригационный коэффициент воды, содержащей в 1 л 0,5 г NaCl, 0,8 г Na_2CO_3 и 0,2 г Na_2SO_4, и пригодность ее для орошения.

Сначала определяют содержание отдельных ионов: в 0,5 г NaCl

$$\frac{0{,}5 \cdot 23}{(23+35)} = 0{,}2 \text{ г } Na^+ \text{ и } 0{,}5 - 0{,}2 = 0{,}3 \text{ г } Cl^-;$$

в 0,8 г Na_2CO_3

$$\frac{0{,}8 \cdot 23 \cdot 2}{[2 \cdot 23 + (12 + 3 \cdot 16)]} = 0{,}347 \text{ г } Na^+ \text{ и } 0{,}8 - 0{,}347 = 0{,}453 \text{ г } CO_3^{2-};$$

в 0,2 г Na_2SO_4

$$\frac{0{,}2 \cdot 2 \cdot 23}{[2 \cdot 23 + (32 + 4 \cdot 16)]} = 0{,}06 \text{ г } Na^+ \text{ и } 0{,}2 - 0{,}06 = 0{,}14 \text{ г } SO_4^{2-}.$$

Таким образом, в 1 л воды растворено $(0{,}2 + 0{,}347 + 0{,}06) = 0{,}607$ г Na^+, 0,3 г Cl^-, 0,453 г CO_3^{2-} и 0,14 г SO_4^{2-}.

Затем выражают содержание ионов в мг·экв.:

Ионы	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}
г/л	0,607	0,3	0,14	0,453
мг·экв.	26,39	8,57	2,92	7,55

Пересчет из г/л в мг·экв. проводят по формулам, изложенным в разделах по определению отдельных ионов.

Из полученных данных видно, что содержание иона Na^+ больше суммарного содержания ионов сильных кислот, следовательно, анализируемая вода относится к третьему типу засоления.

Ирригационный коэффициент рассчитывают по формуле:

$$Ka = \frac{288}{10rNa^+ - 5rCl^- - 9rSO_4^{2-}} = \frac{288}{10 \cdot 26{,}39 - 5 \cdot 8{,}57 - 9 \cdot 2{,}92} = 1{,}48.$$

Это значение лежит в интервале 5,9—1,2, поэтому качество воды для полива неудовлетворительно и поливать ею можно только при наличии дренажа.

Задание 1. Рассчитать ирригационный коэффициент (Ка) воды, анализируемой на лабораторно-практических занятиях, определить пригодность ее для орошения.

Задание 2. Определить тип засоления и пригодность для орошения воды, содержащей в 1 л 9,12 мг·экв. Cl^-, 24,16 мг·экв. SO_4^{2-}, 20,46 мг·экв. Ca^{2+}, 9,25 мг·экв. Mg^{2+}, 4,76 мг·экв. K^+ и 7,84 мг·экв. Na^+.

Задание 3. Определить ирригационный коэффициент (Ка) воды, содержащей 0,2 г Na_2CO_3, 0,76 г Na_2SO_4 и 0,44 г NaCl. Сделать заключение о пригодности этой воды для орошения.

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ, НЕ ОПАСНОГО ДЛЯ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВЫ

Для расчета количества оросительной воды с определенной минерализацией, которое можно подать на поле без опасения его засоления, необходимы следующие данные:

S_1 — содержание солей в оросительной воде, %;
S — допустимое содержание солей в почве, %;
V — объемная масса почвы, г/см³;
h — толщина (мощность) увлажняемого слоя, м.

Масса промачиваемого слоя почвы $P = 10\,000\ h\ V$ т/га.

Если предельно допустимое содержание солей в почве S (%), то абсолютное их содержание в увлажняемом слое (т/га) равно:

$$\frac{10\,000\ h\ V\ S}{100} = 100hVS.$$

При процентном содержании солей в оросительной воде S_1 объем воды, который можно дать на площадь в 1 га (м³ на 1 га), содержащей $100hVS$ солей (т/га), будет равен:

$$A = \frac{h\ V\ S\ 100 \cdot 100}{S_1}.$$

Выражая найденный объем в виде столба воды делением на 10 000 м², получаем

$$a = \frac{h\ V\ S}{S_1}$$ (формула Израельсена),

где a — толщина слоя воды, содержащей количество солей, после распределения которых в слое почвы h засоление почвы будет выше допустимого предела.

Пример вычисления. Рассчитать количество воды, которое можно использовать на орошение без опасения вторичного засоления, если сухой остаток оросительной воды $(S_1) = 4{,}12$ г/л; сумма анионов $(Cl^- + SO_4^{2-}) = 45{,}04$ мг · экв.; сумма катионов $(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+) = 45{,}65$ мг · экв.; $h = 0{,}7$ м; $V = 1{,}3$ г/см³; $S = 0{,}2\%$.

Выразим содержание сухого остатка воды в процентах:

$$S_1 = \frac{4{,}12 \cdot 100}{1000} = 0{,}412\%.$$

Затем определим тот объем воды, который можно дать на площадь в 1 га, не опасаясь засоления почвы:

$$A = \frac{0{,}7 \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}20 \cdot 100 \cdot 100}{0{,}412} = 4\,400 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Задание 1. Рассчитать количество воды, которое может быть подано при орошении и не вызовет засоления каштановой почвы, если $S_1 = 2{,}26$ г/л; $h = 0{,}6$ м; $V = 1{,}32$ г/см³; $S = 0{,}22\%$.

Задание 2. Рассчитать количество воды, анализируемой на лабораторно-практических занятиях, которая не вызовет опасного засоления южного чернозема и каштановой почвы при орошении.

ОРОШАЕМАЯ ПОЧВА

Вода в почве, по образному выражению академика Г. Н. Высоцкого, — это то же, что кровь в организме. Она участвует во всех почвенных процессах. Вода — незаменимый фактор жизни растений. Рост и развитие растительного организма находятся в тесной связи с влажностью почвы, ее влагоемкостью, водопроницаемой и водоподъемной способностью.

ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ, СРОКИ И МЕТОДЫ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Влажность почвы характеризует содержание влаги в ней; ее выражают в процентах массы сухой почвы, в процентах объема почвы, в процентах полевой влагоемкости.

В зависимости от целей и задач исследований определение влажности почвы проводят по отдельным частям пахотного слоя, на глубину расположения основной массы корневой системы растений, на глубину одного-двух, а порой и более трех метров. Для диагностирования сроков полива влажность почвы определяют на глубине 30—40 см (Горянский, 1970).

Влажность почвы определяют в начале весенне-полевых работ, перед посевом, при наступлении ведущих фаз роста и развития растений, в период уборки возделываемых культур. В орошаемом земледелии значительная часть определений влажности почвы приурочена к вегетационным поливам. Такие определения дают возможность с высокой точностью диагностировать сроки проведения поливов и устанавливать фактическую поливную норму.

Все методы определения влажности почвы можно разделить на две основные группы: прямые, при использовании которых учитывают количество воды, испарившейся из отобранного образца почвы (термостатно-весовой, спиртовый), и косвенные, использующие при определении влажности свойства почвы, изменяющиеся под влиянием ее увлажнения (пластичность, удельный вес, электропроводность, диэлектрическая проницаемость, всасывающая способность, интенсивность проникновения гамма-лучей, интенсивность замедления быстрых нейтронов в почве и т. д.).

Управление поливным режимом сельскохозяйственных культур требует оперативного и массового определения влажности почвы, что сложно осуществить с помощью трудоемких и дорогостоящих прямых методов, а в отдельных хозяйствах пока даже невозможно (отсутствие лаборатории или лабораторного оборудования, дефицит спирта и т. п.).

Поливы культур, проводимые с опозданием, нарушают нормальный рост и развитие растений, что сказывается на урожае. Для ускоренного определения влажности почвы в полевых условиях предложен целый ряд косвенных методов, менее точных, чем весовой, но более применимых в сельскохозяйственном производстве.

К этой группе относят пластический, пикнометрический, омический, гаммаскопический, нейтронный и другие методы.

Влажность почвы определяют как в отобранных почвенных образцах, так и в естественном залегании почвы без отбора образцов.

Термостатно-весовой метод определения влажности почвы. Пробы почвы для определения влажности берут в полевых условиях специальным почвенным буром, погружая его с помощью специальных меток на штанге на заданную глубину. Повторность отбора почвенных проб 4—6-кратная.

Образцы почвы массой 20—90 г, извлеченные с помощью бура, помещают в бюксы с плотно закрывающимися крышками. Бюксы доставляют в лабораторию и взвешивают на технических или электротехнических весах ВЛТК-500.

Перед взвешиванием бюкс и его крышку тщательно протирают, чтобы очистить от прилипшей почвы, пыли и др. Крышку надевают на дно бюкса, взвешивают, показания весов заносят в заранее подготовленную таблицу.

После этого бюксы помещают в сушильный шкаф, причем сначала их ставят на верхнюю полочку, затем на среднюю и в последнюю очередь на нижнюю. Если в момент такой загрузки сушильного шкафа один из бюксов опрокинется, то его почва не попадет в другие бюксы и не вызовет ошибки в определении влажности.

Почву, богатую органическим веществом, сушат при температуре 105°С до постоянной массы в течение 7—8 ч.

И. С. Грабовский предложил видоизмененный весовой метод определения влажности, заключающийся в том, что образцы сушат при температуре 140—150°С. Процесс высушивания при этом продолжается 2—2,5 ч, что ускоряет проведение анализа. Погрешность определения в сторону завышения показателя составляет всего 0,1—0,6%.

Метод ускоренной сушки при температуре 140—150°С, учитывая значительную экономию времени и электрической энергии, можно применять для определения влажности малогумусных песчаных, супесчаных и суглинистых почв.

Теплые бюксы с почвой переносят в эксикаторы, на дне которых имеется хлористый кальций. После охлаждения в эксикаторе бюксы взвешивают.

Влажность почвы определяют по формуле:

$$B = 100\,\frac{B_1 - B_2}{B_2 - B_0},$$

где B — влажность почвы в % от массы ее в сухом состоянии; B_0 — масса алюминиевого бюкса, г; B_1 — масса бюкса с почвой до сушки, г; B_2 — масса бюкса с сухой почвой, г.

Все записи при определении влажности почвы весовым методом ведут по форме 1, в которой дан пример полного расчета для одного слоя почвы.

Форма 1

Влажность почвы _____ **поле** _____ **, культура** _____

дата _____ **номер** _____

Агрофон	Повторность	Слой почвы, см	Номер бюкса	Масса пустого бюкса, г	Масса бюкса с почвой до сушки, г	Масса бюкса с почвой после сушки, г	Масса испарившейся воды, г	Масса сухой почвы, г	Влажность почвы, %	Средняя влажность почвы, %

Располагая данными такой таблицы, влажность почвы B, %, можно определить по упрощенной формуле:

$$B = \frac{a \cdot 100}{P},$$

где a — количество испарившейся влаги, г; P — масса сухой почвы, г.

Весовой метод определения влажности почвы наиболее точный и признан стандартным (классическим). Он позволяет получать результаты с относительной ошибкой не более 0,5%.

Пример вычисления. Масса пустого бюкса (B_0) — 24,12 г; масса бюкса с почвой до сушки (B_1) — 72,14 г; масса бюкса с почвой после сушки (B_2) — 65,02 г. Количество испарившейся влаги (a) равно: $B_1 - B_2 = 72{,}14 - 65{,}02 = 7{,}12$ г. Масса сухой почвы (P) составляет: $B_2 - B_0 = 65{,}02 - 24{,}12 = 40{,}90$ г; влажность почвы в процентах (В) равна:

$$\frac{a \cdot 100}{P} = \frac{7{,}12 \cdot 100}{40{,}90} = 17{,}4\,\%.$$

Суммируя показатели влажности почвы соответствующего слоя всех повторений и разделив сумму на количество определений, находят среднюю влажность данного слоя.

Подобным образом поступают и при расчетах средней влажности для всего исследуемого слоя почвы. Полученный результат

затем используют при определении запасов влаги в почве или при установлении поливной нормы.

Лабораторно-практические занятия проводят по звеньям, в каждое из которых входят 3—4 человека. С целью развития у студентов умения анализировать экспериментальные данные, образцы почвы при определении влажности следует отбирать на двух-трех различных по увлажнению агрофонах.

Приборы и оборудование: почвенный бур Измаильского, почвенный нож, алюминиевые бюксы, весы ВЛТК-500 или технические, сушильный шкаф, эксикатор, щипцы.

Спиртовой метод определения влажности почвы. Образцы почвы при этом методе высушивают путем спиртового обжига. Метод основан на способности спирта поглощать воду из почвы, а при сгорании испарять ее.

Техника определения влажности почвы, предложенная П. В. Ивановым (1953), заключается в следующем. В стандартные алюминиевые бюксы, предварительно взвешенные, помещают ровным слоем 10—15 г исследуемой почвы и взвешивают. Затем в бюксы наливают 4—5 мл спирта, стараясь при этом равномерно смочить почву, и поджигают его. Эту операцию повторяют 2—4 раза, используя 2—3 мл спирта.

После каждого обжига бюксы встряхивают, чтобы более равномерно и быстро высушить почвенный образец. Не следует перемешивать образец спичкой или деревянной палочкой, так как часть почвы остается на этих предметах и точность определения снижается. Из-за недостатка кислорода в бюксе сгорания органического вещества почти не происходит. После последнего обжига спиртом бюксы охлаждают в эксикаторе и взвешивают.

Влажность почвы при спиртовом методе определения вычисляют так же, как и при весовом. Спиртовой метод определения влажности достаточно точен для слабогумусированных почв. Расхождение по сравнению с высушиванием в сушильном шкафу для песчаных и супесчаных почв не превышает $\pm 0{,}2\%$. В почвах, богатых органическим веществом, ошибка значительно больше и составляет 1,1—1,2%.

Спиртовой метод определения влажности почвы может осуществляться и другим способом. Навеску почвы обрабатывают спиртом, крепость которого должна быть не менее 80%. Концентрацию спирта измеряют специальным ареометром до и после смешивания с почвой ($C_0 - C_1$). Содержание воды в навеске a, г, вычисляют по формуле:

$$a = \frac{в(C_0 - C_1)}{C_1},$$

где $в$ — масса взятого спирта, г.

Дальнейший расчет производят так же, как и при весовом методе.

Спиртовой метод определения влажности отличается быстротой и не требует сложного оборудования. Для анализа можно использовать этиловый, метиловый, пропиловый и древесный спирты, соблюдая при этом правила техники безопасности.

Спиртовой метод положен в основу изготовления оригинального влагомера карманного типа, с огневой сушкой. Огневой влагомер позволяет сократить время искусственной сушки образцов почвы до 8—10 мин.

Основная ячейка влагомера состоит из металлической пластинки-основания, пластинки для размещения на ней таблетки сухого спирта и полукруглой подставки для почвенного стаканчика. В приборе имеются четыре ячейки для сушки одновременно четырех проб. Кроме того, в комплект прибора входят десять бюксов, весы, складной почвенный бур для взятия почвенных образцов до глубины 60 см и нож для выемки проб из бура.

Приборы и оборудование: бюксы, весы ВЛТК-500 или технические, спирт, пипетки, эксикатор.

Задание. Определить влажность супесчаной и среднесуглинистой почвы весовым и спиртовым методами. Установить различия между показателями влажности почвы, полученными при этих методах определения.

Определение влажности по нижнему пределу пластичности. Метод предложен В. Е. Кабаевым (1961) на основе присущего почве свойства пластичности. Пластичность — свойство влажной почвы изменять под давлением форму, не подвергаясь разрыву. При верхнем пределе пластичности почва переходит в текучее состояние, а при нижнем — на ней начинают появляться трещины.

Экспериментальным путем В. Е. Кабаев установил, что почвы различного механического состава при нижней границе пластичности образуют с одинаковым количеством воды шар одного и того же размера.

Так, если взять 3 $см^3$ воды и смешать с сухой почвой, то при замешивании образуется шар диаметром 24 мм, который автором принят за эталон. Если изготовить шарик из анализируемой почвы с тем же количеством воды, то объем его будет зависеть от степени первоначальной влажности почвы, взятой для анализа. По разности рассчитанных объемов шаров и определяют влажность исследуемой почвы.

Техника определения влажности рассматриваемым методом следующая. С помощью тарированной пробирки в фарфоровую чашку вливают 3 $см^3$ воды и постепенно, при постоянном помешивании ножом, насыпают в нее исследуемую почву до приобретения ею пластического состояния. Затем замешивание продолжают пальцами, добавляя при этом почву из подготовленного

образца. Прекращают замешивать при предельно крутом состоянии. Полученная масса скатывается в ладонях и принимает форму шара. Если шар окажется мягким, добавляют еще анализируемую почву. Появление мелких трещин на поверхности шара свидетельствует о состоянии нижней границы пластичности. Диаметр шара можно замерять штангенциркулем или с помощью двух спичечных коробков: первый коробок устанавливают на одно из делений линейки, прислоняют к нему шар и второй коробок, затем первый коробок с шаром убирают и отсчитывают диаметр шара в миллиметрах.

Влажность почвы вычисляют по формуле В. Е. Кабаева:

$$W = \frac{W_{нв}(V - V_0)}{V},$$

где W — влажность почвы, % к массе сухой почвы; $W_{нв}$ — полевая влагоемкость почвы, %; V_0 — объем шара сухой почвы, мм³, эталон; V — объем шара исследуемой почвы, мм³.

Записи по определению влажности почвы проводят по форме 2.

Форма 2

Образец почвы	Повторность определения	Диаметр шара, мм	Объем шара исследуемой почвы, мм³	Объем шара сухой почвы, мм³	Влажность почвы, %	Средняя влажность почвы, %

Пример вычисления. Диаметр шара исследуемой почвы 38 мм. Объем шара $V = {}^4/_3 \pi R^3 = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 19^3}{3} = 28\,716$ мм³;

объем шара сухой почвы $V_0 = {}^4/_3 \pi R^3 = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 12^3}{3} = 7234$ мм³. Наименьшая влагоемкость темно-каштановой почвы равна 20%. Влажность исследуемой почвы будет равна:

$$W = \frac{20(28\,716 - 7234)}{28\,716} = 15{,}0\%.$$

На основании выведенной В. Е. Кабаевым формулы составлена вспомогательная таблица, по которой находят процент влаги в исследуемой почве.

Материалы и оборудование: фарфоровые чашки, образцы почвы различной степени увлажнения, пробирки, тарированные на 3 см³, или пипетки, скальпели или ножи, линейки, спичечные коробки, бюксы, весы ВЛТК-500 или технические, спирт, щипцы, эксикатор.

Задание. Определить влажность трех образцов почвы, имеющих различную степень увлажнения, двумя методами: по пластичности и спиртовым. Результаты проведенных исследований сопоставить и сделать заключение о точности метода определения влажности почвы по нижнему пределу пластичности.

Омический метод определения влажности почвы. Преимущество этого метода в сравнении с предыдущими заключается в том, что влажность почвы определяют в естественном ее залегании (без отбора образцов). В основу метода положена зависимость между электрическим сопротивлением почвы и ее влажностью. Чем суше почва, тем больше сопротивление. Используют этот метод при определении влажности почвы в стационарных условиях (под магистральными и другими каналами, на метеостанциях, в садах, виноградниках, лесных полосах).

Измеритель влажности почвы «АМ-11» состоит из комплекта датчиков и мегомметра. Датчики — это угольные электроды, обернутые в стекловолокно, они стойки к почвенному раствору и не подвержены коррозии. Стекловолокно, в силу своей капиллярности, создает надежный контакт между электродами и почвой и хорошо обменивается с ней влагой.

Каждый датчик состоит из двух угольных пластинок, разделенных изоляционными прокладками толщиной 5 мм. Благодаря проводам, длину которых можно менять, датчики устанавливают в почву на любую глубину и на любом расстоянии от прибора. Электрическое сопротивление датчиков влажности изменяется в широком диапазоне — от 1—2 килоом в увлажненной почве до нескольких мегоом в сухой.

Недостаток омического способа определения влажности почвы — необходимость предварительной тарировки каждого датчика перед закладкой его в почву. При тарировке в лабораторных или полевых условиях проводят серию параллельных наблюдений за влажностью почвы весовым и омическим методами.

На основании полученных данных строят тарировочный график датчика. По оси абсцисс откладывают влажность почвы (% к сухой почве), по оси ординат — сопротивление (мОм или кОм).

Для измерения сопротивления датчиков свободные концы их проводов подключают к клеммам мегомметра, имеющих обозначения: «земля» и «линия». Отстегнув на приборе ремень, открывают его шкалу и, вращая ручку со скоростью не менее 120 об/мин, замечают деление шкалы, около которого устанавливается стрелка прибора. Если стрелка прибора при измерениях уходит за шкалу, тумблер необходимо перевести с положения «килоомы» в «мегоомы» или наоборот. Ручку мегомметра следует вращать равномерно, отсчет сопротивления проводить быстро — в течение 4—5 с.

Среднее значение двух отсчетов сопротивления одного датчика приводят к температуре 0°С по формуле:

$$R_0 = R_{изм}(1+\alpha t),$$

где R_0 — электрическое сопротивление датчика в килоомах или мегоомах, приведенное к температуре 0°С; $R_{изм}$ — электрическое сопротивление дат-

чика при фактической температуре в момент исследования, килоомы или мегоомы; α — температурный коэффициент изменения сопротивления, близкий к 0,03 на 1°С; t — температура почвы на глубине датчика, град.

При установлении датчика на требуемую глубину используют обычный почвенный бур. Датчик перед опусканием в скважину смачивают в воде и сильно встряхивают. Для хорошего контакта датчика с почвой ее слегка утрамбовывают тонким стержнем. Почву, извлеченную из скважины, следует вернуть обратно в таком же порядке, в каком ее отбирали. Выводные концы проводов маскируют в растениях или почве. Точность измерения влажности омическим способом достигает $\pm 1{,}5$—$2{,}0\%$.

Если лабораторно-практические занятия по ознакомлению студентов с омическим методом определения влажности почвы проводят в помещении, то при этом используют специальные тарировочные коробки, имеющиеся в комплекте прибора. На дно и сбоку нескольких коробок кладут марлю и насыпают образцы почвы различной степени увлажнения. В середину почвы помещают датчики, смоченные в воде. Сложение почвы в коробках должно быть близким к естественному. На занятиях со студентами во всех случаях используют готовые тарировочные графики датчиков. Записи проводят по форме 3.

Форма 3

Дата определения	Глубина укладки датчика, см	Отсчеты сопротивления датчика			Температура почвы, °С	Сопротивление датчика, приведенное к 0°С	Влажность, % к массе сухой почвы
		первый	второй	среднее			

Материалы и оборудование: измеритель влажности почвы «АМ-11», тарировочные коробки с почвой различной степени увлажнения, датчики, спирт, бюксы, весы ВЛТК-500 или технические, щипцы, эксикатор.

Задание. Определить влажность трех образцов почвы омическим и спиртовым методами, сделать анализ полученных данных и сравнить результаты двух указанных методов определения влажности почвы.

Определение влажности прибором «Днестр-1». С помощью прибора «Днестр-1», сконструированного Л. Н. Бабушкиным (1965), определяют влажность почвы в процентах наименьшей влагоемкости без извлечения почвенных образцов.

Принцип действия прибора «Днестр-1» основан на зависимости электродвижущей силы поляризации металлических электродов, возникающей при прохождении постоянного тока, от влажности почвы, с которой они соприкасаются.

Электрощуп «Днестр-1» предназначен для определения влажности почвы с целью диагностики сроков полива на орошаемых

участках при температуре почвы от +1 до +50°С. Рабочий диапазон прибора от 25 до 110% наименьшей влагоемкости. «Днестр-1» можно применять на удобренных или слабозасоленных почвах (хлоридное засоление до 0,2%, сульфатное до 0,5%). Погрешность показаний не более ±5% наименьшей влагоемкости; время определения — 1 мин.

Конструктивно прибор выполнен в виде двух отдельных частей: измерительного щупа, блока указателя и источника питания с соединительным шнуром.

Измерительный щуп состоит из двух металлических электродов, припаянных к плоским токоведущим пружинам, наконечника, облегчающего вдавливание щупа в почву, и защитного кожуха.

Перед использованием прибора необходимо проверить установку стрелки микроамперметра на нулевую отметку шкалы. Для этого тумблер ставят в положение «выкл.», а второй — в положение «отсчет», вращая с помощью отвертки шлиц корректора микроамперметра, устанавливают стрелку прибора на отметку «0».

Для определения влажности почвы электрощуп соединяют с прибором кабельной вилкой, вдавливают его в почву на требуемую глубину и открывают, для чего, придерживая рукоятку, поднимают скобу с кожухом вверх до упора. Нажав кнопку «отсчет — ток», через 3—5 с ручкой «регулятор тока» плавно устанавливают значение рабочего тока в 60 мкА; после чего, не сдвигая ручку «регулятор тока», опускают кнопку и снимают показание микроамперметра.

Влажность почвы в процентах наименьшей влагоемкости определяют по градуировочным таблицам. При работе на холодных почвах (с температурой ниже 16°С) следует замерять их температуру и умножать значение влажности на поправочный коэффициент, который определяют по графику, указанному в паспорте прибора. После снятия отсчета опускают кожух щупа, извлекают его из почвы, очищают контакты и стержень.

Правила пользования прибором и градуировочная таблица перевода показаний микроамперметра в % НВ при рабочем токе 60 мкА помещены на панели прибора.

При работе на сухих почвах (с влажностью ниже 61% НВ) используют рабочий ток 32 или 16 мкА, а при влажности почвы выше 92% НВ — 100 мкА.

Для пересчета данных в проценты к массе сухой почвы необходимо знать ее наименьшую влагоемкость. Например, наименьшая влагоемкость темно-каштановой среднесуглинистой почвы равна 20% от ее массы в сухом состоянии. При определении влажности прибором «Днестр-1» получили величину, равную 76% НВ. В данном примере влажность почвы в процентах к ее абсолютно сухой массе находят следующим образом: $x = 76 \cdot 20/100 = 15{,}2\%$.

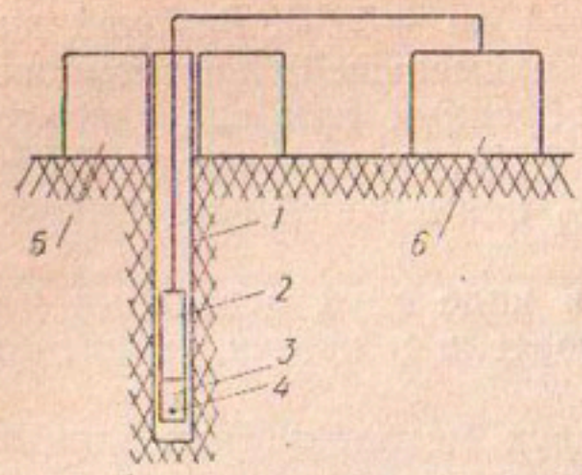

Рис. 1. Блок-схема прибора НИВ-2:

1 — обсадная труба; *2* — детектор ионизирующего излучения; *3* — блок источника; *4* — источник излучения; *5* — контрольно-калибровочное устройство; *6* — пересчетное устройство ПМ-2.

Материалы и оборудование: прибор «Днестр-1», паспорт прибора, градуировочные таблицы для перевода показаний микроамперметра в проценты от наименьшей влагоемкости при рабочих токах 16, 32, 60 и 100 мкА.

Нейтронный метод определения влажности почвы. Метод основан на учете медленных нейтронов, образующихся вокруг источника быстрых нейтронов в результате замедления и рассеивания их водой. Влажность почвы определяют по плотности медленных нейтронов, которая возрастает с увеличением содержания влаги в ней, с помощью приборов НИВ-1 и НИВ-2, разработанных сотрудниками ВНИИГиМ под руководством В. А. Емельянова.

Выпускаемые серийно нейтронные влагомеры позволяют быстро получать абсолютные значения влажности почв на глубине от 0,3 до 6 м в диапазоне 2—40%. Время, необходимое на один замер (включая получение результата), составляет 3—5 мин, абсолютная погрешность — 1—2% влажности от объема почвы.

Прибор состоит из блока датчиков импульсов, включающего четыре соединенных параллельно трубки типа СТС-5, контрольно-калибровочного устройства (ККУ) с держателем нейтронного источника и пересчетного устройства с источником питания (рис. 1). В качестве источника нейтронов используют плутоний-бериллиевый препарат. Питание прибора осуществляется от батарей напряжением 400 В.

Влажность почвы определяют следующим образом. В поле выбирают площадки и с помощью бура образуют на каждой по три скважины глубиной на 20 см больше принятой глубины измерения влажности почвы. В скважины вставляют обсадные трубы так, чтобы они выступали над поверхностью почвы не менее чем на 30 см. На расстоянии 10 см от поверхности почвы на обсадной трубе закрепляют ККУ. Сняв с держателя нейтронного источника верхнюю крышку, в его гнездо вставляют блок датчика и считают импульсы, которые отмечает электронный счетчик, находящийся в ККУ ($l_к$), затем показания электромеханического счетчика умножают на 64 (счетчик регистрирует каждый 64-й импульс), прибавляют сумму из цифр светящихся тиратронов верхнего ряда (число не зарегистрированных электромеханическим счетчиком импульсов) и полученные данные делят на время счета, определяя количество гамма-квантов ($l_к$ в имп/мин).

После этого ослабляют цанговый зажим на держателе нейтронного источника, зонд с источником и датчиком нейтронов погружают в почву на заданную глубину и снимают скорость счета импульсов в почве ($l_п$) за тот же отрезок времени, что и при определении $l_к$. Влажность почвы определяют по составленному ранее градуировочному графику, исходя из отношения $l_п/l_к$. Установленную таким путем влажность выражают в процентах к объему почвы.

Тарировка прибора. Для тарировки прибора в лабораторию доставляют образцы почвы. Цилиндр высотой 115—120 см загружают почвой с разным увлажнением (2,5; 5; 10; 20; 30; 40 и 100% от объема почвы). При загрузке необходимо обеспечить равномерные влажность и уплотнение почвы.

В цилиндр вводят обсадную трубу до глубины 60 см. Определяют скорость счета на этой глубине и на глубине 5 см выше и ниже ее. Вычисляют среднее значение скорости счета ($l_п$). До и после работы определяют скорость счета в контрольно-калибровочном устройстве ($l_к$). Находят отношение $l_п/l_к$ и строят тарировочную кривую, где по оси абсцисс откладывают влажность почвы, а по оси ординат — отношение $l_п/l_к$.

Проверку точности градуировки прибора проводят в естественных условиях путем сравнения влажности, полученной по градуировочному графику, с влажностью в объемном выражении, полученной весовым методом.

Материалы и оборудование: прибор НИВ-2, почвенный бур, градуировочный график, бюксы, весы ВЛТК-500 или технические, сушильный шкаф, щипцы, эксикатор.

ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Правильное управление поливным режимом сельскохозяйственных культур требует от специалиста знаний не только влажности почвы, но и степени доступности почвенной влаги растениям.

Доступность влаги растениям при одном и том же процентном содержании влажности на разных типах почвы будет разная. Так, например, влажность 14% на каштановых почвах для многих культур — предполивной порог увлажнения активного слоя; на южных черноземах растения будут сильно угнетены, указанная степень увлажнения приближается к влажности завядания; на обыкновенных и особенно тучных черноземах при такой влажности растения гибнут. Следовательно, агроному необходимо знать для своего типа почвы все константы, характеризующие ее увлажнение: максимальную гигроскопическую влажность, влажность разрыва капиллярной связи (ВРК), влажность завядания (ВЗ), полевую (наименьшую) влагоемкость.

Максимальная гигроскопичность почвы. Под максимальной гигроскопичностью понимают наибольшее количество парообразной влаги, которое почва может поглотить из воздуха, насыщенного парами воды. Она зависит от суммарной поверхности почвенных частиц: чем больше суммарная поверхность, тем выше максимальная гигроскопичность почвы (она колеблется от 0,01—1,5% на песчаных до 12—18 % на тяжелых хорошо гумусированных почвах).

С. И. Долгов (1960) приводит следующие данные максимальной гигроскопичности почв (%): подзолистая — 4,0; чернозем тучный — 13,86; темно-каштановая — 10,90; краснозем — 14,04; серозем — 5,23.

Максимальную гигроскопичность определяют в следующей последовательности: из воздушно-сухой почвы отбирают живые корни, растирают ее в ступке пестиком с резиновым наконечником и просеивают через сито с отверстиями 1 мм. Навеску почвы 5—15 г (чем больше в почве перегноя, тем меньше навеска) помещают в предварительно высушенный и взвешенный стеклянный стакан с пришлифованной крышкой. Стакан с почвой взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 г и в открытом виде помещают в эксикатор с насыщенным раствором серно-кислого калия.

Стаканы с почвой периодически (один раз в 3—4 дня) взвешивают, затем снова помещают в эксикатор. Взвешивание продолжают до тех пор, пока результаты двух-трех последних определений будут различаться между собой не более чем на 0,0005 г, причем для расчета используют максимальную массу.

После насыщения почвы влагой стаканы переносят в сушильный шкаф и сушат ее при температуре 100—105°С до постоянной массы.

Максимальную гигроскопичность почвы $B_{мг}$, %, определяют из соотношения:

$$B_{мг} = 100 \frac{B_2 - B_1}{B_3 - B_1},$$

где B_1 — масса стакана, г; B_2 — масса стакана с насыщенной почвой, г; B_3 — масса стакана с почвой после сушки, г.

Задание. Определить максимальную гигроскопичность метрового слоя почвы, отобранной послойно на опытном поле учебно-опытного хозяйства. Сопоставить полученные данные с имеющимися в литературе показателями.

Влажность разрыва капиллярной связи. Для определения этого показателя в поле подготавливают квадратный или круглый монолит, имеющий площадь поперечного сечения 1—2 м^2 и высоту не менее 2 м, окапывая его со всех сторон траншеей глубиной до 2 м. Затем монолит плотно обвертывают рубероидом, концы которого склеивают расплавленным битумом. Верхняя часть изоляционного материала должна возвышаться над почвой на 10 см.

Траншею засыпают, тщательно утрамбовывая почву, а к возвышающемуся над ее поверхностью краю рубероида снаружи присыпают валик из почвы. После этого монолит промачивают водой. Воду подают так, чтобы на поверхности все время имелся слой толщиной 2—3 см. Монолит необходимо полностью увлажнить. После впитывания воды поверхность монолита покрывают фанерой и засыпают 50-сантиметровым слоем почвы.

Через 10 дней монолит открывают и немедленно определяют послойно влажность на глубину 2 м, повторность отбора почвенных образцов 4—5-кратная. Скважины, образующиеся при отборе проб почвы, тщательно забивают влажной глиной. Монолит оставляют открытым для свободного испарения влаги. Влажность в монолите определяют 4—5 раз, интервал между анализами 10—20 дней.

Результаты исследования изображают в виде кривых распределения влаги по глубине. При анализе полученных данных следует выделять два слоя. Верхний — сухой слой почвы мощностью 15—20 см, влажность в котором быстро нарастает книзу. Второй слой, расположенный ниже, вначале быстро теряет влагу, а затем его влажность стабилизируется. Эту установившуюся влажность второго слоя и принимают за влажность разрыва капиллярной связи (ВРК).

Влажность разрыва капиллярной связи часто принимают как предполивной порог влажности почвы для многих орошаемых культур.

Влажность завядания. Определение влажности завядания (ВЗ) чрезвычайно важно для почвенной, агрономической и агромелиоративной характеристики почвы, так как этот показатель является нижней границей запаса продуктивной почвенной влаги.

Влажность завядания можно определить расчетным путем, умножая максимальную гигроскопичность исследуемой почвы на коэффициент 1,34. Рекомендуют и другие коэффициенты: 1,5 и 2,0. Некоторые ученые увязывают коэффициент с культурой: для пшеницы 1,3—1,6; для льна-долгунца 1,7—2,3 и т. д.

Противоречивость мнений по поводу значений коэффициента свидетельствует о невысокой точности расчетного метода определения влажности завядания.

Более достоверным является биологический метод — метод проростков (метод вегетационных миниатюр). Для определения влажности завядания берут 40—60 г воздушно-сухой почвы и помещают в алюминиевый бюкс, затем приливают в него по каплям воду из капельницы, не допуская заливания поверхности почвы. Вода, впитываясь в почву, вытесняет из нее воздух.

После увлажнения почвы в бюкс высевают несколько зерен ячменя, прикрывают его плотной бумагой для предотвращения испарения влаги и держат в таком состоянии до появления всходов.

С появлением всходов бюксы переносят в освещенное место. При появлении у ячменя двух листочков в бюксе оставляют четыре растения, остальные удаляют. Поверхность почвы заливают полузастывшей смесью парафина и технического вазелина (соотношение 4 : 1). Для газообмена в застывшей на поверхности смеси делают 2—3 булавочных прокола.

После этого бюкс ставят в защищенное от солнца место и ждут завядания растений, наблюдая за ними ежедневно утром, днем и вечером. Когда все листья подвянут и опустятся до половины своей длины, бюкс помещают под стеклянный колпак с влажной ватой.

Если до следующего утра растения не восстановят тургорного состояния, значит почва достигла влажности устойчивого завядания.

Для определения исследуемого показателя почву извлекают из бюкса, верхний слой толщиной 1—2 см удаляют вместе с парафиновой коркой. Остаток почвы освобождают от корней, возвращают в тот же бюкс и сушат при температуре 100—105°С. Полученная при расчетах влажность и есть влажность завядания.

Влажность завядания для определенного типа почвы величина постоянная: супесчаная — 2,2; суглинистая — 4,7; глинистая — 8,0; тяжелая, глинистая, богатая перегноем — 14,2; торфянистая — от 20 до 50%.

Начинать определение максимальной гигроскопичности и влажности завядания следует на лабораторно-практических занятиях, а продолжать анализы и делать конечные расчеты — в неурочное время.

Задание. Определить методом проростков влажность завядания метрового слоя почвы, отобранной послойно на опытном поле учебно-опытного хозяйства. Используя данные влажности завядания и ранее определенной максимальной гигроскопичности, вычислить для различных слоев исследуемой почвы коэффициенты пересчета, применяемые в расчетном методе установления верхней границы недоступной для растений почвенной влаги.

Материалы и оборудование: зерно ячменя, бюксы, капельницы, парафин, технический вазелин, эксикатор, сушильный шкаф, весы ВЛТК-500.

Влагоемкость почвы и методы ее изучения. Влагоемкость почвы характеризует способность почвы вмещать или удерживать определенное количество воды; ее выражают в процентах массы абсолютно сухого вещества почвы, объема в ненарушенном состоянии или в других единицах ($м^3$, мм водного столба).

Выделяют полную, капиллярную и наименьшую влагоемкость почвы. *Полная влагоемкость* — содержание влаги в почве при заполнении ею всех пор. В таком состоянии почвы находятся короткое время. *Наименьшая, или полевая, влагоемкость* — количество воды, удерживаемое почвой в течение длительного времени. Влажность песчаных почв при наименьшей влагоемкости со-

ставляет 4—10%, супесчаных — 10—20, легко- и среднесуглинистых — 20—30, тяжелосуглинистых и глинистых — 30—40%.

Капиллярная влагоемкость — количество влаги, удерживаемое в капиллярных порах. Почвы бывают увлажнены до капиллярной влагоемкости в условиях близкого залегания уровня грунтовых вод.

Наименьшая влагоемкость почвы представляет значительный интерес, так как она является верхним пределом увлажнения почвы при поливах.

Разработано несколько методов определения наименьшей влагоемкости почвы. Лучшие среди них — метод затопляемых площадок и ускоренный метод определения влагоемкости, предложенный В. Е. Кабаевым.

При методе затопляемых площадок на поле выбирают площадку размером 2×2 м, выравнивают, делают вокруг нее валик высотой 25—30 см и заливают водой. Чтобы избежать разрушения почвенной структуры, при вливании воды часть площадки покрывают мульчирующим материалом (трава или песок). Для промачивания метрового слоя почвы на 1 м^2 площадки расходуют на глинистых и суглинистых почвах 150—200, а на супесчаных — 120—150 л воды. Расчетное количество воды выливают беспрерывно во избежание образования воздушных подушек.

После впитывания всей нормы воды площадку покрывают полиэтиленовой пленкой, на которую кладут сено или солому, чтобы устранить испарение воды с поверхности почвы. В таком виде площадку содержат до тех пор, пока гравитационная вода не уйдет за пределы метрового слоя. В песчаных почвах этот процесс заканчивается через сутки, супесчаных — через 2—3 сут, в суглинистых — через 3—4 сут, в глинистых — через 4—5 сут.

По данным Э. В. Немиро и Е. А. Тарасенко (1979), на тяжелосуглинистых солонцеватых почвах наименьшую влагоемкость почвы следует определять на десятые сутки после затопления площадки.

По истечении указанных сроков в центральной части залитой площадки берут послойно почвенные пробы на глубину 1 м, повторность отбора четырехкратная. При взятии проб следует пользоваться досками, уложенными на валики.

Через 2—3 сут определение повторяют. Если расхождение во влажности почвы между вторым и первым определением не превышает 0,6—0,7%, исследование заканчивают.

При ускоренном методе наименьшую влагоемкость почвы можно определять и в поле и в лаборатории. Высушенный до воздушно-сухого состояния образец почвы весом 12—15 г помещают на плотный лист бумаги и растирают до пыли. Растертую почву просеивают через сито или марлю, отвешивают 5 г и помещают в фарфоровую чашку. Легким постукиванием концентрируют почву

на дне чашки. Затем водой из мерной пипетки осторожно, по каплям, смачивают почву до полного ее насыщения, которое устанавливают при появлении на поверхности почвы свободной капли воды.

По делениям пипетки с точностью до 0,1 см³ определяют количество воды, пошедшее на насыщение почвы. Плотность воды, независимо от температуры воздуха, принимают равной 1 г/см³.

Полное насыщение почвы ($B_{общ}$) водой определяют по формуле:

$$B_{общ} = \frac{100\,C}{P},$$

где C — количество воды, пошедшее на насыщение почвы, г; P — навеска почвы, г.

Наименьшую влагоемкость почвы (НВ) рассчитывают по формуле:

$$НВ = \frac{100\,C}{P}\,K,$$

где K — коэффициент перевода полного насыщения почвы в наименьшую влагоемкость, установленный экспериментальным путем, $K = 0{,}43$.

Пример вычисления. На насыщение 5 г почвы израсходовано 2,3 см³ воды. Наименьшая влагоемкость почвы (НВ) будет равна: $НВ = 2{,}3 \cdot 100 \cdot 0{,}43/5 = 19{,}8\%$ от массы в сухом состоянии.

Задание. Определить методом затопляемых площадок наименьшую влагоемкость почвы опытного участка. Повторность отбора образцов шестикратная. После взвешивания сгруппировать послойно образцы почвы, растереть и определить наименьшую влагоемкость по ускоренному методу В. Е. Кабаева. Рассчитать НВ для метрового слоя почвы, определенную двумя методами. Установить погрешность определения НВ ускоренным методом в сравнении с методом затопляемых площадок.

Расчеты запасов влаги в почве. Располагая данными о влажности почвы, объемной массе, влажности завядания, влажности замедления роста (влажности разрыва капилляров), можно рассчитать общий, продуктивный, оптимальный и мертвый запас влаги.

Запас влаги в определенном слое почвы выражают в м³/га или в мм водного столба. Общий запас воды на площади в 1 га рассчитывают по формуле:

$$P = 100\,BHa,$$

где P — общий запас воды, м³/га; B — влажность расчетного слоя почвы, % от массы в сухом состоянии; H — глубина расчетного слоя почвы, м; a — объемная масса почвы, г/см³.

В связи с тем, что 10 м³ воды на 1 га составляют слой толщиной 1 мм, запас влаги, мм, рассчитывают по формуле:

$$P = \frac{100BHa}{10} = 10\,BHa.$$

Пользуясь этими формулами и подставляя в них значения наименьшей влагоемкости, влажности замедления роста, влажности завядания, рассчитывают соответствующие запасы влаги в почве.

Влажность почвы можно выразить в объемных процентах, что показывает долю объема, занятого водой относительно всего объема образца.

Пересчет проводят по формуле:

$$B_{об} = Ba,$$

где $B_{об}$ — влажность, % объема; B — влажность, % от массы почвы в сухом состоянии; a — объемная масса почвы, г/см³.

Пример. Влажность метрового слоя каштановой почвы 16,4% от массы почвы в сухом состоянии, объемная масса этого слоя 1,36 г/см³. Влажность исследуемого слоя в объемных процентах будет равна: $B_{об} = Ba = 16{,}4 \cdot 1{,}36 = 22{,}3\%$.

Влажность почвы можно выразить и в процентах от наименьшей влагоемкости. Для этого используют следующую пропорцию:

НВ в % от массы сухой почвы — 100.

Влажность в % от массы сухой почвы — x.

Пример. Влажность метрового слоя южного чернозема 22% от массы в сухом состоянии, наименьшая влагоемкость (НВ) этой почвы равна 26% от массы в сухом состоянии. Влажность южного чернозема в % от НВ определяем из пропорции:

26 — 100

22 — x, откуда

$$x = \frac{22 \cdot 100}{26} = 84{,}6\%.$$

Максимально продуктивный запас влаги в почве определяют по разнице запасов при НВ и ВЗ; оптимальную влагу — по разнице запасов при НВ и ВРК (или ВЗР).

Наибольший запас доступной влаги при НВ и ВЗ для некоторых почв (мм) приведен в таблице 3.

Задание 1. Рассчитать запасы влаги в метровом слое чернозема обыкновенного среднесуглинистого при наименьшей влагоемкости, влажности замедления роста и влажности завядания. Определить максимальный размер доступной, оптимальной и мертвой влаги в м³/га, мм, % к общей скважности. Исходные данные: объемная масса метрового слоя почвы 1,30 г/см³, полная влагоемкость 36%, наименьшая влагоемкость 24%, влажность замедления роста 17%, влажность завядания 12% от массы почвы в сухом состоянии.

Результаты расчетов следует записать по форме 4.

Сопоставить полученные результаты с данными таблицы 3.

Задание 2. Фактическая влажность метрового слоя темно-каштановой легкосуглинистой почвы 16%. Определить запас

3. Наибольший запас доступной влаги и запас влаги при НВ и ВЗ для некоторых почв, мм

Почва	Запас доступной влаги при НВ в слое, см		Запас влаги при НВ в слое, см		Запас влаги при ВЗ в слое, см	
	0—100	0—200	0—100	0—200	0—100	0—200
Лугово-черноземная	164	302	367	710	203	408
Мощный тучный чернозем на тяжелом лессовидном суглинке	223	407	360	680	137	273
Обыкновенный чернозем	157	278	358	675	201	397
Южный солонцеватый чернозем на глине	159	295	355	695	196	400
Темно-каштановая	190	378	306	616	116	288
Типичный серозем на лессовидном суглинке	148	289	242	477	94	188

Форма 4

Показатели	Влажность, % к массе сухой почвы	Запас влаги, м³/га	Запас влаги, мм	Запас влаги, % к общей скважности	Влажность, % к объему почвы
Полная влагоемкость					
Наименьшая влагоемкость					
Влажность замедления роста					
Влажность завядания					
Максимально доступная влага					
Максимально легкодоступная влага					

продуктивной и оптимальной влаги в ней. Дополнительные исходные данные: ВЗ=7%; ВРК=14%; объемная масса=1,40 г/см³.

На основании полученных данных дать оценку обеспеченности растений продуктивной влагой, пользуясь следующей шкалой:

Оценка обеспеченности растений влагой	Запас продуктивной влаги (мм) в слое, см	
	0—20	0—100
Очень хорошая	—	>160
Хорошая	>40	160—130
Удовлетворительная	20—40	130—90
Плохая	<20	90—60
Очень плохая	—	<60

Водопроницаемость почвы и методы ее определения. Под водопроницаемостью понимают способность почвы впитывать и фильтровать воду. В первой фазе происходит последовательное заполнение водой свободных пор под влиянием сил тяжести, напора воды и менисковых сил, возникающих на границе смачивания. Скорость этого процесса сильно изменяется во времени. Во второй фазе движение воды происходит в порах, полностью заполненных ею, только под влиянием градиента напора; оно мало изменяется во времени.

Впитывание и фильтрационная способность почв характеризуется соответствующими коэффициентами. В природных условиях разделить процесс водопроницаемости на отдельные фазы почти невозможно; когда поверхностные слои, получившие воду в первую очередь, уже насытились и начинают ее фильтровать, в нижележащих горизонтах вода в это время только впитывается.

В агрономической практике чаще имеют дело с процессом впитывания, так как воду на поля подают в небольшом количестве.

Показатели водопроницаемости почвы на орошаемых почвах определяют условия организации и проведения поливов. При подаче поливной нормы на поле с интенсивностью, превышающей скорость впитывания, будет происходить застой или сток воды, не успевшей просочиться в почву.

Застой приводит к неравномерному распределению воды по поверхности орошаемого участка, ухудшению физического состояния и питательного режима почвы. Сток уменьшает фактическую поливную норму и, как правило, сопровождается ирригационной эрозией.

С точки зрения орошения оптимальная водопроницаемость почвы 1000—1500 м³/га/ч (табл. 4).

4. Мелиоративная оценка водопроницаемости почв (по В. А. Ковде)

Водопроницаемость		Примечание
м³/га/ч	степень	
<100—200	Низкая	Опасность сильной эрозии
300—500	Удовлетворительная	Опасность слабой эрозии
500—1000	Хорошая	То же
1000—1500	Оптимальная	»
2000—3000	Высокая	Опасность подтопления и заболачивания
>5000	Очень высокая	То же

Водопроницаемость почвы — процесс управляемый, зависящий от обработки почвы, удобрений и способов орошения. Рациональ-

ное использование оросительной воды возможно только в усл виях оптимальной водопроницаемости почвы, а поэтому надо п стоянно следить за интенсивностью впитывания воды, регуляр ее определять. Для этого в поле выбирают три хорошо оформле ные борозды длиной 1 м, концы их перегораживают железным щитами. Затем во все борозды одновременно подают воду слое 8 см. Через каждые 10 мин воду доливают. Наблюдения и уче ведут до полного расхода воды по заданной норме (500, 1000 ил 1500 м³/га).

Скорость впитывания (V) и количество впитавшейся воды (m_t) в почву определяют из расчета на всю площадь, которую должна увлажнить борозда:

$$V = \frac{Q}{lat}; \qquad m_t = \frac{Q}{la},$$

где Q — количество впитавшейся воды, л; l — длина борозды, м; a — межбороздное расстояние, м; t — время впитывания воды, мин.

Есть много методов определения водопроницаемости почвы. Ниже приведены методы, получившие признание в условиях орошаемого земледелия, — метод малых заливаемых площадок (метод рам) и метод трубок.

При *методе малых заливаемых площадок* необходимо следующее оборудование: рамы учетные и защитные, трубки, металлические щиты, термометры, молотки, ведра; литровые кружки, мензурки, лопаты, линейки, секундомеры, указатели уровня воды.

Определение проводят в полевых условиях перед началом вегетационного полива на типичном для данного поля участке в четырех повторностях. В почву на глубину 6—10 см, не нарушая естественного состояния поверхности поля, врезают металлические рамы (защитная площадь 2500, учетная — 625 см²). Появившиеся при установке рам щели между их стенками и почвой тщательно уплотняют. Высота стенок металлических рам 15—18 см; при исследовании водопроницаемости свежевспаханной почвы используют рамы высотой 35—40 см, то есть врезают их на глубину взрыхленного слоя.

С помощью внутренней рамы учитывают количество впитавшейся воды в литрах за время, выраженное в минутах, при постоянном слое высотой 5 см.

Для предупреждения боковой фильтрации воды с учетной рамы (25×25 см) устанавливают защитную раму (50×50 см), воду в которую заливают одновременно с учетной. Глубина слоя воды должна быть такой же, как и на учетной площадке на всем протяжении измерений.

Расход воды учетной площадкой отмечают через каждые 5 мин, а затем через 10—15 мин. Количество воды, прилитой при этом в защитную площадку, не учитывают.

При наступлении постоянной скорости впитывания на протяжении последних двух наблюдений подачу воды прекращают и на основе данных учета делают расчеты показателей водопроницаемости (табл. 5).

5. **Изменение водопроницаемости почвы в процессе определения**

Время наблюдений		Промежуток времени между наблюдениями, мин	Количество прилитой воды, л	Скорость впитывания воды, мм/мин	Количество воды, впитавшейся в почву		
					за период, мм	в нарастающем итоге	
ч	мин					мм	м³/га
8	32	—	—	—	—	—	—
	37	5	1,1	3,52	17,6	17,6	176
	42	5	0,6	1,92	9,6	27,2	272
	47	5	0,4	1,28	6,4	33,6	336
	57	10	0,7	1,12	11,2	44,8	448
	...	...	...	...	...	...	...
9	32	60	4,9	1,31	78,4	78,4	784

Скорость впитывания (V) вычисляют по формуле

$$V = \frac{Q_1}{St},$$

где V — скорость впитывания за период, мм/мин; Q_1 — расход воды, л; S — площадь учетной рамы, м²; t — время, мин.

Так, если площадь учетной рамы 0,0625 м², количество прилитой воды за первые 5 мин — 1,1 л, скорость впитывания воды

$$V = \frac{1,1}{0,0625 \cdot 5} = 3,52 \text{ мм/мин.}$$

Количество впитавшейся воды в почву (m_t) вычисляют по формуле:

$$m_t = \frac{Q}{S} = \frac{1,1}{0,0625} = 17,6 \text{ мм, или } 176 \text{ м}^3/\text{га.}$$

За первый час $m_t = \frac{4,9}{0,0625} = 78,4$ мм, или 784 м³/га.

Результаты определения скорости впитывания воды в почву (и особенно значения коэффициентов фильтрации) обычно приводят к температуре 10°С, для чего используют формулу Хазена:

$$V_{10} = \frac{V_t}{(0,7 + 0,03t)},$$

где V_t — скорость впитывания воды при фактической температуре, мм/мин; t — температура воды, °С.

Скорость впитывания воды (V_{10}), температура которой была 17,2°С, в рассматриваемом примере равна:

$$V_{10} = \frac{V_t}{(0{,}7+0{,}03t)} = \frac{3{,}52}{(0{,}7+0{,}03\cdot 17{,}2)} = 2{,}89 \text{ мм/ мин.}$$

Метод трубок используют при сравнительной оценке водопроницаемости отдельных генетических горизонтов почвы. Для этой цели применяют стальные трубки длиной 12—13 см и диаметром 5—7 см. С одного конца эти трубки должны быть заострены.

Перед определением на изучаемой глубине готовят горизонтальные площадки, на каждой из которых устанавливают по 3 трубки. На стенке трубки на высоте 5 или 10 см над уровнем почвы крепят указатель уровня воды.

Этот уровень поддерживают постоянным, подливая воду и учитывая количество впитавшейся воды через определенные промежутки времени.

Расчет водопроницаемости (мм/мин) ведут по уравнению Дарси:

$$K = \frac{10Ql}{tS(h+l)},$$

где K — коэффициент впитывания, мм/мин; Q — количество впитавшейся воды, см³; t — время, мин; S — площадь поперечного сечения трубки, см²; l — глубина вреза трубки, см; h — постоянная высота слоя воды (5 или 10 см), см.

Задание. Определить скорость впитывания воды (V_{10}) орошаемой и неорошаемой почвой, количество впитавшейся воды в м³/га (m_t), вычертить график, установить влияние орошения на водопроницаемость почвы и дать этому показателю мелиоративную оценку.

Водоподъемная способность почв и методы ее определения. Водоподъемная способность почвы — это свойство почвы поднимать воду вверх по капиллярам. Она зависит от порозности, механического состава и влажности почвы, близости уровня грунтовых вод и погодных условий. На скорость капиллярного подъема воды влияет и радиус капилляров почвы: чем тоньше почвенные поры, тем больше высота и меньше скорость капиллярного подъема; в очень мелких неактивных капиллярных порах скорость подъема воды равна нулю.

Песчаные и структурные почвы, характеризующиеся наличием крупных капиллярных пор, поднимают воду быстро, но на малую высоту. Структурно-пылеватые и пылеватые почвы имеют тонкие капиллярные поры; воду поднимают медленно, но высоко.

Высоту капиллярного подъема необходимо знать для определения критического уровня залегания грунтовых вод, то есть минимальной глубины залегания минерализованных вод, при которой не происходит засоления почвы.

Для определения возможности засоления почв важно знать не только высоту, но и скорость капиллярного подъема воды. Песчаные и супесчаные почвы имеют высокую скорость капиллярного подъема воды и при близком залегании минерализованных вод от поверхности почвы засоляются очень быстро; глинистые почвы имеют низкую скорость капиллярного подъема воды и засоляются медленнее, чем песчаные.

Почвы разного механического состава характеризуются следующей водоподъемной способностью; рыхлый песок 10—50 см; связный песок — 50—100; глина и супесь 100—200; легкий и тяжелый суглинки 200—300; пылеватые легкие и средние суглинки — 300—500 см. Определяют капиллярный подъем воды в лабораторных условиях в образцах почвы, имеющих нарушенное сложение. Для анализа берут четыре стеклянные трубки диаметром 1,5—2 см и высотой 50—60 см и заполняют различными исследуемыми образцами: песок, структурная, структурно-пылеватая и пылеватая почва.

Трубки с почвой устанавливают на штативы и опускают в чашку Петри или в какую-либо ванночку с водой так, чтобы дно трубки, обмотанное марлевой тканью, стояло на фильтровальной бумаге, слегка покрытой тонким слоем воды. Вода по почвенным капиллярам поднимается вверх и насыщает почвогрунты. Время начала анализа фиксируют, а затем через каждые 10 мин проводят замеры высоты капиллярного подъема воды. Наблюдения длятся от 60 мин до нескольких суток или даже недель.

Отсчеты ведут по миллиметровой бумажной полоске, наклеенной сверху на трубке, или с помощью линейки. При каждом отсчете на трубке делают отметку восковым карандашом. Результаты наблюдения записывают в таблицу по форме 5.

Форма 5

Высота капиллярного подъема воды за время наблюдения	Образец			
	песок	почва		
		структурная	структурно-пылеватая	пылеватая

Скорость капиллярного подъема определяют путем деления высоты столба смоченной почвы на время поднятия воды по капиллярам. По результатам наблюдений строят интегральную кривую высоты и кривую скоростей капиллярного подъема в зависимости от времени.

Сложение почвы. Под сложением понимают степень уплотненности или рыхлости почвы, характеризуемых ее объемной

массой и скважностью. Показатель объемной массы необходи при расчетах запасов влаги в почве, валового содержания гум са и питательных веществ в ней, поливных норм. Объемну массу используют при определении способа и интенсивност обработки почвы, техники полива и т. д.

Объемной массой почвы называют массу единицы объема с хой почвы ненарушенного сложения, ее выражают в г/см³ и т/м³.

При определении объемной массы почвы наиболее распрос ранен метод режущего кольца. Почвенные пробы с ненарушен ным строением берут на исследуемую глубину специальным б ром с вместимостью цилиндра 50 см³. Малый объем пробы вы годен тем, что весь образец можно перенести в бюкс для опре деления влажности почвы. Повторность определения пяти шестикратная. Исходную информацию по определению объемно массы почвы заносят в таблицу по форме 6.

Форма

Место взятия пробы	Повторность	Слой почвы, см	Номер бюкса	Тара бюкса, г	Масса бюкса с почвой после сушки, г	Масса сухой почвы, г	Объем цилиндра, см³	Объемная масса почвы, г/см³

Объемную массу почвы (a) рассчитывают по формуле:

$$a = \frac{P}{O_ц},$$

где P — масса абсолютно сухой почвы, г; $O_ц$ — объем цилиндра, см³; $O_ц = \pi r^2 H$; π — константа, равная 3,14; r — радиус цилиндра, см; H — высота цилиндра, см.

Удельная масса почвы — отношение массы твердой фазы почвы в абсолютно сухом состоянии к массе воды того же объе ма; ее выражают в г/см³.

Удельная масса зависит от минералогического состава почвы и содержания в ней органических веществ. Для почв, наиболее распространенных в зонах орошаемого земледелия, она колеблется от 2,60 до 2,70 г/см³.

Определяют удельную массу твердой фазы почвы пикномет рическим методом. На аналитических весах отвешивают 10 г абсолютно сухой почвы, предварительно растертой и просеян ной через сито диаметром 1 мм.

В ходе анализа пикнометр вместимостью 100 см³ заполняют кипяченой (кипятят в колбе 40—45 мин), охлажденной до ком натной температуры дистиллированной водой. Из взвешенного пикнометра воду, чуть больше половины, отливают в стакан и в

пикнометр через воронку высыпают взятую навеску почвы, остатки ее на воронке смывают водой. Затем кипятят 30 мин, по мере выкипания воды и удаления воздуха периодически до метки доливают дистиллированную воду.

После кипячения пикнометр охлаждают, доводят до метки водой, вытирают снаружи и взвешивают. Удельную массу твердой фазы почвы, г/см³, вычисляют по формуле:

$$Д = \frac{P}{(A+P)-C},$$

где P — навеска абсолютно сухой почвы, г; A — масса пикнометра с водой, г; C — масса пикнометра с водой и почвой, г.

Скважность почвы. Располагая данными об объемной и удельной массах почвы, определяют ее скважность, или порозность. Скважность зависит от механического состава и структуры почвы, ее объемной массы, степени пронизанности корнями растений, ходами червей и землероев. Наибольшая скважность у структурных сильно гумусированных черноземных почв (55—65%), а наименьшая — у песчаных и оглеенных (30%). С утяжелением механического состава почвы этот показатель увеличивается: для песков он колеблется от 30 до 40%, для суглинков — от 40 до 50, для глин — от 50%, и выше.

Общую скважность V, %, рассчитывают по формуле:

$$V = \frac{d-a}{d} \cdot 100,$$

где d — удельная масса почвы, г/см³; a — объемная масса почвы, г/см³.

Часть скважности, которая при влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости, занята воздухом, называют порозностью устойчивой аэрации. Для нормального газообмена воздухоемкость почвы и порозность аэрации не должны быть ниже 10—15% всего объема почвы.

Пример вычисления. Объемная масса пахотного слоя каштановой почвы 1,28 г/см³, удельная масса — 2,60 г/см³. Тогда скважность пахотного слоя этой почвы

$$V = \frac{2{,}60-1{,}28}{2{,}60} \cdot 100 = 50{,}8\%.$$

Сравнительный агрегатный анализ орошаемой и неорошаемой почвы. Оросительная вода влияет на физические свойства почвы. Ее капелевидная масса разрушает структуру почвы, уплотняет ее, способствует заплыванию и т. п. При капиллярном увлажнении почвы агрегаты не разрушаются. Таким образом, влияние оросительной воды на почву зависит от способа полива.

Наряду с отрицательным действием оросительная вода оказывает и положительное влияние на физическое состояние почвы, восстанавливает ее физическую спелость.

Определяя количество водопрочных комков почвы, можно проследить за процессом разрушения и восстановления структуры почвы, являющейся одним из важнейших показателей почвенного плодородия.

Существует много методов определения количества водопрочных агрегатов. Наиболее распространен сейчас метод Н. И. Саввинова, который проводят следующим образом.

Образец почвы весом 2,5—3 кг высушивают до воздушно-сухого состояния и просеивают через набор сит с диаметром отверстий 10, 5, 3, 2, 1, 0,5 и 0,25 мм. Каждую фракцию почвы после просеивания взвешивают и вычисляют в процентах к общей массе. Затем из фракций составляют среднюю пробу массой 50 г. Для этого с каждого сита берут количество почвы в граммах, соответствующее половине процентного содержания ее в образце. Фракцию мельче 0,25 мм в среднюю пробу не берут, хотя при расчете ее массу учитывают.

Составленную навеску почвы высыпают в литровый цилиндр с водой и оставляют на 5 мин для вытеснения воздуха. Чтобы окончательно удалить воздух из крупных пор почвы, цилиндр доливают водой, закрывают притертым стеклом, быстро приводят в горизонтальное, а затем снова в вертикальное положение и оставляют еще на 5 мин. После этого цилиндр закрывают пришлифованным стеклом так, чтобы в нем не оставалось пузырьков воздуха, и быстро переворачивают вверх дном.

Когда главная масса почвы упадет вниз, цилиндр переворачивают обратно. Так делают 10 полных оборотов. Из цилиндра почву переносят для мокрого просеивания на сита, погруженные в воду. Для этого заранее наливают воду в специальную цилиндрическую ванну и опускают туда колонку сит с диаметром отверстий 3, 1, 0,5, 0,25 мм. Сита опускают без дна и крышки в ванну так, чтобы верхнее сито было погружено в воду на 8—10 см.

Для мокрого просеивания почвы набор сит медленно поднимают вверх на 5—6 см и, не вынимая верхнего сита из воды, быстрым отрывистым движением опускают вниз. Через 2—3 с сита вновь поднимают и опускают.

После 15 таких встряхиваний сита из воды вынимают, оставшиеся на них после купания комки смывают при помощи промывалки в большие фарфоровые чашки (с каждого сита отдельно) и промывают до тех пор, пока вода над почвой не станет прозрачной. После этого почву переносят в малые предварительно взвешенные чашки.

Чашки ставят на водяную баню, высушивают до воздушно-сухого состояния, взвешивают и вычисляют процентное содержание водопрочных комков. Для этого массу каждой фракции комочков умножают на 2. Результаты анализа заносят в таблицу по форме 7.

Форма 7

Результаты отмывки водопрочных агрегатов

Исследуемый образец почвы	Просеивание воздушно-сухой почвы			Взято для просеивания в воде, г	Просеивание в воде				
	размер частичек, мм	чистая масса фракции, г	содержание, %		номер чашки	масса чашки, г	масса чашки с агрегатом, г	чистая масса агрегата, г	содержание, %
Неорошаемая, слой 0—20 см	>10								
	10—5								
	5—3								
	3—2								
	2—1								
	1—0,5								
	0,5—0,25								
	<0,25								
	Всего водопрочных агрегатов								
Орошаемая, слой 0—20 см	>10								
	10—5								
	5—3								
	3—2								
	2—1								
	1—0,5								
	0,5—0,25								
	<0,25								
	Всего водопрочных агрегатов								

Примечание. Для сухого просеивания взято 2 кг почвы.

В параллельных анализах допускают предельную несходимость массы почвы одной и той же фракции до 4%.

На юге Украины для определения общего количества водопрочных агрегатов применяют метод Н. И. Саввинова в модификации К. Э. Бурзи.

Среднюю навеску почвы в 50 г, отобранную, как было указано выше, капиллярно насыщают водой на фильтровальной бумаге, затем при помощи промывалки переносят в стакан вместимостью 500 мл и оставляют на 15—20 ч.

После этого почву со стакана переносят в литровый цилиндр, последний доливают до верха водой, закрывают притертым стеклом, делают один полный оборот и переносят на сита для просеивания в воде путем встряхивания 30 раз. Затем сита вынимают, оставшиеся комочки смывают в фарфоровые чашки, сушат до воздушно-сухого состояния, взвешивают и рассчитывают процентное содержание.

Задание. Определить процентное содержание водопрочных агрегатов более 0,25 мм в диаметре для горизонтов 0—10, 10—20, 20—30 см орошаемой и неорошаемой почвы. На основании полученных данных сделать выводы о влиянии орошения на структурно-агрегатный состав каждого горизонта почвы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАСОЛЕННОСТИ ОРОШАЕМОЙ ПОЧВЫ

Засоленными считают почвы, в которых содержание водорастворимых солей превышает 0,3%. Чаще всего в таких почвах встречаются NaCl, Na_2SO_4, $NaHCO_3$, $CaSO_4$, $CaCl_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$.

Содержание указанных солей в почве можно определить с помощью водной вытяжки, результаты анализа которой позволяют установить общее содержание легкорастворимых солей в почве, количественный и качественный состав солей, наличие и концентрацию токсических солей, тип и степень засоления почвы.

Приготовление водной вытяжки и определение ее основных показателей. На технических весах отвешивают 100 г воздушно-сухой почвы. Предварительно определяют содержание в исследуемой почве гигроскопической воды и в соответствии с этим изменяют навеску. Например, при содержании гигроскопической воды 4,56% вместо 100 г отвешивают 104,56 г. Если исследуют влажную нерастертую почву с грубой структурой, то навеску удваивают. При анализе свежих образцов взятие навески должно сопровождаться отбором пробы на влажность.

Навеску почвы переносят в стеклянную банку с притертой пробкой и приливают 500 мл дистиллированной воды. Вода не должна содержать CO_2, так как в его присутствии карбонаты кальция и магния переходят в растворимые бикарбонаты, которые увеличивают сухой остаток и общую щелочность водной вытяжки, вследствие чего результаты определения искажаются. Банку закрывают, взбалтывают 3 мин, после чего вытяжку фильтруют через сухой складчатый фильтр. Фильтрат перефильтровывают до тех пор, пока он не станет прозрачным. Затем его собирают в чистый приемник — плоскодонную колбу вместимостью 500 мл.

К анализу вытяжки приступают по окончании фильтрации и начинают его с определения карбонатной и общей щелочности, поскольку этот показатель может быстро измениться.

Определение pH водной вытяжки проводят в фильтрате или, что правильнее, в суспензии до фильтрования вытяжки. Для этого в химический стаканчик отбирают 10—20 мл суспензии и с помощью pH-метра определяют pH.

Сухой и прокаленный остаток в водной вытяжке определяют так же, как и в оросительной воде.

При *определении* CO_3^{2-} к 25 мл водной вытяжки прибавляют 2 капли фенолфталеина. Появление красной окраски свидетельствует о наличии нормальных карбонатов. Затем раствор титруют 0,02 н. раствором H_2SO_4 до обесцвечивания. Если вытяжка окрашена органическим веществом, то для более точного определения конца титрования рекомендуется титровать в присутствии этало-

на (второй стакан, содержащий такое же количество водной вытяжки, но без фенолфталеина).

Окраска фенолфталеина исчезает, когда все количество нормальных карбонатов перейдет в бикарбонаты и, следовательно, щелочность, вызываемая ими, во взятом объеме водной вытяжки будет равна удвоенному числу 0,02 н. раствора H_2SO_4 (мл), израсходованному на титрование.

Расчет CO_3^{2-} ведут по формулам:

$$A = \frac{2 \cdot 100 a н. V}{в с},$$

где A — мг·экв. CO_3^{2-} в 100 г почвы; a — количество титрованного раствора H_2SO_4, мл; н. — нормальность раствора H_2SO_4; V — общее количество воды, взятое для приготовления водной вытяжки, мл; 2 — коэффициент перевода в нормальные карбонаты; 100 — коэффициент для пересчета в проценты; $в$ — объем вытяжки, взятый для титрования, мл; $с$ — навеска почвы, г;

$$B = 0{,}03A,$$

где B — процентное содержание CO_3^{2-}; 0,03 — граммовое значение мг·экв. CO_3^{2-}.

Пример вычисления. Для определения CO_3^{2-} взято 25 мл водной вытяжки. На титрование затрачено 3,2 мл 0,02 н. раствора H_2SO_4.

$$A = \frac{2 \cdot 100 \cdot 3{,}2 \cdot 0{,}02 \cdot 500}{25 \cdot 100} = 2{,}56 \text{ мг·экв.};$$

$$B = 0{,}03A = 0{,}03 \cdot 2{,}56 = 0{,}0768\%.$$

Реактивы — те же, что и при определении CO_3^{2-} в оросительной воде.

Общую щелочность (HCO_3^-) определяют следующим образом. В тот же стакан, где определяли CO_3^{2-}, прибавляют 2 капли метилоранжа и титруют 0,02 н. раствором H_2SO_4 до перехода желтой окраски в розовую. Так как конец титрования улавливается с трудом, титрование необходимо вести в присутствии эталона — второго стакана, содержащего такое же количество водной вытяжки и 2 капли метилоранжа. Все количество 0,02 н. раствора H_2SO_4, израсходованное на титрование в присутствии фенолфталеина и метилоранжа, будет соответствовать общей щелочности во взятом объеме вытяжки.

Расчет количества HCO^-_3 ведут по формулам:

$$A = \frac{100(a+m) н. V}{в с},$$

где A — содержание HCO_3^- в мг·экв.; a — количество H_2SO_4, пошедшее на титрование при определении CO_3^{2-}, мл; m — количество H_2SO_4, пошедшее на титрование при определении HCO_3^{2-}, мл; н. — нормальность титрованного раствора H_2SO_4; V — общее количество воды, взятое для приготовления водной вытяжки, мл; 100 — коэффициент для пересчета на 100 г почвы; $в$ — объем вытяжки, взятый для титрования, мл; с — навеска почвы, г.

$$B = 0{,}061A,$$

где B — процентное содержание HCO_3^-; 0,061 — граммовое значение мг·экв. HCO_3^-.

Пример вычисления. Для определения щелочности взято 25 мл водной вытяжки. На титрование при определении CO_3^{2-} израсходовано 3,2 мл, а при определении общей щелочности 4,0 мл 0,02 н. раствора H_2SO_4.

$$A = \frac{100(3{,}2+4{,}0)\cdot 0{,}02\cdot 500}{25\cdot 100} = 2{,}88 \text{ мг·экв.};$$

$$B = 0{,}061A = 0{,}061\cdot 2{,}88 = 0{,}1757\%.$$

Определение хлор-иона проводят в том же стакане, в котором определяли общую щелочность. Прибавляют 1 мл 10%-ного раствора K_2CrO_4 и титруют 0,02 н. раствором $AgNO_3$ до появления красноватой окраски.

Расчет ведут по формулам:

$$A = \frac{100\ a\text{н.}V}{вс},$$

где A — мг·экв. Cl^- в 100 г почвы; a — количество $AgNO_3$, пошедшее на титрование, мл; н. — нормальность титрованного раствора; V — общий объем вытяжки, мл; 100 — коэффициент перевода на 100 г навески; $в$ — объем вытяжки, взятый на титрование, мл; $с$ — навеска почвы, взятая для приготовления водной вытяжки, г;

$$B = 0{,}0355A,$$

где B — процентное содержание Cl^-; 0,0355 — граммовое значение мг·экв. Cl^-.

Пример вычисления. Для определения Cl^- взято 25 мл водной вытяжки, на титрование затрачено 3,6 мл 0,02 н. раствора $AgNO_3$.

$$A = \frac{100\cdot 3{,}6\cdot 0{,}02\cdot 500}{25\cdot 100} = 1{,}44 \text{ мг·экв.};$$

$$B = 0{,}0355A = 0{,}0355\cdot 1{,}44 = 0{,}0511\%.$$

Определение сульфат-иона (SO_4^{2-}) в водной вытяжке позволяет установить степень сульфатного засоления почв. При определении SO_4^{2-} 25 мл вытяжки переносят в химический стакан, разбавляют ее до 50 мл дистиллированной водой, подкисляют соляной кислотой по метиловому красному до явно кислой реакции и нагревают до кипения.

При нагревании подкисленного раствора выпадает небольшой хлопьевидный осадок коллоидов. Осадок отфильтровывают через фильтр с синей лентой, промывают горячей дистиллированной водой, подкисленной HCl, и приступают к осаждению SO_4^{2-}.

В сильноокрашенных вытяжках из солонцов и солонцеватых почв SO_4^{2-} определяют в прокаленном остатке, так как присутствие органических веществ мешает его определению.

Осаждают SO_4^{2-} следующим образом. В горячий раствор прибавляют 3—5 капель 1%-ного раствора пикриновой кислоты, способствующей укрупнению осадка $BaSO_4$, затем при постоянном

помешивании приливают 5—10 мл нагретого до кипения 10%-ного раствора $BaCl_2$. Раствор кипятят 3—5 мин, стакан закрывают стеклом и оставляют на горячей водяной бане 30—60 мин. Осадок отфильтровывают через беззольный фильтр с синей лентой, предварительно промытый кипящей дистиллированной водой (2—3 раза). Осадок промывают холодной дистиллированной водой, подкисленной соляной кислотой, подсушивают и прокаливают. После прокаливания вычисляют содержание SO_4^{2-} в вытяжке.

Пример вычисления. Сульфат-ион определяли в 20 мл вытяжки. Прокаленный остаток $BaSO_4$ весил 0,0317 г.

$$B = 0{,}411bc = 0{,}411 \cdot 25 \cdot 0{,}0317 = 0{,}325\%,$$

где B — процентное содержание SO_4^{2-}; $в$ — множитель пересчета на 100 г почвы (20 мл фильтрата составляют 25-ю часть общего объема вытяжки) c — масса прокаленного остатка, г; 0,411 — коэффициент пересчета массы $BaSO_4$ на сульфат-ион.

Содержание сульфат-иона в мг·экв. определяют по формуле:

$$A = \frac{1000B}{48{,}03} = \frac{1000 \cdot 0{,}325}{48{,}03} = 7{,}18 \text{ мг·экв.},$$

где A — содержание SO_4^{2-} в мг·экв. на 100 г почвы; 48,03 — эквивалентная масса сульфат-иона; 1000 — коэффициент пересчета граммов в миллиграммы.

Реактивы: 1%-ный раствор пикриновой кислоты, 10%-ный раствор $BaCl_2 \cdot 2H_2O$, 10%-ный раствор HCl, раствор метилового красного.

Определение ионов кальция и магния проводят в одной пробе вытяжки комплексометрическим методом. Прежде чем определять содержание кальций-иона, следует провести качественное его определение. Для этого в пробирку берут 5 мл водной вытяжки, нагревают до кипения, подкисляют несколькими каплями 10%-ного раствора CH_3COOH и добавляют 3—4 капли 4%-ного раствора $(NH_4)_2C_2O_4$. Появление белого кристаллического осадка $CaC_2O_4 \cdot H_2O$ подтверждает наличие кальция. При малом его содержании в вытяжке осадок выделяется из раствора после 10—15-минутного отстаивания. По характеру осадка и скорости его выделения из раствора устанавливают объем вытяжки, необходимый для определения Ca^{2+}:

Характер осадка и скорость его выделения	Объем вытяжки, мл
Большой, выпадает быстро	5
Средний, » »	10
Слабая муть, появляется медленно	25
Слабая муть, появляется при отстаивании	50 и более

Затем водную вытяжку в объеме, установленном качественной пробой, помещают в коническую колбу вместимостью 250 мл, разбавляют дистиллированной водой до 50 или 100 мл, бросают в нее кусочек бумажки конго и подкисляют разбавленной HCl (1 : 1) до перехода окраски бумажки в сине-фиолетовую.

После этого раствор кипятят 2—3 мин, чтобы удалить выделившийся CO_2, охлаждают до комнатной температуры и добавляют 5 мл 10%-ного раствора NaOH или KOH, чтобы pH раствора было больше 12,5.

Затем содержимое колбы перемешивают круговыми движениями, вносят 30—50 мг смеси мурексида с NaCl и снова перемешивают. Титруют 0,01 М раствором трилона Б до перехода розовой окраски в фиолетовую. Титруют медленно, все время взбалтывая раствор. Показания записывают и подготавливают раствор к титрованию магния.

Для определения Mg^{2+} разрушают мурексид прибавлением разбавленной HCl (1 : 1) до тех пор, пока бумажка конго не станет сине-фиолетовой. Избыток кислоты нейтрализуют буферным раствором с pH=10 (буферная смесь NH_4Cl+NH_4OH) до перехода сине-фиолетовой окраски бумажки конго в красную.

Затем приливают еще 20 мл того же буферного раствора и перемешивают содержимое колбы. Вносят 30—50 мг индикаторной смеси хромогена черного с NaCl и медленно титруют 0,01 М раствором трилона Б до перехода винно-красной окраски в синюю.

Пример вычисления. Определение Ca^{2+} и Mg^{2+} проведено в 25 мл водной вытяжки. На титрование кальция израсходовано 8,2 мл 0,01 М раствора трилона Б.

Содержание Ca^{2+} в процентах будет равно:

$$B=20aT=20\cdot 8{,}2\cdot 0{,}000408=0{,}067,$$

где a — количество 0,01 М раствора трилона Б, пошедшее на титрование, мл; T — титр 0,01 М раствора трилона Б по кальцию; 20 — множитель пересчета 25 мл вытяжки на 100 г почвы.

Содержание Ca^{2+} в мг·экв. составит:

$$A=\frac{1000B}{20{,}04}=\frac{1000\cdot 0{,}067}{20{,}04}=3{,}34,$$

где 20,04 — эквивалентная масса кальция; 1000 — коэффициент пересчета граммов в миллиграммы.

На титрование Mg^{2+} затрачено 6,5 мл 0,01 М раствора трилона Б, что соответствует содержанию магния в процентах:

$$B=20aT=20\cdot 6{,}5\cdot 0{,}0002432=0{,}032,$$

где a — количество 0,01 М раствора трилона Б, пошедшее на титрование, мл; T — титр 0,01 М раствора трилона Б по магнию.

Содержание Mg^{2+} в мг·экв. равно:

$$A=\frac{1000B}{12{,}16}=\frac{1000\cdot 0{,}032}{12{,}16}=2{,}63,$$

где 12,16 — эквивалентная масса магния; 1000 — коэффициент пересчета граммов в миллиграммы.

Реактивы: 0,01 М раствор трилона Б (навеску 3,722 г очищенного трилона Б помещают в мерную колбу вместимостью 1 л, растворяют примерно в 100 мл воды, не содержащей Ca^{2+} и Mg^{2+}, доводят раствор той же водой до метки и

перемешивают); индикаторная бумага конго красного; 10%-ный раствор NaOH или KOH; мурексид в сухом виде; буферный раствор с pH=10(NH_4Cl+NH_4OH); хромоген черный в сухом виде.

Определение ионов натрия и калия на пламенном фотометре возможно лишь при их содержании в водной вытяжке не меньше 1 мг на 100 г почвы. При высоком содержании исследуемых ионов вытяжку следует разбавлять до концентрации их 10—100 мг/л.

Значительные количества кальция завышают данные по содержанию натрия и калия в вытяжке. В этом случае кальций из раствора следует удалить. Водные вытяжки, содержащие много органического вещества, следует разбавлять настолько, насколько это допускают концентрации определяемых элементов.

Порядок определения натрия и кальция следующий. Приводят пламенный фотометр в рабочее положение и фотометрируют серию эталонных растворов. На основании показаний микроамперметра для этих растворов строят калибровочный график. Затем анализируют испытуемый раствор.

Процентное содержание K^+ или Na^+ в водной вытяжке (1 : 5) вычисляют по формуле:

$$B = \frac{a}{1000 \cdot 2},$$

где a — концентрация K^+ или Na^+ в вытяжке, выраженная в мг/л (находят по калибровочному графику); 1000 — коэффициент пересчета миллиграммов в граммы; 2 — коэффициент пересчета на 100 г почвы.

Пример вычисления. Концентрация K^+ в испытуемом растворе 76 мг/л, или 0,076 г/л. Следовательно, содержание K^+ в водной вытяжке равно 0,076 : :2=0,038 г на 100 г почвы, или 0,038%.

Пересчет процентов в мг·экв. ведут по формуле:

$$A_{K^+} = \frac{1000\ K^+\ (\%)}{\text{эквивалентная масса } K^+} = \frac{1000 \cdot 0{,}038}{39{,}1} = 0{,}97 \text{ мг·экв.};$$

$$A_{Na^+} = \frac{1000\ Na^+\ (\%)}{\text{эквивалентная масса } Na^+}.$$

Использование результатов анализа водной вытяжки. Проверка результатов анализа водной вытяжки состоит прежде всего в сопоставлении суммы процентного содержания анионов и катионов с величиной сухого остатка.

Процентное содержание анионов и катионов в анализируемой водной вытяжке равно: HCO_3^- — 0,176; CO_3^{2-} — 0,077; Cl^- — 0,051; SO_4^{2-} — 0,325; Ca^{2+} — 0,067; Mg^{2+} — 0,032; Na^+ (по разности) — 0,442, K^+ — 0,038. При суммировании процентов анионов и катионов получаем 1,043% (при этом берут половину найденного количества HCO_3^-, поскольку в процессе выпаривания при получении сухого остатка половина углекислоты бикарбонатов теряется).

Сухой остаток данной вытяжки равен 1,086%, то есть он превышает сумму ионов на 0,043%. Допустимое превышение находится в пределах 3—5%, следовательно, анализ выполнен с достаточной точностью.

Если растворимые в воде соли кристаллизуются с большим количеством гидратной воды, трудно отдаваемой при высушивании остатка, масса остатка будет значительно превышать сумму содержащихся в вытяжке ионов. В таком случае сумму солей сравнивают с величиной прокаленного остатка.

Если расхождение между величиной сухого остатка и суммой ионов солей превышает 5%, анализ сделан с большими погрешностями и его следует повторить.

Сопоставляя данные анализа водной вытяжки и таблицы 6, устанавливают тип и степень засоления исследуемой почвы.

6. Содержание (%) и состав солей в почвах разного типа засоления

Показатели	Степень засоления почв				
	незасоленные	слабозасоленные	среднезасоленные	сильнозасоленные	очень сильнозасоленные
Хлоридный тип засоления					
Сухой остаток	<0,3	0,3—0,5	0,5—1,0	1,0—2,0	>2,0
Cl^-	<0,01	0,01—0,05	0,05—0,10	0,1—0,2	>0,2
Сульфатный и хлоридно-сульфатный тип засоления					
Сухой остаток	>0,3	0,3—1,0	1,0—2,0	2,0—3,0	>3,0
Cl^-	<0,01	0,01	0,05	0,10	—
SO_4^{2-}	0,10	0,10—0,40	0,40—0,60	0,60—0,80	>0,80
Содовый и смешанный тип засоления					
Сухой остаток	<0,1	0,1—0,3	0,3—0,5	0,5—0,7	0,7—1,0
Cl^-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
SO_4^{2-}	0,02	0,05—0,10	0,20	0,20	0,20
HCO_3^-	<0,06	0,1—0,2	0,2—0,3	0,3—0,4	>0,4

Определение степени засоленности почв по содержанию токсических солей. В различных почвах может присутствовать одно и то же количество солей, но в зависимости от их состава почвы могут обладать разной степенью засоленности, что обусловлено неравноценной токсичностью для растений различных легкорастворимых солей. Поэтому, чтобы установить степень засоленности почвы, необходимо рассмотреть методику расчета токсических и нетоксических солей по данным анализа водной вытяжки.

Метод расчета токсических и нетоксических солей основан на связывании ионов в определенной последовательности, начиная с менее растворимых к более растворимым.

В первую очередь связываются катионы и анионы карбонатов в таком порядке: Na_2CO_3, $MgCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$, $NaHCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$; далее катионы с ионом SO^{2-}_4: $CaSO_4$, Na_2SO_4, $MgSO_4$; в последнюю очередь катионы с ионом Cl^-: NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$. Рассмотрим результаты анализа водной вытяжки слоя почвы 0—40 см и пример определения формул гипотетических солей (Мякина, Аринушкина, 1979).

Сухой остаток, %	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$
2,04	0,014 / 0,23	0,83 / 23,38	0,48 / 10,01	0,42 / 5,64	0,089 / 7,41	0,47 / 20,57

Примечание. В числителе — содержание солей в %, в знаменателе — в мг·экв.

Ионы CO_3^{2-} очень токсичны, но в водной вытяжке они не обнаружены. Ионы HCO^-_3 в водной вытяжке могут быть обнаружены вследствие присутствия как токсических солей, например $NaHCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$, так и нетоксических — $Ca(HCO_3)_2$).

В первую очередь выясняют возможное содержание в водной вытяжке наименее растворимой соли $Ca(HCO_3)_2$, для чего количество ионов HCO_3^- связывают с эквивалентным ему количеством кальция. Если количество HCO^-_3 после этого связывания остается еще свободным, его сначала связывают с Mg^{2+}, а потом с Na^+. В растворимом примере с Ca^{2+} будет связано все количество HCO^-_3. В водной вытяжке присутствует $Ca(HCO_3)_2$ в количестве 0,46 мг·экв., или 0,018%. Несвязанного кальция остается 5,41 мг·экв.

Ион SO^{2-}_4 нетоксичен, когда он входит в состав гипса $CaSO_4$, и токсичен, когда он связан с Mg^{2+}($MgSO_4$) или с Na^+(Na_2SO_4).

В первую очередь связывают SO^{2-}_4 с Ca^{2+}, оставшимся после соединения его с HCO^-_3: 5,41 мг·экв. Ca^{2+} + 5,41 мг·экв. SO^{2-}_4 = = 10,82 мг·экв. $CaSO_4$, или 0,367% $CaSO_4$. Таким образом, сумма нетоксических солей будет равна: 0,018 + 0,367 = 0,385%.

Осталось 4,6 мг·экв. несвязанного иона SO^{2-}_4, который соединяют последовательно с 4,6 мг·экв. Na^+. Таким образом, в 100 г почвы находится 9,2 мг·экв. Na_2SO_4, или 0,322% Na_2SO_4. При анализе водной вытяжки среди сульфатов $MgSO_4$ не обнаружен.

Хлориды токсичны, связывание иона Cl^- в гипотетические соли производится в последовательности такого ряда: NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$, то есть начиная с менее растворимых солей к более растворимым. В расчетах остались несвязанными 15,97 мг·экв. Na^+,

23,38 мг·экв. Cl^- и 7,41 мг·экв. Mg^{2+}; 15,97 мг·экв. Na^+ соединяют с 15,97 мг·экв. Cl^-, а оставшиеся 7,41 мг·экв. Cl^- — с 7,41 мг·экв. Mg^{2+}. Таким образом, в почве присутствуют 31,94 мг·экв. NaCl, или 0,93%, и 14,82 мг·экв. $MgCl_2$, или 0,4%. Сумма токсических солей составила 1,652%, а общая сумма всех солей — 2,037%.

В составе хлористых солей отсутствует хлористый кальций; конечный результат показывает, что 80,9% солей от общей суммы (2,04) являются токсическими (2,037% принимают за 100%, а 1,652% — искомая величина).

Так как на рост сельскохозяйственных растений на засоленных почвах угнетающе действуют именно токсические соли, сложилось мнение, что почвы целесообразно классифицировать по этому признаку.

Для этой цели рекомендуют принимать во внимание «суммарный эффект» токсических ионов. Известно, что различные ионы обладают разной степенью токсичности, но «суммарный эффект» принято выражать в эквивалентах хлора, исходя из следующих соотношений: 1 мг·экв. Cl^- по токсичности приравнивается 0,1 мг·экв. CO^{2-}_3, 2,5—3,5 мг·экв. HCO^-_3, 5—6 мг·экв. SO^{2-}_4. Это можно выразить равенством:

$$1Cl^- = 0{,}1CO_3^{2-} = (2{,}5—3{,}0)HCO_3^- = (5—6)SO_4^{2-}.$$

Тогда классификация почв по степени засоленности с учетом «суммарного эффекта» токсических солей будет выглядеть следующим образом:

Степень засоленности	«Суммарный эффект» токсических ионов (CO_3^-, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}), мг·экв.
Незасоленные	<0,3
Слабозасоленные	0,3—1,0
Среднезасоленные	1,0—3,0
Сильнозасоленные	3,0—7,0
Очень сильнозасоленные	>7,0

Располагая фактическими данными «суммарного эффекта» и пользуясь этой классификацией, определяют степень засоленности почвы.

Для приближенного представления о количестве токсических солей в водной вытяжке почв можно пользоваться эмпирической формулой:

$$\text{процентное содержание токсических солей} = \frac{Na^+ + Mg^{2+}}{30} \cdot 2.$$

Натрий и магний в формуле выражают в мг·экв. на 100 г почвы.

Задание. Установить тип и степень засоленности почвы, анализируемой на лабораторно-практических занятиях, по «суммарному эффекту» токсических солей.

Расчет общей промывной нормы. Промывка засоленных почв — основной способ их улучшения. Общую промывную норму опреснительных поливов рассчитывают по количеству солей, которые следует удалить из опресняемого слоя.

Формула расчета общей промывной нормы выглядит следующим образом:

$$H_o = (HB_з - B_з) + \frac{100h\alpha(S_п - S_к)}{K},$$

где H_o — общая промывная норма, м³/га; $HB_з$ — запас воды при наименьшей влагоемкости, м³/га; $B_з$ — запас воды в опресняемом слое почвы до промывки, м³/га; h — толщина опресняемого слоя почвы, м; α — объемная масса опресняемого слоя почвы, г/см³; $S_п$ — содержание солей в почве до промывки, % от массы сухой почвы; $S_к$ — критическое (допустимое) содержание солей в почве, %; K — количество солей, которое вымывает из почвы 1 м³ оросительной воды, т.

Первая часть формулы представляет недостаток насыщения водой расчетного слоя, подлежащего промывке, до наименьшей влагоемкости (НВ), а вторая — норму вытеснения почвенных солей, или транспортирующую часть промывной нормы.

Каждый кубический метр воды вымывает определенное количество солей, зависящее от содержания и состава их в почве, ее механического состава, уровня грунтовых вод и других условий.

В таблице 7 показано количество хлора, вымываемое 1 м³ воды на разных типах почв.

7. Количество Cl^-, вымываемое 1 м³ воды на разных типах почв по механическому составу

Тип почв по механическому составу	Содержание хлора в почве до промывки, %	Количество вымываемого хлора, кг
Среднесуглинистые	0,20	5,5
	0,15	5,0
	0,10	4,3
	0,07	3,8
	0,04	3,0
	0,02	2,0
Тяжелосуглинистые	0,10	3,4
	0,07	2,8
	0,04	2,0
	0,02	1,0

При расчете общей промывной нормы следует учитывать потери воды на испарение, фильтрацию за пределы корнеобитаемого слоя, а также опресняющее действие зимних осадков.

Приближенную общую промывную норму (м³/га), учитывающую указанные потери воды, можно вычислить по формуле В. М. Легостаева:

$$M_{пр} = m_1 + m_2 + n_1 + n_2 - O_1 - O_2,$$

где m_1 — норма вытеснения почвенных солей, или транспортирующая промывная норма, м³/га; m_2 — недостаток насыщения промываемого слоя до НВ, м³/га; n_1 — потери воды во время промывки на просачивание вглубь по некапиллярным ходам, м³/га; n_2 — потери воды на испарение во время и после промывки, м³/га; O_1 — количество осадков, принимающих участие в выщелачивании солей из промываемого слоя, м³/га; O_2 — количество конденсационной воды, пошедшее на выщелачивание солей из промываемого слоя, м³/га.

Недостаток насыщения промываемого слоя до НВ вычисляют по формуле:

$$m_2 = 100ha(R - r),$$

где R — наименьшая влагоемкость, % к массе сухой почвы; r — исходная влажность почвы перед промывкой, % к массе сухой почвы.

Потери воды на испарении во время промывки составляют для степи УССР 400—600 м³/га, в других регионах орошения эта величина корректируется с учетом климатических условий. Потери воды на просачивание вглубь по некапиллярным ходам (м³/га) составляют около 5% от транспортирующей промывной нормы.

Количество конденсационной влаги берут равным 10% прибавки запаса влаги за осенне-зимний период. При расчетах следует учитывать допустимое содержание хлора в почве: при осенней промывке 0,02%, а при весенней — 0,01%.

Промывку начинают с полива, насыщающего почву до НВ. Через 3—7 дней, необходимых для растворения солей, дают повторный полив, который вытесняет насыщенную солями воду за пределы корнеобитаемого слоя. На легких почвах перерыв между поливами короткий, на тяжелых — более продолжительный.

Разовая промывная норма должна составлять 30—40% НВ. С. В. Астапов (1958) рекомендует следующие разовые промывные нормы (м³/га) в зависимости от физических свойств почвы:

для легких почв . . .	700—900
» средних »	900—1100
» тяжелых »	1100—1500

Число промывных поливов (n) рассчитывают по формуле:

$$n = \frac{M_{пр}}{m_р},$$

где $M_{пр}$ — общая промывная норма; $m_р$ — разовая промывная норма.

Чем сильнее засолена почва, тем больше проводят разовых промывок: при слабом засолении 1—2, при среднем 2—3, при сильном 3—4.

С помощью промывных поливов хорошо рассоляют солончаковые почвы. Солонцовые почвы, в которых натрий находится в поглощающем комплексе, прежде всего нуждаются в гипсовании, а затем — в промывке.

Задание. Рассчитать общую промывную норму при наличии в метровом слое каштановой почвы ионов хлора в количестве 0,07%. Объемная масса почвы 1,36 г/см^3, влажность почвы в момент промывки 11%, весной 18%, НВ=20%. Количество осадков, выпадающих от начала промывки до посева, составляет 154 мм, коэффициент поглощения осадков — 0,6.

Установление критической глубины залегания уровня минерализованных грунтовых вод. Критическая глубина залегания уровня минерализованных грунтовых вод — это такая глубина, выше которой капиллярные солеиосные растворы, восходящие от зеркала минерализованных грунтовых вод, вызывают соленакопление в почве, угнетение и гибель растений.

При мелиорировании засоленных почв необходимо поддерживать уровень грунтовых вод (УГВ) орошаемых почв на глубине ниже критической.

Критическую глубину залегания УГВ определяют по формуле:

$$H_{кр} = H_{max} + a,$$

где H_{max} — наибольшая высота капиллярного поднятия воды в данном почвогрунте, м; a — глубина распространения основной массы корней сельскохозяйственных культур, a=0,5—0,8 м.

Ориентировочно критическую глубину залегания УГВ принимают равной: для глин и тяжелых суглинков —3,0—3,5 м; средних суглинков — 2,5—3,0 м; легких суглинков, супесей и песков— 2,0—2,5 м.

Критическая глубина залегания УГВ зависит также от минерализации:

минерализация грунтовых вод, г/л	1,5—3,0	3,0—5,0	5,0—7,0
критическая глубина залегания УГВ, м	1,5—2,2	2,2—3,0	3,0—3,5

При минерализации 1—1,5 г/л УГВ в условиях хорошей дренируемости и орошения может залегать на глубине 1—1,5 м, не вызывая засоления почв.

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА МИКРОКЛИМАТ

Микроклимат — это климат небольшой территории, обусловленный влиянием растительности, состоянием почвы и др.

Особенности микроклимата наиболее выражены у поверхности почвы и распространяются по вертикали до 1,5—2 м. Они характеризуют состояние приземных слоев воздуха и почвы, то есть той среды, в которой развиваются и формируют урожай растения.

Из показателей микроклимата для растений особенно важны: солнечная радиация (приход и расход лучистой энергии), температура и влажность воздуха и почвы, скорость ветра.

К числу условий, влияющих на микроклимат, относится орошение. Степень влияния орошения на микроклимат зависит от почвенно-климатических условий, способа полива, поливных норм, возделываемых культур.

Наблюдения за микроклиматом можно проводить на хозяйственных посевах, выделив для этого, по возможности, близко расположенные поливные и неполивные поля избранной культуры. В этом случае выполняют микроклиматические съемки, то есть одновременные метеорологические наблюдения на каждом поле отдельными группами студентов. После обработки данных в лабораторных условиях и сопоставления результатов наблюдений делают соответствующие выводы. Более приемлема организация специального участка площадью около 1 га, разбитого на 3—4 поля, с чередованием на них ведущих культур данного региона. В каждом поле выделяют неполивные участки и участки, поливаемые разными способами.

На стационарном участке можно проводить постоянные или эпизодические наблюдения, учитывать непосредственно или дистанционно показатели микроклимата. Приборы следует устанавливать не ближе 10 м от края участка. Наблюдения рекомендуют проводить в 9, 12, 15 и 18 часов. Эти сроки наблюдений совпадают с принятыми на всех метеорологических станциях СССР.

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОЧВЫ

Температура почвы и воздуха — один из важнейших факторов роста и развития растений. С повышением в определенных пределах температуры ускоряется рост растений и наступление фаз вегетации. Температура почвы оказывает непосредственное влияние на формирование и деятельность корневой системы, а также на условия почвенного питания растений.

Температура выше 30—35°С неблагоприятна для фотосинтеза и течения продукционного процесса. Для большинства культур температурный оптимум лежит в пределах 20—30°С. В регионах избыточного тепла под влиянием орошения не происходит перегрева тканей растений. Однако при продвижении теплолюбивых растений к северу от границы их распространения снижение температуры становится отрицательным фактором их развития.

Поглощенная поверхностью почвы лучистая энергия солнца превращается в тепловую. Она распространяется в глубь почвы и в приземные слои воздуха.

Оросительная вода, имеющая обычно более низкую температуру, чем почва, охлаждает ее. Снижение температуры почвы после полива происходит также вследствие усиленного испарения с ее поверхности воды, так как на этот процесс затрачивается много тепла.

Поглощение и расход тепла почвой зависит от ее влажности. Влажная почва имеет более высокую теплоемкость, поэтому она медленно нагревается днем и медленно охлаждается ночью.

Наблюдения на стационарном участке. Температуру поверхности и поверхностных слоев почвы на стационарном участке удобно учитывать на открытых площадках без растений; размеры площадок 4×6 м. Если изучают термический режим среди растений, термометры устанавливают в междурядьях.

Оборудование: 2 срочных (ТМ-3), 2 максимальных (ТМ-1) и 2 минимальных термометра; 2 набора термометров Саввинова для глубин 5, 10, 15 и 20 см; 2 установки М-54-1 для дистанционного измерения температуры почвы на глубинах; 8 термометров-щупов АМ-6 для измерения температуры почвы на разных глубинах при микроклиматических съемках; двое часов (количество соответствующих термометров и часов увеличивается, если изучают несколько способов полива).

Срочный, минимальный и максимальный термометры укладывают на поверхности почвы горизонтально, резервуарами на восток, на расстоянии 10—15 см друг от друга. Их слегка вдавливают, чтобы они были наполовину погружены в почву. У максимального термометра должен быть небольшой наклон в сторону резервуара.

Для установки термометров Саввинова (рис. 2) на площадке выкапывают небольшую траншею направлением с запада на восток и глубиной около 25 см. Северная стенка отвесная, в ней на заданных глубинах делают отверстия и в них вставляют термометры так, чтобы резервуары располагались параллельно поверхности почвы. Южная стенка скошенная, чтобы придать термометрам нужный наклон. Шкала термометра и поверхность почвы должны составлять угол 45°. Для удобства отсчетов, а также чтобы не уплотнять почву, с северной стороны термометров кладут

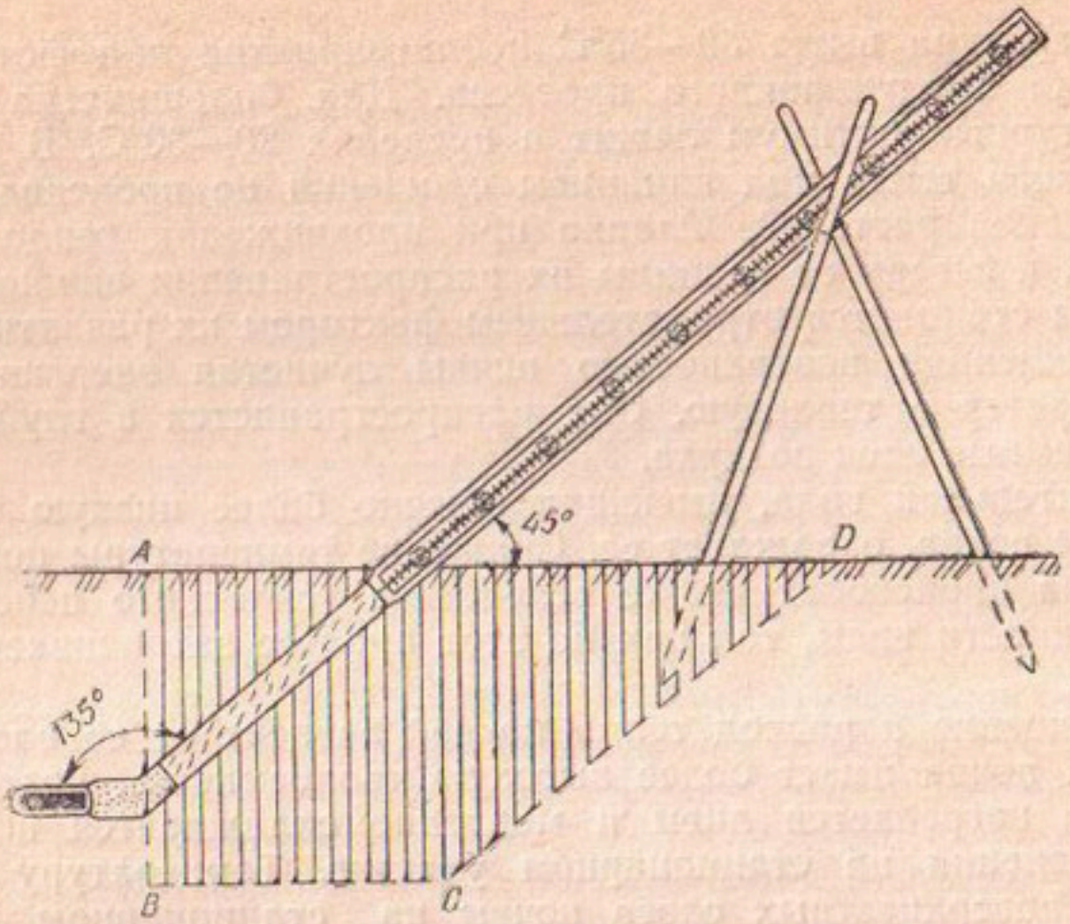

Рис. 2. Термометр Н. И. Саввинова.

реечный настил. Наблюдения на разных участках должны быть синхронными.

После отсчета вносят поправку, указанную в поверочном свидетельстве каждого термометра.

Если наблюдения за температурой почвы на разных глубинах проводят в лаборатории с помощью измерительного пульта дистанционного термометра М-54-1, то количество наблюдений может быть увеличено за счет утреннего времени (в 6 ч) и вечернего (в 21 ч). Можно включить также наблюдения за температурой почвы на глубине 2 см.

Датчики этих термометров устанавливают горизонтально в отверстиях вертикального среза почвы. Провода от термометров укладывают и прикрывают почвой на той же глубине, что и термометр, на расстоянии 0,5 м. Кабель, соединяющий термометры, и измерительный пульт закапывают в землю на глубину не менее 20 см. Наблюдения проводят на 1-й, 3-й и 6-й день после полива.

Записи показаний термометров делают по форме 8.

Задание. После первичной обработки данных вычертить графики сравнительного хода температуры на поверхности поливного и неполивного участков по показаниям срочного, максимального и минимального термометров, а также график разницы между максимальной и минимальной температурами. Сделать выводы об амплитуде колебаний температуры на поверхности увлажненной поливами и неувлажненной почвы. Сравнить графически попарно на поливном и неполивном участках температуру почвы на глубинах 5, 10, 15 и

Форма 8

Характеристика участка (подчеркнуть) — открытый, занятый посевами;

Культура _____ , фаза _____ ;

Дата учета _____ , дата и норма полива _____

Показания термометров	Поливной участок				Неполивной участок			
	время, ч							
	9	12	15	18	9	12	15	18
На поверхности почвы:								
максимального (М)								
минимального (м)								
разница (М—м)								
срочного								
На глубинах, см:								
5								
10								
15								
20								
Разница температур на глубинах 5 и 20 см								

20 см. Сделать выводы о том, как изменяется температура почвы поливного и неполивного участков с глубиной слоя. Сделать обобщающие выводы по всем полученным данным.

Наблюдения на хозяйственных посевах. Эти наблюдения проводят с помощью термометра-щупа АМ-6 в заранее намеченные часы одновременно на неорошаемом и орошаемом дождеванием полях, по бороздам или другими способами.

Группы студентов снабжаются комплектом термометров для одновременного отсчета температуры на глубинах 5, 10, 15, 20 см или, при ограниченном количестве термометров, на глубинах 10 и 20 см. Маршрутные съемки температуры выполняют синхронно в разных местах поля. Термометры погружают на заданную глубину за 10 мин до намеченного времени отсчета.

Результаты наблюдений по каждому полю сводят в одну таблицу, а затем в один график, рассчитывают средний показатель по каждому полю, отдельно для каждой глубины и сопоставляют показания по разным участкам.

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПРИЗЕМНЫХ СЛОЕВ ВОЗДУХА

Температура приземных слоев воздуха оказывает непосредственное влияние на физиологическое состояние растений, в том числе на такие важные процессы, как фотосинтез и транспирация.

Чем ближе слой воздуха к поверхности почвы, тем сильнее поливы влияют на его температуру. В связи с этим температуру воздуха в посевах следует определять на разной высоте. Закономерные изменения температуры воздуха под влиянием орошения хорошо отражают ее учеты на высоте 25, 50 см и на высоте растений.

Оборудование: аспирационные психрометры — 2, секундомеры — 2, часы — 2, шесты для подвески психрометров — 2 или козлы для укладки приборов — 2 на высоте 25 см, 2 на высоте 50 см, 2 на высоте растений, дистиллированная вода для смачивания батиста смоченного термометра.

Температуру воздуха среди растений определяют с помощью аспирационного психрометра. Его можно установить в посеве на нужной высоте, подвесив за железный крюк, ввинченный в тонкий шест, закрепленный в почве. Используют также подставки в виде легких козел, на которые укладывают психрометры.

Аспирационный психрометр позволяет учесть одновременно температуру и влажность воздуха по показаниям сухого и смоченного термометров. После смачивания батиста смоченного термометра заводят до отказа пружину аспиратора и через 4 мин после смачивания отсчитывают показания сухого и смоченного термометров.

Температуру воздуха можно измерять как на стационарном участке, так и на хозяйственных посевах.

Температуру приземных слоев воздуха следует учитывать через 1, 3 и 6 дней после полива. Полученные результаты заносят в таблицу по форме 9.

Форма 9

Культура _____ , фаза вегетации _____

Дата, способ и норма полива _____

Дата учета _____

Участок	Время, ч				
	9	12	15	18	Среднее
На высоте 25 см					
Неполивной					
Поливной					
Разница показаний					
На высоте 50 см					
Неполивной					
Поливной					
Разница показаний					

На высоте растений

Неполивной
Поливной
Разница показаний

По полученным данным чертят кривые хода дневной температуры воздуха в условиях полива и без полива для каждой высоты над поверхностью почвы; составляют один график, в котором сопоставляют разницу показаний термометров в посевах без орошения и в условиях орошения на разных высотах над поверхностью почвы. Разницу показаний термометров на данной высоте сопоставляют по датам наблюдений, чтобы учесть степень последействия поливов на растения.

При сравнительном изучении способов полива используют ту же форму записи результатов учета температуры воздуха, что для поливных и неполивных посевов.

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

Влажность воздуха оказывает влияние на ход транспирации и физиологическое состояние растений. При влажности 30% и ниже отмечается воздушная засуха. Поливы повышают влажность воздуха в разных пределах в зависимости от способа полива и близости слоя воздуха к поверхности почвы.

Для учета влажности воздуха среди растений, как и для учета температуры, удобен и широко используется аспирационный психрометр.

По показаниям сухого и смоченного термометров с помощью «Психрометрических таблиц» можно установить:

a — абсолютную влажность воздуха, выражающую количество водяного пара в граммах, имеющееся в 1 м³ воздуха;

e — упругость водяного пара, выражающую его парциальное давление;

f — относительную влажность воздуха, или отношение упругости водяного пара *e* к насыщающей упругости *E*, при данной температуре;

d — дефицит упругости водяного пара — разность между насыщающей упругостью *E* и упругостью водяного пара *e*, находящегося в воздухе при данной температуре.

Особенно важны величины *f* и *d*. Последнюю из них используют для расчетов суммарного испарения. Показательна также разность отсчетов сухого и смоченного термометров — «психрометрическая разность температур» — *td*.

Результаты наблюдений записывают в таблицу по форме 10.

Форма 10

Культура _____, фаза вегетации _____

Дата, способы и норма полива _____

Дата наблюдений _____

Участок	Время, ч				
	9	12	15	18	Среднее

На высоте 25 см

Поливной
Неполивной
Разность

На высоте 50 см

Поливной
Неполивной
Разность

На высоте растений

Поливной
Неполивной
Разность

В такие же формы заносят полученные величины d и td. Результаты одного из определений влажности воздуха представляют графически, как и показатели температуры воздуха, и делают обобщающие выводы о влиянии орошения или способов полива, если они изучались, на влажность воздуха и ее вертикальное распределение.

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА

От скорости движения воздушных масс в некоторой мере зависят перемешивание более влажного воздуха приземных слоев с менее влажным, скорость испарения почвенной влаги, скорость транспирации. При одновременном снижении относительной влажности воздуха, повышении температуры и скорости ветра развивается отрицательное явление — суховеи. В условиях орошения отмечают снижение скорости ветра, что отчасти связано с увеличением высоты растений и изменением физических процессов над увлажненной территорией. Однако этот вопрос изучен еще недостаточно, в связи с чем рассматриваемое практическое занятие следует отнести к студенческой научно-исследовательской работе.

Скорость движения воздуха в посевах удобно учитывать с помощью ручного чашечного анемометра (рис. 3). Анемометры можно установить на столбиках для учета скорости ветра среди растений на высоте 50 и 150 см. Включают их через 1—2 мин при установившейся скорости вращения полушарий. Продолжительность учетной работы анемометра — 100 с. Скорость ветра (м/с) определяют делением разности отсчетов до начала работы прибора и после его выключения на 100.

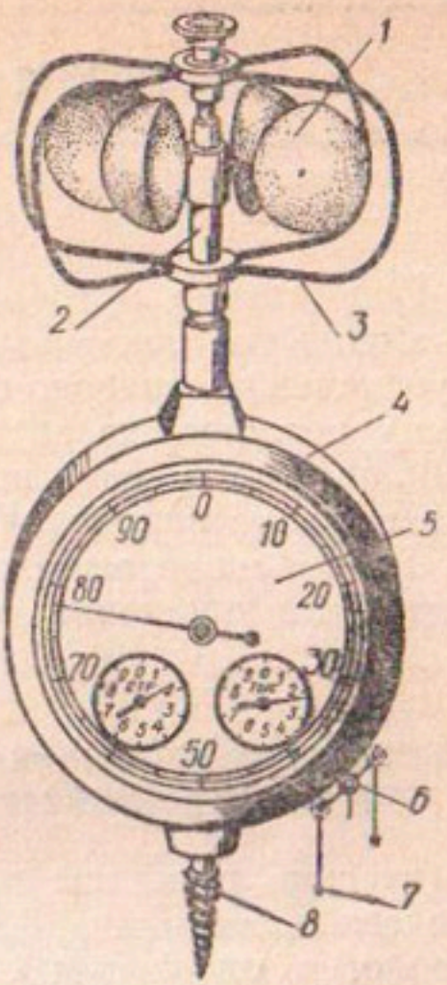

Рис. 3. Ручной анемометр:

1 — вертушка; *2* — металлическая ось; *3* — проволочные дужки; *4* — корпус; *5* — циферблат; *6* — арретир; *7* — ушки; *8* — винт.

Наблюдения проводят в одно время на двух полях — орошаемом и неорошаемом — сначала на высоте 50 см, затем на высоте 150 см. Их повторяют трижды с интервалом в 5 мин и средние показатели из трех наблюдений на каждой высоте записывают в таблицу. Затем в лаборатории сопоставляют полученные на разных участках результаты.

Поливы существенно преобразуют внешние условия развития растений (изменяются почвенные процессы и микроклимат); способствуют увеличению содержания воды в листьях, их площади, более полному поглощению энергии солнечного света, ускорению роста, формированию мощной корневой системы и др.

Однако это общее направление действия поливов на растения. Оно бывает неодинаково выражено в разных регионах, по-разному отзываются на орошение различные культуры, их сорта и гибриды.

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОДУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ РАСТЕНИЙ

Физиологические процессы чрезвычайно многообразны — это и физиологическое состояние целого растения, его рост и развитие, и физиология отдельных органов, специализированных тканей, клетки, и химизм питания, и водообмен, и многие другие.

В настоящий практикум включены лишь отдельные работы, выясняющие в первом приближении характер влияния орошения на растения и использование ими солнечной энергии в реально возможных пределах.

Влияние режимов орошения на содержание воды в листьях и стеблях растений. В надземной массе растений на долю воды приходится 80—90%, в корнях — 70—80%, в протоплазме клеток и в клеточном соке вода составляет до 90% их общей массы. Этот показатель не является постоянным, особенно для листьев. Достаточная оводненность листьев способствует повышению их тургора, лучшему раскрытию устьиц и поступлению в ткани листа углекислого газа, усилению фотосинтеза и накоплению биомассы.

Степень оводненности тканей листа зависит от влажности почвы, расположения листьев на растении и изменяется в течение суток. Поэтому на практических занятиях особенно важно провести учеты суточного хода содержания воды в листьях на разных фонах почвенной влажности.

Около 1 г высечек листьев помещают в абсолютно сухие предварительно взвешенные бюксы, немедленно закрывают крышками и взвешивают. После взвешивания открытые бюксы помещают в прогретый до 105° С сушильный шкаф-термостат. Их нужно поместить вблизи термометра, подальше от стен, где может быть

более высокая температура. После 4 ч сушки бюксы закрывают, ставят для охлаждения в эксикатор и охлажденные до комнатной температуры взвешивают. После этого сушку продолжают еще 2 ч, чтобы убедиться в полном отсутствии влаги. Результаты опыта помещают в таблицу по форме 11.

Форма 11

Название культуры, ее сорта или гибрида

Вариант опыта	Масса бюкса, г	Масса бюкса и сырых листьев, г	Масса бюкса и сухих листьев, г	Масса сырых листьев, г	Масса сухих листьев, г	Масса воды, г	Содержание воды в сырых листьях, %	Содержание сухой биомассы, %

Задание 1. Определить содержание воды в листьях верхнего, среднего и нижнего ярусов избранного растения на вариантах с орошением и без орошения. Определение провести в середине дня в 4—5-кратной повторности и обработать полученные данные путем дисперсионного анализа.

Задание 2. В одинаковых по возрасту листьях верхнего яруса определить суточный ход содержания влаги в вариантах без орошения при предполивной влажности 70% НВ и 80% НВ. Примерные сроки определения: 8, 12, 14, 16, 18 ч.

Задание 3. В зимних условиях провести опыт с комнатным растением — геранью. Перед началом опыта две серии вазонов с растениями выдержать в условиях жесткого режима влажности и при оптимальном режиме. Затем на лабораторных занятиях определить содержание воды в листьях растений, находившихся при разных условиях увлажнения.

Задание 4. Сравнить содержание воды в листьях, их черешках и стеблях избранного растения при разных условиях увлажнения почвы.

По решению преподавателя студенты выполняют одно из указанных заданий.

Материалы и оборудование: бюксы, пробочное сверло, аналитические весы, эксикаторы, щипцы, в зимних условиях — герань.

Водный дефицит и дефицит относительной тургесцентности листьев в связи с режимом водоснабжения. Водный дефицит — недостающее количество воды до полного насыщения клеток, выраженное в процентах от массы воды, насыщающей ткани листа или другого органа растения.

Этот показатель рассчитывают по формуле:

$$Д_в = 100\frac{T - т}{T},$$

где $Д_в$ — водный дефицит, %; T — количество воды, насыщающее орган растения, г; $т$ — наличное количество воды, г.

Водный дефицит лучше характеризует обеспеченность растений влагой, чем ее содержание в органах растений. С увеличением водного дефицита понижается тургор листьев, падает интенсив-

ность фотосинтеза, возрастают интенсивность дыхания и разрушение органического вещества, нарушается ферментативная деятельность и обмен веществ.

Важен также показатель «относительная тургесцентность», показывающий, какую долю в процентах составляет имеющееся количество воды от ее содержания, соответствующего полному тургору. Относительную тургесцентность рассчитывают по формуле:

$$T_o = 100 \cdot \frac{M_п - M_с}{M_т - M_с},$$

где T_o — относительная тургесцентность, %; $M_п$ — масса сырых листьев, взятых в поле, г; $M_с$ — масса сухих листьев, г; $M_т$ — масса сырых листьев после полного насыщения водой, или масса тургесцентной ткани, г.

По значению T_o находим дефицит относительной тургесцентности: $100 - T_o$.

В заранее взвешенные абсолютно сухие бюксы помещают около 1 г высечек из листьев, закрывают крышками и сразу взвешивают. Вычитая из общей массы массу бюкса, находим массу сырых листьев, взятых в поле ($M_п$). Высечки из листьев переносят на поверхность воды в чашки Петри, которые закрывают и оставляют на 2 ч до полного насыщения их водой. Затем высечки просушивают с поверхности фильтровальной бумагой и взвешивают. Поместив взвешенные высечки повторно в воду, через полчаса снова их высушивают фильтровальной бумагой и взвешивают, чтобы убедиться, что насыщение водой закончилось. Так определяют массу тургесцентной ткани ($M_т$).

Для определения абсолютно сухой массы навески листьев ($M_с$) пробу их помещаем в нагретый до 105° С термостат в открытых бюксах. После 4 ч сушки бюксы закрывают, ставят для охлаждения в эксикатор и охлажденные до комнатной температуры взвешивают, затем устанавливают их еще на 2 ч для контрольной сушки. Важное условие правильной сушки — рыхлое положение высечек в бюксе.

Задание 1. Определить водный дефицит и дефицит относительной тургесцентности растений в полевых условиях на третий день после орошения и на неорошаемом участке.

Задание 2. Установить суточный ход водного дефицита и дефицита относительной тургесцентности на орошаемом и неорошаемом участках.

Задание 3. В зимних условиях определить те же показатели на комнатном растении герани при разных условиях орошения.

Материалы и оборудование: бюксы, пробочное сверло, аналитические весы, эксикатор, щипцы, кристаллизатор, фильтровальная бумага, чашки Петри.

Продуктивность фотосинтеза при разной влагообеспеченности и разных условиях питания растений. Продукционный процесс, в результате которого создается урожай, осуществляется в основном в листьях растений. Источником энергии, необходимой для

этого процесса, является солнечный свет — фотосинтетическая активная радиация.

В силу закона взаимодействия факторов использование растениями света прямо зависит от того, как обеспечивается растение другими условиями жизни, прежде всего водой и питательными веществами. Эту зависимость хорошо раскрывают учеты чистой продуктивности фотосинтеза — суточного прироста сухой биомассы на 1 м² площади листьев.

Чистую продуктивность фотосинтеза можно вычислить по формуле:

$$Ф_{ч.пр} = \frac{B_2 - B_1}{0{,}5(Л_1 + Л_2)n},$$

где $Ф_{ч.пр}$ — чистая продуктивность фотосинтеза сухой массы урожаев, г/м²; B_1 и B_2 — сухая масса растений с 1 м² соответственно в начале и в конце учитываемого промежутка времени в 8—10 дней; $Л_1$ и $Л_2$ — площадь листьев растений с 1 м²; n — количество дней между началом и концом учитываемого промежутка времени.

Оборудование: фотопланиметр, пробой с определенным диаметром для взятия проб («высечек») из листьев, ВЛТК-500, ВЛТК-2000, весы до 10 кг, сушильный шкаф, бюксы, эксикатор, рулетка, измерительная линейка, 0,5- и 0,25-метровки, нож садовый и ножницы для срезания растений, мельница для размола воздушно-сухой массы растений.

В фазе всходов берут пробу из 100 растений. Когда растения станут крупными — сначала из 10, позже — из 5 типичных растений. Типичность растений устанавливают путем измерений и подсчетов высоты, кустистости, ветвистости, числа листьев и др.

Затем отбирают и отмечают бирками до 30 растений и из них берут для анализа по срокам нужное число растений. Если растения значительно изменятся в росте, отбор типичных растений повторяют.

Взятые для анализа растения взвешивают, отделяют листья, взвешивают, а затем измеряют их площадь.

Из множества способов учета площади листьев наиболее приемлемы — с помощью фотопланиметра и весовой — по способу «высечек». Фотопланиметр предварительно градуируют и по градуировочной кривой определяют площадь каждого листа.

При весовом способе учета из взвешенных свежих листьев отбирают несколько десятков и высекают из них от 100 до 200 дисков с известной площадью. После взвешивания дисков рассчитывают общую площадь всех ранее взвешенных листьев.

Для определения продуктивности фотосинтеза находят сухую массу растений. Для этого пробы измельченных растений подвешивают в марлевых мешочках и сушат до воздушно-сухого состояния. После этого вес пробы уменьшают еще на 10%. При более точных учетах воздушно-сухую массу измельчают на специальных мельницах, и в сушильном шкафу взятые пробы доводят до абсолютно сухого состояния.

Задание. Учесть и сопоставить продуктивность фотосинтеза данной культуры в вариантах: а) без орошения и удобрений; б) при оптимальном режиме орошения без удобрений; в) при оптимальном режиме орошения и внесении оптимальных доз удобрений.

Учеты могут быть приурочены к периоду активного роста растений.

Фотосинтетический потенциал сельскохозяйственных культур в связи с орошением и удобрениями. Фотосинтетический потенциал (ФП) — суммарная площадь листьев за все дни вегетации на 1 га посева. Его можно установить по данным, полученным при выполнении предыдущего задания.

Фотосинтетический потенциал ($м^2$/га дней) определяют по формуле:

$$ФП = \frac{(Л_1 + Л_2)n_1 + (Л_2 + Л_3)n_2 + \ldots (Л_{n-1} + Л_n)n_n}{2},$$

где $Л_1$, $Л_2$, $Л_3 \ldots Л_n$ — площадь листьев на 1 га посева в соответствующие сроки определения, $м^2$/га; n_1, $n_2 \ldots n_n$ — количество дней между двумя соответствующими определениями.

Для каждой культуры имеется свой оптимум площади листьев на 1 га посева и, следовательно, — наиболее эффективный показатель фотосинтетического потенциала.

Если фотосинтетический потенциал умножить на средневзвешенный показатель продуктивности фотосинтеза, получим конечную величину урожая биомассы.

Фотосинтетический потенциал раскрывает возможность повышения урожайности, если она ограничивается лишь климатическими факторами. Если растения полностью удовлетворяются материальными факторами жизни, прежде всего водой и питательными веществами, можно достигнуть самого высокого урожая, зависящего от труда человека. В литературе по программированию урожая этот уровень называется действительно возможным урожаем (ДВУ) (Тооминг, 1978).

В условиях производства фотосинтетический потенциал нередко ограничивается недостатком воды или питательных веществ. При этом снижается и уровень достижимого урожая. В теории программирования этот уровень называют «урожай в производстве» (УП).

Для вычисления ДВУ по фотосинтетическому потенциалу можно применить формулу:

$$ДВУ = \frac{a ФП}{100\,000} K_m,$$

где ДВУ — действительно возможный урожай, ц/га; a — чистая продуктивность фотосинтеза, г/$м^2$ за день; ФП — фотосинтетический потенциал, $м^2$/га дней; K_m — коэффициент хозяйственной эффективности урожая в долях общей биологической массы.

Пример. Чистая продуктивность фотосинтеза кукурузы, возделываемой на Ингулецкой оросительной системе при оптимальных условиях полива и агро-

техники, 8 г/м² за день; ФП=3,5 млн. м²/га дней; K_m=0,4 (40% зерна в общей биологической массе).

$$ДВУ = \frac{8 \cdot 3\,500000 \cdot 0{,}4}{100\,000} = 112 \text{ ц/га}$$

сухого зерна, или 128 ц/га при влажности 14%.

Уровни ДВУ и УП в значительной мере определяются сортовыми особенностями культуры. По литературным данным (Шатилов, 1973), каждая тысяча единиц ФП зерновых может обеспечить получение 2,5—3 кг зерна. По другим данным (Каюмов, Адиньяев, 1978), разные гибриды кукурузы на каждую тысячу единиц ФП дали от 3,07 до 3,4 кг зерна. В опытах К. С. Лысогорова (1981) на каждую тысячу единиц ФП гибрида кукурузы Таврия получено по 3,8 кг зерна.

Фотосинтетический потенциал, как и продуктивный фотосинтез, изменяется в зависимости от условий орошения и агротехники.

Задание 1. Определить фотосинтетический потенциал намеченных культур по имеющимся данным о площади листьев в отдельные сроки наблюдений; используя данные о ФП, чистой продуктивности фотосинтеза и хозяйственной эффективности урожая, найти ДВУ и УП при разном сочетании орошения и удобрений.

Задание 2. Рассчитать выход зерна или другой полезной продукции в кг на каждую тысячу единиц ФП в вариантах с разными поливными режимами, сочетающимися с различными дозами удобрений.

Влияние водного режима почвы на скорость роста растений. Наиболее заметное влияние поливов на состояние растений проявляется в скорости их роста — в увеличении высоты, количества и общей площади листьев, накоплении биомассы. Особенно рельефно эта закономерность проявляется при взаимодействии орошения и удобрений. Темпы роста растений в различные фазы вегетации неодинаковы: вначале растения растут медленно, развивают корневую систему, затем наступает период активного роста их надземной части, а в конце вегетации ростовые процессы замедляются.

Для каждого уровня урожайности данной культуры, ее сорта или гибрида может быть составлена типичная кривая роста. Она характеризует ход продукционного процесса. Скорость роста можно контролировать в любой период вегетации. Если кривая роста, составленная по текущим учетам, отклоняется от типичной, следует выяснить причины этого (недостаточная влажность почвы, недостаток питания по листовой диагностике и т. п.) и устранить их, чтобы достигнуть запланированного урожая.

Кривые роста должны характеризовать состояние растений, по возможности, за короткие этапы вегетации. Учащенный контроль за ростом особенно важен в критические периоды, когда осуществляется активное накопление биомассы. Дни от всходов

до накопления максимума биомассы наносят на оси абсцисс, ожидаемые показатели роста — на оси ординат. На этот же график наносят фактическую кривую роста.

Если в какой-то период вегетации она отклоняется от ожидаемой (типичной для данного уровня урожайности) более чем на 10%, необходима коррекция условий роста и развития растений. Если кривые типичного роста еще не установлены, необходимо провести исследования, в которых должны участвовать студенты. Наблюдения за темпами роста в таких случаях важно проводить при разных условиях водного режима и питания.

Ход работы. В фазе всходов отобрать в отведенных местах делянки 100 растений, измерить их высоту, площадь листьев, определить массу и отобрать пробы на содержание воды. На культурах сплошного сева отобрать 5 проб по одному погонному метру, подсчитать количество растений в каждой пробе и провести биометрические учеты.

Биометрические учеты проводят через каждые 10 дней и, кроме того, в основные фазы вегетации растений до созревания. Когда растения становятся крупными, что обычно наблюдается у ряда пропашных культур, в учет берут по 10 типичных растений.

Высоту растений, выбрасывающих колос или метелку, измеряют до верхнего края колоса или метелки, а перед этой фазой — до конца верхнего листа.

Как только сформируется стебель, кроме высоты, площади листьев и общей массы растений, учитывают отдельно массу листьев, а в репродуктивный период также массу плодовых образований.

После проведения всех учетов исследователь будет располагать такими данными: высота растений в динамике, накопление сырой биомассы, сухой биомассы, площадь листьев, их масса и динамика накопления массы плодовых образований, конечный урожай.

Задание 1. Провести в указанном плане биометрические учеты на делянках с разными уровнями предполивной влажности почвы или в вариантах — без орошения и удобрений, при рекомендуемом режиме орошения без удобрений, при сочетании рекомендуемого режима орошения и оптимальной нормы удобрений; вычертить кривые, характеризующие динамику роста в высоту, а также накопления биомассы в период от всходов до достижения соответствующего максимума; установить долю полезной части урожая в биомассе при каждом уровне урожайности; сопоставить и найти математическую зависимость урожайности от прироста массы растений в период активного роста.

Задание 2. Выполнить те же исследования с дополнением учетов выноса растениями питательных веществ, определениями динамики их в почве и динамики почвенной влажности.

Установление влажности торможения роста. Влажность торможения роста (ВТ) — тот уровень увлажнения почвы, при ко-

тором резко снижается темп роста растений. Обычно влажность торможения роста близка к влажности разрыва капилляров (ВРК), определяемой физическими методами, но несколько варьирует в зависимости от биологических особенностей растений. Влажность торможения роста более точно в сравнении с ВРК характеризует оптимальные условия водного режима почвы для данной культуры.

Уровень ВТ может изменяться в некоторых пределах по фазам вегетации. Поэтому целесообразна постановка опытов и наблюдений в фазе прорастания семян и в отдельные периоды вегетации культурных растений.

Ход работы в фазе прорастания семян. Протарировать, доведя до постоянной массы, чашки Коха; заполнить их одинаковым количеством почвы, для которой известны НВ и исходная влажность. Перед набивкой чашек почву доводят до одинаковой влажности — 50% НВ. После набивки проводят посев на глубину 0,5—1,0 см по 50 в каждую чашку. Поливами поддерживают влажность почвы 50, 60, 70, 80, 90, 100% НВ. Повторность чашек пятикратная.

Перед поливом почву покрывают кружком фильтровальной бумаги и через нее вливают рассчитанное количество воды так, чтобы фильтровальная бумага смачивалась равномерно.

Расчет воды для полива проводят следующим образом: если в чашке 200 г абсолютно сухой почвы, а ее наименьшая влагоемкость составляет 20%, то для доведения влажности до НВ требуется 40 г воды, до 80% — 32 г и т. д. Масса чашки будет состоять из массы тары, массы сухой почвы и массы воды, которая соответствует установленному проценту НВ.

Для того чтобы почва не теряла из поверхностных слоев воду, над почвой создают влажную камеру — прикрывают сверху большим кругом фильтровальной бумаги и поддерживают ее во влажном состоянии в течение всего опыта. Полной гарантии устранения потери влаги при этих условиях все же нет, поэтому массу чашек с увлажненной почвой и семенами ежедневно проверяют и при необходимости недостающее количество воды доливают через фильтровальную бумагу на почве.

С начала прорастания семян количество проростков подсчитывают ежедневно и по скорости прорастания находят влажность торможения роста. Опыт можно закончить, когда в лучших вариантах по влажности почвы количество проросших семян составит 90%. После подсчета проросших семян на дату определения во всех остальных вариантах следует рассчитать процентное содержание проросших семян в каждом варианте за 1 день опыта. Например, в одном из опытов скорость прорастания семян хлопчатника: при влажности 100, 90 и 80% НВ составила по 16% в день, а при влажности 70% НВ — только 10%, при влажности

60% НВ — 7,5%. Влажность торможения роста здесь будет 70—75% НВ.

Задание. Провести опыт на типичной почве региона с избранной культурой. Представить графически скорость прорастания семян при разной влажности почвы и сделать вывод о влажности торможения роста в начальную фазу вегетации.

Материалы и оборудование: чашки Коха, почва, фильтровальная бумага, ножницы, мензурка, весы ВЛТК-500, семена подопытной культуры.

Ход работы с вегетирующими растениями. Опыт проводят в небольших сосудах на 4—5 кг почвы. В сосудах поддерживают оптимальную влажность почвы — около 85% НВ. Для равномерного увлажнения почвы проводят верхний и нижний поливы через трубки. Поверхность почвы закрывают толстым слоем ваты.

За 6—8 дней до изучаемой фазы вегетации в одной из серий, состоящей из 5—6 сосудов, поливы прекращают. По ежедневным промерам высоты растений в контрольном и опытном вариантах устанавливают момент явного замедления роста в сосудах без полива. В этот день специальным маленьким буром в опытном варианте берут пробы почвы на влажность и определяют ее термостатно-весовым методом. Пробы берут со всей толщи почвы по две в каждый сосуд. Полученная влажность будет соответствовать влажности торможения роста.

Задание. Провести опыт для установления влажности торможения роста в три фазы вегетации: до начала активного роста и накопления биомассы растений, в период активного роста и после его завершения у опытной культуры. В схему опыта войдут варианты: 1) контроль — при постоянном оптимальном уровне почвенной влажности; 2) торможение роста до критического периода (активного роста); 3) торможение роста в критический период; 4) торможение роста после завершения активного роста растений.

Материалы и оборудование: вегетационные сосуды, почва, весы десятичные на 10—12 кг, линейки, семена изучаемого растения, алюминиевые бюксы, весы ВЛТК-500, маленький почвенный бур, термостат, эксикатор.

Влияние орошения на образование корневой системы растений. В условиях орошения растения формируют мощную корневую систему с большим количеством мелких всасывающих корешков, что способствует лучшему поглощению воды и питательных веществ почвы.

Процесс формирования корневой системы у разных культур, их сортов и гибридов протекает неодинаково. На мощность, степень разветвления и массу корней особенно влияет орошение, сочетающееся с удобрениями.

Практические занятия по установлению влияния режима орошения и совместного его действия с удобрениями можно проводить как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Ход работы в лаборатории. Вырастить комнатные или полевые растения в теплице при разных условиях влажности почвы и питания. Опыт можно поставить в вазонах или небольших ве-

гетационных сосудах. Рекомендуемые схемы опыта: поливы при влажности 60% НВ без внесения удобрений; поливы при влажности 85% НВ без удобрений; поливы при влажности 85% НВ и внесении полного минерального удобрения. Ко времени лабораторных занятий комнатные растения должны быть хорошо развиты, а полевые — завершить фазу активного роста. Надземную массу растений учитывают по массе и высоте.

На занятиях корни растений отмывают, взвешивают их сырую массу по фракциям и оставляют в марлевых мешочках для доведения до постоянной массы в воздушно-сухом состоянии. После отмывки живые корни разделяют на фракции — диаметром до 1 мм и более.

Отмыть корни от почвы можно в обычном ведре методом многократной декантации. Почву разминают в воде, энергично перемешивают мешалкой. Верхнюю часть воды сливают на мелкое сито с ячейками 0,25 мм. Затем доливают в ведро чистую воду, продолжают перемешивать и сливать суспензию. Эту операцию повторяют до тех пор, пока в ведре останется осадок почвы без корней. Корни, оставшиеся на сетке, отделяют от мелких частиц почвы, еще раз хорошо промывают чистой водой, после чего они поступают на разборку и взвешивание.

Для отмывки можно использовать простое приспособление. В ведро с вырезанным дном вставляют два сита — в нижнюю часть с частой сеткой (0,25 мм), в верхнюю — с крупной (2—4 мм). При отмывке на верхнем сите остаются крупные корни, на нижнем — мелкие. Ведро устанавливают над баком, в который сливают воду с почвой.

Ход работы в поле. Для учета корневой системы на культуре сплошного посева к концу периода активного роста применяют способ рамочной выемки почвы. Металлическая или деревянная рамка имеет размеры 30,3×33,0 см, то есть площадь 0,1 м². На посевах пропашных культур площадь рамки соответствует площади питания или квадрату, стороны которого равны ширине междурядий.

Прикрепив углы рамки большими гвоздями к почве, подсчитывают количество растений и измеряют их высоту. Затем растения срезают на уровне поверхности почвы, взвешивают и оставляют в марлевом мешочке для доведения до воздушно-сухого состояния.

Ножом длиной 10 см в почве по внутренним краям рамки делают надрез, делят почву на части, вынимают совочком из слоя 0—10 см и переносят в мешок.

Для контроля глубины слоя применяют вторую рамку, внешние размеры которой на 1—2 мм меньше внутренних размеров первой. Она свободно опускается вглубь по мере выемки почвы. Высота второй рамки 10 см, что дает возможность контролиро-

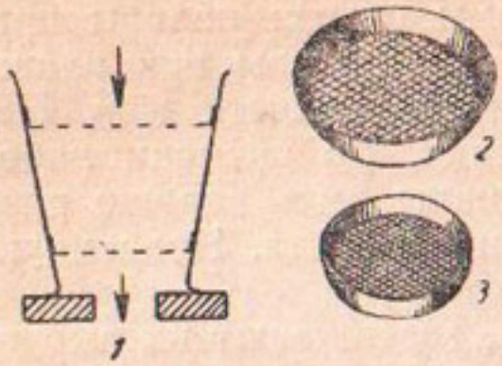

Рис. 4. Отмывка корней из небольших образцов почвы:

1 — положение сит в ведре; *2* — верхнее сито; *3* — нижнее сито.

вать глубину слоя, из которого берут пробу.

В таком же порядке делают выемку почвы из слоев 10—20, 20—30, 30—40 и 40—50 см. Корни отмывают на установке из двух сит, укрепленных на стойках — четырех брусьях (рис. 4). Сита устанавливают одно над другим. Диаметр ячеек верхнего сита 2—4 мм, нижнего 0,25—0,5 мм. Почву с корнями переносят на верхнее сито и промывают распыленной струей воды. Промывные воды из нижнего ящика с помощью лотка отводят в оросительный канал.

На нижнем сите, кроме живых корней, могут быть старые полуразложившиеся корни, пожнивные остатки, мелкие частицы почвы. Всю эту массу несколько раз промывают и отделяют живые корни. Их можно собрать пинцетом, разделив на фракции.

Живые корни удобно отделять путем повторяющейся декантации в большом химическом стакане. Массу, подлежащую декантации, заливают водой и хорошо перемешивают стеклянной палочкой. Мертвые растительные остатки всплывают и их сливают на сито с ячейками 0,25 мм, гумифицированные корневые остатки и мелкие живые корни оседают на дно стакана, более крупные занимают промежуточное положение. Их также сливают на сито. Мелкие живые корни из гумифицированной массы отбирают пинцетом. Фракции только что отмытых корней взвешивают. Взвешивание повторяют после воздушной сушки. Для более точного учета определяют абсолютно сухую массу корней.

Задание. Определить массу корней избранной культуры по фракциям в различных слоях почвы на орошаемом и неорошаемом участках, а также на орошаемом участке с повышенной нормой удобрений. Время определения — конец периода интенсивного роста растений. Повторность взятия проб 4—5-кратная. Провести дисперсионный анализ результатов и представить графически.

Определение активного слоя почвы. Понятие активного слоя используют в орошаемом земледелии для характеристики слоя активного водопотребления растений. Это близкие к поверхности слои, наиболее богатые питательными веществами, густо населенные микроорганизмами, где размещается основная масса всасывающих корней, их физиологические центры поглощения воды и питательных веществ. Принято считать, что в активном слое размещается не менее 90% мелких физиологически деятельных корней.

Активный слой различен у разных культур из-за особенностей

строения их корневой системы и несколько изменяется по фазам вегетации. Однако к началу поливного периода, особенно в период активного роста растений, мощность активного слоя близка к типичной для данной культуры.

В первом приближении о глубине активного слоя можно судить по тому, как идет водопотребление из разных слоев почвы. Более надежен метод определения активного слоя по размещению в почве корневой системы. Желательно исследовать весь корнеобитаемый слой или хотя бы $^2/_3$ его. Для большинства полевых культур раскопки нужно выполнять на глубину 1—1,5 м, для люцерны — на 2 м.

Для выемки корней применяют метод монолитов. На узкорядных посевах широкая сторона монолита обычно равна удвоенной ширине междурядий, узкая — не менее 15—20 см. При ширине междурядий 15 см площадь монолита может быть 30×20 см. Место взятия монолита обозначают рамкой. В нее помещают 2 рядка культуры. На площадке срезают и учитывают растения (число, высота, масса), очищают поверхность и окапывают монолит. Его размеры тщательно проверяют по отвесу или линейке и размечают по слоям в 10 см. Затем последовательно каждый слой берут в мешок и направляют на отмывку (см. задание по учету корневой системы в поле).

На широкорядных посевах пробы почвы с корнями удобно брать прямо со стенки траншеи. Ширина траншеи 50—60 см, глубина на 20—30 см больше глубины взятия проб. Отвесная стенка траншеи со стороны монолита должна находиться в середине междурядья. Рамку, обозначающую место монолита, накладывают так, чтобы рядок растений приходился на ее середину. Площадь монолита на поверхности обозначают надрезом, затем размечают очищенную стенку траншеи двумя вертикальными линиями по краям на ширину монолита, а горизонтальными разделяют его на слои по 10 см. Из каждого слоя почву переносят в мешок совочком и направляют на отмывку. Правильность взятия почвы по слоям контролируют специальной рамкой высотой 10 см, которую вставляют в образующееся углубление в почве после выемки очередного образца почвы.

После отмывки отбирают и взвешивают молодые корни диаметром до 1 мм. Слой почвы, в котором размещается 90% таких корней, считается активным. Берут навеску сырых корней для определения их воздушно-сухой или абсолютно сухой массы.

Для более точного определения активного слоя целесообразно установить поверхность рабочей адсорбирующей части корневой системы методом Сабинина и Колосова (см. «Практикум по физиологии растений» под ред. Н. Н. Третьякова, — М.: Колос, 1982, с. 169...171). Методика определения основана на том, что поглощаемое корневой системой вещество в течение некоторого

времени адсорбируется всей ее поверхностью, а затем — только деятельной (рабочей) частью.

Количество поглощенного вещества можно измерить по изменению концентрации раствора, в который погружают корни. В качестве поглощаемого вещества используют метиленовую синь (МС). Установлено, что 1 мг МС при мономолекулярной адсорбции покрывает 1,05 м² поверхности адсорбента. При первом и втором погружениях в раствор на 90 с корни поглощают МС всей поверхностью, при третьем — только деятельной частью.

Вначале отмытые, просушенные фильтровальной бумагой и взвешенные корни последовательно погружают на 90 с в каждый из трех химических стаканов, наполненных 0,0003 н. раствором МС. Объем раствора должен быть в 10 раз больше объема корней. Каждый раз после погружения раствору дают стечь в тот же стакан, из которого вынуты корни. Концентрацию раствора в каждом стакане сравнивают с исходной. Перед колориметрированием исходный и опытные растворы разбавляют в 10 раз. По количеству поглощенной МС в первых двух стаканах определяют общую поверхность корней, по учету в третьем — деятельную поверхность (количество МС в мг умножить на 1,05).

Для ориентировки приводим средние данные мощности активного слоя почвы для разных культур, возделываемых в условиях глубокого залегания грунтовых вод (табл. 8).

8. Глубина активного (расчетного) слоя почвы по фазам вегетации сельскохозяйственных культур

Культура	Фаза вегетации	Активный слой почвы, м
Озимая пшеница	Кущение	0,5—0,6
	Трубкование	0,7—0,8
	Колошение	0,9—1,0
Люцерна	Выход из-под покрова	0,7—0,8
	Отрастание после укосов	1,0—1,2
Кукуруза	Появление пасынков	0,5—0,6
	Выметывание метелки	0,7—0,8
	Цветение	0,7—0,9
Сахарная свекла	Розеточные листья	0,3—0,4
	Усиленный рост листьев	0,5—0,6
	Образование корнеплода	0,6—0,8
Картофель	Бутонизация	0,4—0,5
	Цветение	0,5—0,6
Томаты посевные	Бутонизация	0,3—0,4
	Цветение	0,4—0,5
	Формирование плодов	0,6—0,7

Задание 1. В период завершения активного роста культуры на орошаемых и неорошаемых полях взять по слоям корнеобитаемого горизонта почвы монолиты в 3—4-кратной повторности. Учесть корни по фракциям, определить

и графически представить распределение по слоям почвы — массы мелких корней, общей и деятельной их поверхности. По этим показателям установить мощность активного слоя почвы для избранной культуры.

Задание 2. Учесть размещение в орошаемой почве корневой системы растений по основным фазам вегетации избранной культуры.

Определение критического периода в жизни растений в отношении влаги. Критическим в отношении влаги называют сравнительно короткий период вегетации, когда даже небольшой недостаток воды резко снижает урожай. Потребность в воде в критический период бóльшая, чем в любой другой период развития растений. В критический период фазу активного роста проходят органы, составляющие урожай: у колосовых культур это фазы роста и дифференциации колоса, созревание пыльцы и процесс оплодотворения, у культур, урожай которых составляется из вегетативных органов (картофель, свекла, капуста), критический период совпадает со временем активного роста их биомассы.

Цель практических занятий — убедиться в наличии критических периодов; установить вредоносность засухи и эффективность повышенного увлажнения почвы в соответствующие фазы вегетации; уточнить время прохождения критического периода у отдельных культур.

В полевых условиях с помощью поливов критический период установить трудно. Приближенное представление о нем дает однократный полив, выполняемый у разных вариантов опыта в различные фазы вегетации. В регионах, где систематические поливы необходимы для получения урожая, тем же целям служит полив в соответствующие этапы развития растений. Обычно такие опыты проводят несколько лет. Более быстро и надежно критические периоды устанавливают путем проведения вегетационного опыта.

Для опыта берут почву, имеющую точное название почвенной разности, с поля, история которого (посевы культур, внесение удобрений) хорошо известна. Почву берут однородную из пахотного слоя лопатами в чистые мешки или навалом на брезенты в количестве, на 25—30% больше рассчитанного по вместимости сосудов. Почва должна быть в средневлажном состоянии, когда она не пылит, но и не мажется, легко распадается на мелкие комки.

Лучший срок взятия почвы — ранняя весна. Перед набивкой сосудов ее перемешивают и просеивают через проволочные сита с ячейками 3 мм, определяют влажность и полную влагоемкость (максимальная гигроскопичность должна быть известна заранее). Наиболее распространены сосуды размерами 20×20 и 20×30 см. Они должны быть примерно одной массы, а перед набивкой их тарируют — уравнивают точно по массе. Для такого выравнивания применяют битое стекло. Оно необходимо и для дренажа. Стекло должно занимать $^2/_3$ дна сосуда под углом 30°. Трубочку

для полива устанавливают сбоку сосуда, конец ее выходит в горку дренажа.

Дренаж и все дно сосуда покрывают марлей, а сверху марли насыпают песок. Если в качестве дренажа применяют металлический конус с вырезными краями и отверстием для трубочки, то под ним укладывают стекло, необходимое для тарировки, а конус и дно сосуда также покрывают марлей и присыпают песком. В каждый сосуд отвешивают одинаковую массу почвы. В почву вносят и тщательно перемешивают с нею удобрения. Предпочтительны следующие удобрения: NH_4NO_3, KNO_3, $NH_4H_2PO_4$, $(NH_4)_2HPO_4$. Их количество может изменяться с учетом почвенных условий и вида растений. Как известную придержку приводим дозы удобрений в сосудах 20×20, применявшиеся К. К. Гедройцем: N — 0,75 г, P_2O_5 — 0,5 г и K_2O — 0,5 г. Эти дозы были достаточными для получения высокого урожая сельскохозяйственных культур.

При набивке почву хорошо уплотняют, особенно в нижней части сосуда. После выравнивания поверхности почвы от нее до края сосуда должно оставаться 1,5—2 см. Вслед за посевом почву сверху присыпают кварцевым песком — в среднем 200 г на сосуд, чтобы его слой составил 1 см. Песок уменьшает потери влаги на испарение и предохраняет почву от образования корки при верхнем поливе.

Поливают сосуды ежедневно, в жаркие дни дважды в день, доводя их до нужной массы. Половину воды вливают через трубочку для нижнего полива, остальную — для верхнего полива через слой песка.

Уровнем увлажнения, гарантирующим оптимальные условия для растений, принято считать влажность, равную 60% полезной влаги, то есть разности между полной влагоемкостью и влажностью завядания. Последняя в 1,5 раза больше максимальной гигроскопичности. Величину полезной влаги обозначим РПЗ.

Заданное количество влаги можно рассчитать по формуле:

$$x = C(a + b),$$

где C — доля полезной влаги (при 60% — 0,6, при 40% — 0,4, при 80% — 0,8); a — полная влагоемкость; $в$ — максимальная гигроскопичность.

Задание 1. Провести опыт по влиянию засухи на избранную культуру в отдельные межфазные периоды по следующей схеме:

Вариант опыта	Влажность почвы в % РПЗ по периодам			
	входы — бутонизация	бутонизация — цветение	цветение — налив	налив — созревание
1 (контроль)	60	60	60	60
2	40	60	60	60
3	60	40	60	60
4	60	60	40	60
5	60	60	60	40

Повторность сосудов — 4—5-кратная.

Задание 2. Провести опыт по выявлению влияния повышенного увлажнения на избранную культуру в отдельные межфазные периоды по следующей схеме:

Вариант опыта	Влажность почвы в % РПЗ по периодам			
	входы — бутонизация	бутонизация — цветение	цветение — налив	налив — созревание
1 (контроль)	60	60	60	60
2	80	60	60	60
3	60	80	60	60
4	60	60	80	60
5	60	60	60	80

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ РАСТЕНИЙ

Бóльшая часть заданий по водопотреблению рассчитана на проведение эксперимента, который часто длится в течение всего вегетационного периода, требует постоянного наблюдения, учетов и ухода за растениями.

Определение транспирационных коэффициентов при разных условиях питания растений и влажности почвы. Транспирационный коэффициент — величина, показывающая расход воды за время вегетации в граммах на 1 г сухой биомассы растений. При этом учитывают только воду транспирации, то есть испаряющуюся с поверхности листьев и других органов растений.

Транспирационный коэффициент различен у разных культур, их сортов и гибридов. Он изменяется под влиянием температуры, влажности воздуха, влажности почвы, условий питания растений. Последнее особенно важно, так как, регулируя питание, мы можем изменять транспирационный коэффициент, создавать условия для экономного использования оросительной воды.

Определяют транспирационный коэффициент вегетационным методом. Повторность сосудов пятикратная. Вегетационные сосуды следует подбирать в соответствии с мощностью и биологическими особенностями растений. Наиболее распространена вместимость сосудов, рассчитанная на 8 л почвы или на массу ее около 8—10 кг.

Сосуды оборудуют дренажем, трубками для полива, тарируют (масса каждого из них должна быть одинаковой) и набивают равным количеством почвы с соблюдением методики постановки вегетационных опытов. Во все сосуды входит определенное, одинаковое для всех, количество песка, которым покрывают поверхность почвы после набивки, чтобы исключить образование корки при верхнем поливе. Верхний и нижний (с помощью трубки) поливы нужно чередовать.

Следует подготовить две серии сосудов, заряжаемых неудобренной и удобренной почвой (на 1 кг сухой почвы вносят смесь Гельригеля, содержащую KH_2PO_4—0,136 г, $Ca(NO_3)_2$—0,492, $MgSO_4$—0,060, KCl—0,075, Fe_2Cl_6—0,025 г или часть перечисленных соединений, содержащих N, P и K).

До набивки сосудов определяют влажность почвы и ее полную влагоемкость. Поливами поддерживают в каждой серии сосудов три уровня влажности почвы — 40, 60 и 80% полной влагоемкости или такие же уровни в процентах полезной влагоемкости, которую определяют как разность между полной влагоемкостью и влажностью завядания (Большой практикум по физиологии растений под редакцией Б. А. Рубина. — М., «Высшая школа», 1978, с. 7). Влажность завядания принимают равной полуторной максимальной гигроскопичности.

При выполнении настоящего задания транспирационный коэффициент изучают при указанных трех уровнях влажности на фоне удобрений и без них. Посев (посадку) проводят проросшими семенами в определенные места в сосуде.

Для того чтобы исключить испарение воды почвой, после появления всходов и их укрепления поверхность почвы, защитив растения, поливают парафином (одинаковым количеством в каждом сосуде) или закрывают сосуд металлической крышкой с отверстиями для растений. Пространство между стеблями растений и краями отверстий в крышке заполняют ватой.

Сосуды поливают ежедневно, а в жаркие дни дважды в день. Воду доливают до массы, рассчитанной для каждого уровня увлажнения. Ко дню уборки ежедневное количество доливаемой воды в каждом варианте опыта суммируют.

При уборке растения в сосуде срезают над поверхностью почвы и взвешивают. Отдельно взвешивают стебли, листья, плоды и по вариантам опыта отбирают пробы этих органов для определения в них содержания воды. Всю биомассу из сосуда укладывают в марлевый мешочек для воздушной сушки.

Определив абсолютно сухую биомассу, находят транспирационный коэффициент сначала для отдельного сосуда, а затем среднее значение для каждого варианта.

Транспирационный коэффициент получают делением количества граммов воды, потерянной вследствие транспирации за вегетационный период, на количество граммов биомассы. Полученные данные по урожаю биомассы и по транспирационному коэффициенту сводят в таблицу по форме 12.

Данные урожайности и транспирационного коэффициента, полученные в двухфакторном опыте, подвергают дисперсионному анализу.

Суммарное испарение и методы его определения. Суммарное испарение, или суммарное водопотребление, — количество воды,

Форма 12

Влияние влажности почвы и удобрений на транспирационный коэффициент (или урожай) культуры

Культура _____ Дата посева _____ Дата уборки _____

Фон питания	Влажность почвы, % ПВ		
	40	60	80
Без удобрений			
С удобрениями			

затраченное гектаром посева за время вегетации на физическое испарение воды почвой и на транспирацию. Синоним суммарного испарения — эвапотранспирация.

В полевых условиях при глубоком стоянии УГВ суммарное испарение определяют *методом водного баланса* по формуле:

$$\Sigma_{\text{п}} = (W_{\text{п}} - W_{\text{у}}) + O_{\text{п}} + H_{\text{ор}},$$

$\Sigma_{\text{п}}$ — суммарное испарение (суммарное водопотребление), м³/га; $W_{\text{п}}$ — запас влаги в корнеобитаемом слое почвы ко времени посева, м³/га; $W_{\text{у}}$ — запас влаги в корнеобитаемом слое почвы в момент уборки, м³/га; $O_{\text{п}}$ — полезные осадки за время вегетации, м³/га; $H_{\text{ор}}$ — оросительная норма, м³/га.

Запас влаги в корнеобитаемом слое определяют термостатно-весовым методом. Корнеобитаемый слой различен у разных куль-

9. Количество влаги, используемой растениями из грунтовых вод, м³/га (по Г. К. Льгову)

Почвогрунт	Глубина залегания УГВ, м				
	1	1,5	2	2,5	3
Полевые культуры					
Легкосуглинистый	1200	1000	500	—	—
Среднесуглинистый	1500	1200	600	200	—
Тяжелосуглинистый	2000	1500	1000	500	200
Тяжелоглинистый	2500	2000	1500	1000	400
Овощные культуры					
Легкосуглинистый	1000	700	—	—	—
Среднесуглинистый	1200	900	600	—	—
Тяжелосуглинистый	1800	1200	800	—	—
Тяжелоглинистый	2000	1500	800	200	—

Оборудование: игольчатый бур, алюминиевые стаканчики, эксикатор, сушильный шкаф, весы ВЛТК-500, 2 ящика для бюксов.

тур. Наименьшая его мощность 1—1,5 м. Пробы почвы на влажность берут по слоям через каждые 10 см со всей глубины корнеобитаемого слоя. Повторность скважин, из которых отбирают пробы на влажность, не менее 5—6-кратная.

Полезные осадки подсчитывают по данным метеорологической станции. К полезным относят осадки не менее 5 мм. Сумму их за вегетационный период умножают на 0,6—0,7 (коэффициент использования осадков уточняют по регионам), так как часть осадков стекает, не проникая в почву.

При высоком стоянии УГВ суммарное испарение определяют по формуле:

$$\Sigma_и = (W_п - W_у) + O_п + H_{ор} + г,$$

где г — количество влаги, используемое растениями из грунтовых вод (табл. 9). Оно зависит от культуры, глубины залегания УГВ и степени их минерализации.

Биоклиматический метод определения суммарного испарения, предложенный А. М. Алпатьевым, основан на существующей связи суммарного испарения с дефицитом влажности воздуха:

$$E = K\Sigma D,$$

где E — суммарное испарение, м³/га; ΣD — сумма дефицитов влажности воздуха за период вегетации, миллибар; K — коэффициент, изменяющийся, по А. М. Алпатьеву, в пределах 0,6...0,7.

Фактические изменения его зависят от местных условий и биологических особенностей сельскохозяйственных культур. Связь действительна при оптимальной влажности почвы, поддерживаемой поливами или осадками в зоне достаточного увлажнения.

Биофизический метод разработан в условиях Северного Кавказа Г. К. Льговым (1963). В основу его положена связь суммарного испарения с температурой воздуха:

$$E = K\Sigma t,$$

где Σt — сумма среднесуточных температур за период вегетации культуры, °С; K — биофизический коэффициент, равный для большинства сельскохозяйственных культур 1,88 м³/га и для люцерны — 2,3 м³/га.

Задание 1. Определить по данным ближайшей метеорологической станции сумму среднесуточных дефицитов влажности воздуха за период вегетации кукурузы от даты посева до даты восковой спелости. Рассчитать суммарное испарение биоклиматическим методом.

Задание 2. Рассчитать суммарное испарение для люцерны по следующим данным: $\Sigma t = 3400$°С; $K = 2{,}3$. Определить по данным метеорологической станции сумму среднесуточных температур за фактический период вегетации избранной культуры и, пользуясь коэффициентом 1,88, рассчитать для нее суммарное испарение.

Расчет испарения методом турбулентной диффузии предложен А. Р. Константиновым.

Турбулентный поток газов характеризуется хаотическими пульсациями скорости и его направления в каждой точке. Турбулентные воздушные вихри переносят тепло, водяной пар, осуществляют теплообмен и влагообмен между поверхностью почвы и атмосферой. Интенсивность этих процессов зависит от интенсивности турбулентного перемешивания и распределения соответствующих показателей с высотой. Это определяет необходимость градиентных наблюдений, то есть наблюдений на разных высотах, измерений температуры, влажности воздуха, скорости ветра.

Скорость ветра обращается в нуль не на самой поверхности, а на некоторой высоте над ней. Высота этого слоя, слоя шероховатости, характеризуется коэффициентом Z_0. В растительном покрове он составляет около $^1/_7$ его высоты, для зерновых культур он равен 3—7 см.

Воздушный поток над слоем шероховатости оттесняется вверх. Верхняя его граница зависит от вида, высоты и густоты травостоя. Над этой границей профиль скорости ветра превращается в прямую. Слой вытеснения $Z_в$ определяют приближенно, умножая высоту растений на $^2/_3$.

Градиентные наблюдения проводят на уровнях 0,2 и 2 м над слоем вытеснения. После измерения и внесения поправок, указанных в прилагаемых к приборам инструкциях, определяют разность температуры ΔT и абсолютной влажности воздуха Δe. Показатели ΔT и Δe получают, вычитая соответствующий показатель на уровне 2 м из показателей на уровне 0,2 м. Вычитая скорость ветра на уровне 0,2 м из скорости на уровне 2 м, получим разность скорости ветра Δn.

Суммарное испарение (мм/ч) рассчитывают по формуле:

$$E = A\gamma a e^*$$

где $A = 0{,}079\ (l_{0,2} - l_2) \times (U_2 - U_{0,2})$; γa_e — произведение, которое находят по вспомогательной таблице, построенной с учетом числа Ричардсона R_i и Z_0.

Число Ричардсона отыскивают по формуле:

$$R_i = -0{,}078\ \frac{T_{0,2} - T_2}{(U_2 - U_{0,2})^2}.$$

Его можно также найти по специальной таблице.

Задание. Провести на орошаемом участке ежедневные градиентные наблюдения за температурой, абсолютной влажностью и скоростью движения воздуха в указанные часы, начиная с фазы всходов и до наступления биологической спелости избранной культуры. Поддерживать поливами влажность почвы в метровом слое не ниже 70% НВ.

---

* При расчетах необходимо пользоваться пособием А. Р. Константинова «Методы расчета испарения с сельскохозяйственных полей». — Л.: Гидрометеоиздат, 1971, с. 31...49, приложения 11, 12, 13.

Параллельно определять ежедекадно, а также до и после поливов влажность почвы в том же слое термостатно-весовым способом. Рассчитать и сопоставить графически суммарное испарение по декадам и за вегетационный период, устанавливаемое путем градиентных наблюдений и методом водного баланса.

Материалы и оборудование: аспирационные психрометры — 2; стойки для психрометров диаметром не более 5 см — 2, анемометры — 2, стойки для анемометров — 2, измерительная линейка с делениями 1 см.

Расчет оросительных норм. Суммарное испарение — исходная величина, позволяющая определить оросительную норму, то есть все количество воды, подаваемое на поле за период вегетации.

$$H_o = \Sigma u - (W_п - W_у) - O_п - K,$$

где H_o — оросительная норма, м³/га; Σu — суммарное испарение, м³/га; $W_п$ и $W_у$ — запас влаги в метровом слое почвы при посеве и при уборке культуры, м³/га; $O_п$ — сумма полезных осадков за вегетационный период, м³/га; K — количество используемой растениями грунтовой воды, м³/га.

Приближенно значение $(W_п - W_у)$ равно весеннему запасу оптимальной влаги в метровом слое почвы, то есть запасу, превышающему ВРК, что для большинства почвы близко к 65—70% НВ.

Так, если НВ = 20% массы сухой почвы, то 70% НВ составят 14% влаги. При весеннем запасе 90% НВ в почве будет 18% влаги. Запас оптимальной влаги составит 18—14 = 4% массы почвы. Количество влаги в метровом слое почвы при ее объемной массе 1,4 равно: $100 \cdot 1 \cdot 1{,}4 \cdot 4 = 560$ м³/га.

Когда УГВ находится на глубине 3 м и глубже, растения их не используют и величину K не учитывают.

Пример. Суммарное испарение на посеве кукурузы при глубоком залегании УГВ 3900 м³/га; запас оптимальной влаги весной 560 м³/га; сумма полезных осадков за вегетационный период 150 мм, что при коэффициенте использования их 0,6 составит 90 мм, или 900 м³/га.

Решение: 3900—560—900 = 2440 м³/га.

При высоком стоянии УГВ для определения K используют справочные таблицы. При их отсутствии можно воспользоваться усредненными коэффициентами, приведенными в таблице 10.

10. Поправочные коэффициенты на оросительную норму в зависимости от уровня грунтовых вод и вида сельскохозяйственных культур

Культуры	Глубина залегания УГВ, м				
	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Глубокоукореняющиеся (сахарная свекла, кукуруза, подсолнечник и др.)	1,0	0,89	0,77	0,66	0,24
Среднеукореняющиеся (горох, картофель и др.)	1,0	0,93	0,86	0,73	0,43
Мелкоукореняющиеся (овощи)	1,0	0,98	0,95	0,87	0,62

При залегании пресной грунтовой воды на глубине 2 м поправочный коэффициент составляет 0,77, и оросительная норма выразится величиной 2440·0,77=1879 м³/га. Таков вывод для почвы, средней по механическому составу. Отсюда устанавливаем количество используемой грунтовой воды: 2440—1879=561 м³/га.

На легких суглинках это количество, по М. Н. Багрову, уменьшается на 15—20%, на тяжелых — на столько же увеличивается. Если грунтовая вода слабозасоленная, то используемое ее количество, по данным Г. К. Льгова, уменьшается в 2—2,5 раза.

Задание 1. Рассчитать оросительную норму для заданной культуры при глубоком стоянии УГВ, используя полученные ранее данные по суммарному испарению, весеннему запасу оптимальной влаги и данные метеорологической станции по осадкам за период вегетации.

Задание 2. Рассчитать оросительную норму для заданной культуры при возделывании ее на средних по механическому составу почвах при указанном преподавателем уровне и минерализации грунтовых вод.

При расчете оросительной нормы животноводческого стока ее рассчитывают по пресной воде — устанавливают биологическую потребность в ней, затем проводят контрольный расчет с учетом содержания в осветленном стоке питательных веществ, чтобы избежать их избытка, вредного для растений:

$$H_{ос} = \frac{П}{10HS},$$

где $H_{ос}$ — оросительная норма осветленных сточных вод, м³/га; $П$ — норма выноса питательных веществ (N, P, K) орошаемой культурой при планируемой урожайности, кг/га; H — коэффициент использования питательного вещества растениями — H=0,6—0,7 для азота, H=0,6 для фосфора и калия; S — содержание соответствующего питательного вещества в осветленном стоке, %.

Подобный подход применяют при использовании других видов сточных вод.

Задание. Рассчитать оросительную норму животноводческого стока по заданной урожайности избранной сельскохозяйственной культуры, нормам выноса питательных веществ с урожаем, содержанию питательных веществ в стоке.

Определение коэффициента водопотребления (КВ). Коэффициент водопотребления — это суммарный расход воды на 1 т или на 1 ц урожая. Выражают КВ в м³/т или м³/ц урожая. При расчете коэффициента водопотребления учитывают воду, затраченную на транспирацию и испарение. Эти статьи расхода воды посевом составляют вместе суммарное испарение (Σu). Метод его определения рассмотрен в предыдущем задании.

Кроме того, при определении КВ учитывают только полезную часть урожая:

$$КВ = \frac{\Sigma u}{У},$$

где $У$ — полезная часть урожая, например зерно пшеницы, кукурузы, сои и др.

Выполняя это задание, следует усвоить не только метод определения коэффициента водопотребления, но также установить влияние на него мелиоративных и агротехнических условий — орошения, способов полива, удобрений, густоты посева, сроков посева и др. Наблюдения можно провести как на хозяйственных посевах, так и на опытах, а результаты записать в произвольной форме.

Задание 1. Определить КВ на посевах избранной культуры без орошения и в условиях орошения.

Задание 2. Определить КВ разных культур, возделываемых при орошении.

Задание 3. Определить влияние удобрений на КВ избранной орошаемой культуры.

Задание 4. Установить влияние метеорологических условий на КВ орошаемой культуры по данным за несколько лет.

По решению преподавателя студент выполняет одно из этих заданий.

Определение коэффициентов эффективности и продуктивности орошения. Понятие коэффициента эффективности орошения (КЭО) ввел в литературу профессор С. А. Делиникайтис. Он показывает расход оросительной воды на 1 т или на 1 ц прибавки урожая, полученной от орошения, и определяется по формуле:

$$КЭО = \frac{H_o}{У_o - У_б},$$

где H_o — оросительная норма, м³/га; $У_o$ — урожай при орошении, ц/га; $У_o$ — урожай той же культуры без орошения на богаре, ц/га.

Чем меньше КЭО, тем меньше оросительной воды расходуется на единицу массы дополнительной продукции, полученной от орошения.

Тот же смысл при ином выражении имеет коэффициент продуктивности орошения (КПО). По нему можно судить о количестве продукции, получаемой дополнительно на каждый кубометр израсходованной оросительной воды.

Этот коэффициент аналогичен коэффициенту продуктивности транспирации, по которому мы судим о количестве граммов сухой биомассы, получаемой на каждый килограмм воды транспирации.

Форма 13

Влияние влажности почвы и удобрений на КЭО и КПО

Водный режим	КЭО		КПО	
	фон питания			
	без удобрений	при оптимальной норме удобрений	без удобрений	при оптимальной норме удобрений
Без орошения				
Оптимальный				

$$КПО = \frac{У_о - У_б}{Н_о}.$$

Задание. Определить КЭО и КПО по данным двухфакторного опыта, в котором изучают режимы орошения и удобрений. Могут быть использованы опубликованные исходные данные научно-исследовательских институтов, опытных станций, сельскохозяйственных вузов или данные проведенного студентами эксперимента. Результаты расчета представить по форме 13.

Проанализировать полученные данные и сделать обобщающие выводы.

Корреляционный и регрессионный анализы связи КВ, КЭО и КПО с мелиоративными, агротехническими и метеорологическими условиями. Коэффициенты водопотребления, эффективности орошения и продуктивности орошения однотипно изменяются под влиянием внешних факторов жизни растений. Главные из этих факторов — удобрения, влажность почвы, температура и влажность воздуха. Эти коэффициенты зависят от биологических особенностей культур, их сортов и гибридов.

Степень связи рассматриваемых коэффициентов с разными факторами неодинакова. Установить ее важно, чтобы рационально использовать оросительную воду.

Для установления корреляционной связи изучаемого коэффициента с одним из факторов выполняют расчеты по формуле:

$$r = \frac{\Sigma (X - \bar{x})(У - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma (X - \bar{x})^2 \Sigma (У - \bar{y})^2}},$$

где r — коэффициент корреляции; **У** — изучаемый коэффициент водопотребления, эффективности или продуктивности орошения в соответствующих единицах измерения; X — факториальный признак также в соответствующих единицах измерения; $\bar{y}$ — среднее из показаний результативного признака; $\bar{x}$ — среднее из показаний факториального признака.

Ниже приведен пример расчета коэффициента корреляции для показателя эффективности орошения кукурузы ВИР 156 в условиях Ингулецкой оросительной системы и количества норм удобрений. За норму удобрений условно принято $N_{75}P_{46}K_{10}$. Коэффициент эффективности орошения выражен в м³/т силосной массы. Почва — южный чернозем.

Вспомогательная таблица расчета*

$У$	X	$У^2$	X^2	$XУ$
123	0	15 129	0	0
93	1	8 649	1	93
73	2	5 329	4	146
112	0	12 544	0	0
88	1	7 744	1	88

Продолжение

$У$	X	$У^2$	X^2	$XУ$
67	2	4 489	4	134
104	0	10 816	0	0
82	1	6 724	1	82
63	2	3 969	4	126
805	9	78 393	15	669
$\Sigma У$	ΣX	$\Sigma У^2$	ΣX^2	$\Sigma XУ$

* Вычисление вспомогательных величин:

$$n=9;\ \bar{y}=(\Sigma У):n=805:9=89{,}44\ м^3/т;$$

$$\bar{x}=(\Sigma X):n=9:9=1;\ \Sigma(X-\bar{x})^2=\Sigma X^2-(\Sigma X^2):n=15-(9)^2:9=6;$$

$$\Sigma(У-\bar{y})^2=\Sigma y^2-(\Sigma У)^2:n=78393-(805)^2:9=6390;$$

$$\Sigma(X-\bar{x})\cdot(У-\bar{y})=\Sigma XУ-(\Sigma X\cdot\Sigma У):n=669-(9\cdot805):9=-136.$$

$$r=\frac{\Sigma(X-\bar{x})(У-\bar{y})}{\sqrt{\Sigma(X-\bar{x})^2\Sigma(У-\bar{y})^2}}=\frac{-136}{\sqrt{6\cdot6390}}=-0{,}70\pm0{,}08$$

$$Sr=\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}=\pm0{,}08\ \text{(ошибка коэффициента корреляции)}.$$

Долю участия изучаемого фактора — доз удобрений в изменениях величины КЭО — выражают коэффициентом детерминации — d; $d=r^2$. Следовательно, на долю норм удобрений в изменениях величины КЭО приходится $(-0{,}70)^2=0{,}49$, или 49% всех изменений. Остальные 51% приходятся на долю других факторов.

Регрессионный анализ показывает количественную связь между изучаемыми показателями. Важно определить коэффициент регрессии, устанавливающий, на сколько единиц изменяется результативный признак на единицу измерения факториального:

$$b_{yx}=\frac{\Sigma(X-\bar{x})(У-\bar{y})}{\Sigma(X-\bar{x})^2};$$

где b_{yx} — коэффициент регрессии, указывающий в данном случае, на сколько единиц изменяется коэффициент эффективности орошения при увеличении количества удобрений на одну их условную норму. В нашем примере $b_{yx}=-136:6=-22{,}67$.

Следовательно, каждой норме удобрений $N_{75}P_{45}K_{10}$ соответствует уменьшение коэффициента эффективности орошения на 22,67 м³/т силосной массы кукурузы.

Находим уравнение линейной регрессии:

$$У=\bar{y}+b_{yx}(X-\bar{x})=89{,}74+22{,}67(X-1)=112{,}11-22{,}67X,$$

или обобщенно:

$$У = a + bx = 112{,}11 - 22{,}67X.$$

Достоверность величин r и b_{yx} выражаем критерием t Стьюдента:

$$t_r = \frac{r}{S_r} = \frac{-0{,}70}{0{,}08} = -8{,}7.$$

Находим теоретическое значение t при степенях свободы $V = n - 2 = 9 - 2 = 7$.

При 5%-ном уровне значимости она составляет 2,37, а при 1%-ном — 3,50, то есть меньше фактической, равной —8,7, что свидетельствует о высокой достоверности полученных величин r и b_{yx}.

Задание 1. Используя данные, полученные в регионе сельскохозяйственного вуза, найти величины r, d и уравнение регрессии для КВ, КЭО или КПО по фактору влажности почвы.

Задание 2. По данным за несколько лет по избранной культуре при одинаковых мелиоративных и агротехнических условиях установить корреляционную и регрессионную зависимость одной КВ или КЭО с дефицитом влажности воздуха в критический период развития культуры. По дефициту влажности воздуха использовать данные местной агрометеостанции.

Задание 3. Найти корреляционную связь КЭО, м³/т, $У$ с количеством норм удобрений x_1, с предполивной влажностью, % НВ x_2 по нижеприведенным данным УкрНИИОЗа (Лысогоров, 1983). За норму удобрений условно принято $N_{75}P_{45}K_{10}$. Культура — кукуруза Таврия, убираемая на зерно.

$У$	2106	1186	734	624	1907	1037	570	538
x_1	0	1	2	3	0	1	2	3
x_2	70	70	70	70	80	80	80	80

МЕТОДЫ НАЗНАЧЕНИЯ ПОЛИВОВ И ПОЛИВНЫХ НОРМ

Назначение поливов и поливной нормы по показателям влажности почвы. Назначение поливов по влажности почвы считают стандартным методом их диагностики. Предварительными полевыми опытами устанавливают оптимальные уровни предполивной влажности в активном слое почвы по важнейшим фазам вегетации растений, а затем, систематически контролируя влажность, назначают очередной полив, как только запас влаги, уменьшаясь, приблизится к допустимому его уровню.

Влажность определяют термостатно-весовым методом в пробах, взятых специальным буром во всем активном слое почвы, через каждые 10 см.

Взятие почвенных проб и их обработка — трудоемкие и длительные процессы. В производственных условиях можно ограничиться взятием почвенных проб со средней части активного слоя, с глубины 30—40 см.

Применяют также методы ускоренного определения влажности почвы прямо в поле с помощью приборов «Днестр», «НИВ» и других, описание и принцип действия которых изложены выше.

Для определения поливной нормы необходимы сведения о глубине активного слоя (h), объемной массе почвы (α), наименьшей влагоемкости (НВ) и уровне предполивной влажности почвы в данную фазу вегетации (ВТ). Поливную норму рассчитывают по формуле:

$$H_п = 100h\alpha(НВ - ВТ),$$

где $H_п$ — поливная норма, м³/га. Величину h выражают в м, НВ и ВТ — в процентах массы сухой почвы.

К рассчитанной по указанной формуле поливной норме добавляют еще 10—15%, в острозасушливых условиях — до 20% для покрытия потерь влаги во время полива.

Задание 1. По заданным величинам НВ, h и α рассчитать поливную норму при уровнях предполивной влажности почвы 60, 70 и 80% НВ.

Задание 2. При заданном уровне предполивной влажности почвы, НВ и α рассчитать поливную норму для активного слоя 50, 75 и 100 см.

Назначение поливов по концентрации клеточного сока листьев. Концентрация, или процентное содержание сухих веществ сока листьев, находится в тесной связи с влажностью почвы: чем меньше влаги в почве, тем меньше воды в листьях и выше концентрация клеточного сока. Эту связь можно использовать для определения времени полива. Для каждой культуры в условиях региона устанавливают критические показатели концентрации клеточного сока, при которых следует проводить полив. Например, для поддержания влажности почвы на уровне не ниже 80% НВ томаты на юге УССР следует поливать при концентрации не выше 6%. Поливную норму при этом устанавливают из расчета, соответствующего порогу предполивной влажности 80% НВ в активном слое.

На концентрацию клеточного сока оказывают влияние и метеорологические условия, однако они менее значительны, чем влияние влажности почвы. Влияние суточных изменений метеорологических условий можно уменьшить, приурочивая определение содержания сухих веществ в клеточном соке к нужному времени, например к 10—11 ч.

Для анализа берут листья, занимающие определенное место на растениях, в разных местах поля. Для большей части культур нужно брать наиболее молодой, вполне сформировавшийся лист. Для кукурузы рекомендуют брать 5-й или 10-й лист, но для каж-

дого листа установлены свои критические показатели, соответствующие определенному запасу почвенной влаги. Особенно ясна связь концентрации клеточного сока и запаса почвенной влаги у овощных культур.

Порядок определения концентрации клеточного сока листьев следующий: рефрактометр предварительно устанавливают на нуль, нанося на призму дистиллированную воду. Сорванные листья с 8—10 исследуемых растений заворачивают в марлю и с помощью ручного пресса выжимают из них сок. Затем пипеткой по каплям наносят сок на нижнюю измерительную призму рефрактометра так, чтобы вся она была покрыта соком.

Опустив откидную призму, обращают прибор к свету и через окуляр зрительной трубы устанавливают показания рефрактометра. Для этого сначала кольцо переключения поворачивают вправо до отказа, затем, поворачивая оправу окуляра, наводят шкалу на резкость и определяют концентрацию клеточного сока в процентах по верхней границе видимой шкалы, то есть по границе светотени на шкале рефрактометра.

Рефрактометр настроен для работы при температуре 20°С. При более низкой температуре получают завышенные показатели, а при более высокой — заниженные. Поэтому следует вносить поправку на температуру, при которой ведут определение (табл. 11).

11. Поправки к содержанию сухих веществ, найденных при температурах 21—28°С и 19—12°С

Температура, при которой поправку вычитают	Поправки к % сухих веществ, %					Температура, при которой поправку прибавляют
	5	10	15	20	25	
12	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	28
13	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	27
14	0,40	0,42	0,42	0,43	0,44	26
15	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	25
16	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	24
17	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	23
18	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	22
19	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	21

Определение повторяют 4 раза во вновь сорванных листьях. После каждого определения призмы очищают мягкой чистой тряпочкой, смоченной водой.

Иногда сок листьев отдельных культур — томатов, картофеля и других бывает мутным, что мешает точному определению концентрации клеточного сока. В таком случае пробы листьев в закрытых пробками пробирках подогревают на спиртовке или кипящей водяной бане в течение 1—3 мин, чтобы осадить белки.

Кроме того, сок можно взять не из листьев, а из черешков или жилок, где он более чистый и прозрачный. Однако следует учитывать, что показатели процентного содержания сухих веществ в листьях и черешках различны.

Задание. В период интенсивного расхода воды посевом избранной культуры выполнить серию параллельных определений влажности почвы в активном слое и концентрации клеточного сока листьев. Листья брать из растений, находящихся невдалеке от мест, где намечено взять пробы почвы на влажность. Первое определение сделать через день после полива, последующие — через каждые три дня и закончить их перед очередным поливом. Найти корреляционную связь между показаниями влажности почвы и концентрацией клеточного сока и записать уравнение регрессии, приняв условно влажность почвы, как результирующий фактор. Рассчитать по уравнению регрессии и найти графическим путем, какие показатели концентрации клеточного сока соответствуют влажности почвы в активном слое 60, 70 и 80% НВ.

Материалы и оборудование: листья растений, ручной пресс для выжимания сока из листьев, рефрактометр, пипетка, марля.

Определение времени полива по сосущей силе листьев. Сосущая сила клеток (S) — это разность между осмотическим (P) и тургорным (T) давлениями:

$$S = P - T.$$

Эта взаимосвязь осмотического и тургорного давлений клетки в полной мере относится и к клеточной ткани. Сосущая сила листьев, как и концентрация клеточного сока, зависит от количества воды в растениях, а следовательно, и от запаса почвенной влаги. При полном насыщении клетки или клеточной ткани водой тургор равен осмотическому давлению, а сосущая сила — нулю. Недостаток влаги в почве обычно становится одной из главных причин слабого насыщения водой клеточной ткани листьев, усиления их сосущей силы. Поэтому по сосущей силе можно приближенно судить, достаточно ли растения обеспечены почвенной влагой, не наступило ли время полива.

Критические показатели сосущей силы могут изменяться в фазы вегетации культуры, тем более что они различны у разных культурных растений. Показатели эти могут изменяться в зависимости от природных и агротехнических условий, в связи с чем необходима широкая проверка и дальнейшие исследования контроля влагообеспеченности сельскохозяйственных культур по сосущей силе их листьев.

Сосущую силу можно довольно быстро определить методом струй. Сущность его заключается в следующем: если кусочки листьев погрузить в раствор сахарозы с концентрацией, соответствующей его сосущей силе, то концентрация раствора не изменится. Из более слабого раствора листья будут поглощать воду и концентрация его увеличится. Раствор с более высокой концентрацией и осмотическим давлением, чем в листьях, будет отнимать воду из листьев, и его осмотическое давление понизится.

Растворы различной концентрации, в которых выдерживались листья, окрашиваются метиленовой синью и небольшой струйкой с помощью изогнутой пипетки вводятся каждый в соответствующий исходный раствор, где листьев не было. Струйка будет подниматься, если раствор стал более концентрированным, опускаться в более слабом растворе и равномерно рассеиваться в растворе, концентрация которого не изменилась.

Порядок выполнения задания. В передний ряд штатива устанавливают короткие пробирки высотой 4—5 см, во второй — высотой 6—7 см, в третий — 12—15 см. В последних — запас растворов с концентрациями 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,55 и 0,6 М. Для получения молярного раствора сахарозы берут ее в количестве 342 г на 1 л дистиллированной воды (можно брать сахар-рафинад). Пробирки среднего ряда заполняют соответствующим раствором на $^2/_3$, а в пробирки первого ряда вносят по 8 капель. После заполнения пробирки сразу же закрывают пробками, чтобы концентрация растворов не изменилась.

Одновременно с подготовкой растворов сахарозы в отдельную пробирку помещают сухую метиленовую синь. Пробирку закрывают пробочкой со вставленной в нее тонкой проволочкой так, чтобы часть проволоки находилась в метиленовой сини.

Короткие пробирки с растворами переносят в закрывающийся полевой ящик с ячейками, номера которых соответствуют концентрациям растворов. В поле из листьев растений между крупными жилками острым пробочным сверлом диаметром 0,5—0,7 мм высекают по 7—8 дисков, подставляя под лист корковую или резиновую пробку, и последовательно заталкивают в каждую пробирку с помощью тонкой оплавленной стеклянной палочки. Пробирки открывают только на время, необходимое для помещения в них дисков.

Листья следует брать одинакового возраста — молодые вполне сформировавшиеся на типичных для поля растениях. Необходимо следить, чтобы кружочки листьев были погружены в раствор. Пробирки периодически встряхивают, а через 30—35 мин после взятия проб приступают к анализам в лабораторных условиях.

Растворы в малых пробирках с дисками листьев окрашивают метиленовой синью. Для этого достаточно стряхнуть в пробирку самое малое количество сини, пристающее к проволоке.

Пипеткой, носик которой оттянут и изогнут под прямым углом, берут небольшое количество окрашенного раствора, погружают пипетку на 1—1,5 см глубже поверхности соответствующего по концентрации исходного раствора в средней пробирке и вводят в него струйку окрашенного. Фиксируют результаты знаком «минус», если струйка опускается книзу; знаком «плюс» при поднятии и знаком «О», если она находится в нейтральном положе-

нии. Осмотический потенциал концентрации, отмечаемый знаком «О», соответствует сосущей силе листьев. Следует учесть, что одной пипеткой дважды брать и переносить окрашенный раствор нельзя. Каждый раз нужно пользоваться чистой сухой пипеткой.

Осмотический потенциал, равный сосущей силе, определяют по формуле Клапейрона—Менделеева:

$$S = \frac{RTi}{V},$$

где S — сосущая сила, МПа; R — универсальная постоянная, равная $8{,}3 \cdot 10^3$; T — абсолютная температура по Кельвину, равная $273 + t°$ С; i — изотонический коэффициент сахарозы, $i = 1$; V — объем воды, в котором нужно растворить молярное количество соли, чтобы получить найденную в опыте концентрацию (делят единицу на молярность, найденную в опыте).

Пример расчета: найденная концентрация раствора — 0,5М;

$$V = 1 : 0{,}5 = 2;\ T = 273 + 27° \text{ С} = 300° \text{ С};$$

$$S = \frac{8300 \cdot 300 \cdot 1}{2} = 1\,245\,000 \text{ Па; или } 1{,}24 \text{ МПа},$$

что составляет около 12,4 атм.

Задание для полевых условий. Выполнить параллельные определения влажности почвы и сосущей силы листьев избранного растения через день после полива и за 3 дня до нового полива. Результаты обработать, как и данные по концентрации клеточного сока.

Задание для зимних условий. Подготовить комнатные растения в вазонах или сосудах — примулы, пеларгонии, герань и др. Заблаговременно, перед проведением занятий, часть сосудов оставить без поливов до начала подвядания листьев. При проведении занятий определить сосущую силу листьев и влажность почвы при нормальном поливе и без полива.

Материалы и оборудование: молярный раствор сахарозы, дистиллированная вода, метиленовая синь (сухая), пробирки высотой 4—5, 6—7 и 12—15 см, штатив для пробирок, полевой ящик с ячейками для коротких пробирок.

Назначение сроков полива по метеорологическим данным. Суммарное испарение воды полем, занятым культурой, за полный вегетационный период или за межполивной период может быть установлено различными методами по метеорологическим данным путем математического расчета. Ниже приведены методы, получившие наибольшее распространение.

Биоклиматический метод диагностики полива. По данным профессора А. М. Алпатьева, потребление воды растениями при оптимальной влагообеспеченности находится в тесной связи с показателями среднесуточных дефицитов влажности воздуха. Суммарное испарение (эвапотранспирацию) за отдельные отрезки вегетационного периода можно найти приближенно по формуле:

$$E = K\Sigma d,$$

где K — коэффициент биологической кривой на расчетный период; Σd — сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за тот же период.

Коэффициент биологической кривой K изменяется по периодам вегетации — межфазным периодам. Его находят эксперимен-

тально для каждой декады после всходов сельскохозяйственной культуры из приведенной выше формулы.

Как показал С. М. Алпатьев, счет времени лучше вести по накоплению после всходов определенной суммы среднесуточных температур, так как в зависимости от температурных условий рост и развитие растений замедляется или ускоряется.

Биологические кривые у разных культур различны, изменяются они и по зонам земледелия.

Для определения суммарного расхода воды посевом сельскохозяйственной культуры за данный период, то есть за соответствующее время накопления определенной суммы среднесуточных температур или в соответствующую декаду, необходимо приведенный в таблице коэффициент умножить на сумму среднесуточных дефицитов влажности воздуха, сведения о которых можно получить на ближайшей метеорологической станции.

Например, если сумма дефицитов влажности воздуха за пятую декаду от всходов кукурузы составила 100 мб, то расход воды за это время равен $0{,}41 \cdot 100 = 41$ мм, или 410 м³/га; если дефицит влажности воздуха выражается в Н или Па, то следует учитывать соотношение: 1 мб = 100 Н/м² = 100 Па. Поэтому, перемножив биологический коэффициент на дефицит влажности воздуха, выраженный в Ньютонах, получим $0{,}41 \cdot 10\,000 = 4100$. Разделив это число на 100, получим мм, а при делении на 10 — м³/га.

Если в период накопления суммы температур с 1000°С до 1200°С со времени отрастания озимой пшеницы сумма дефицитов влажности воздуха оказалась равной 40 мб, или 4000 Н/м², то суммарный расход почвенной влаги за это время составит $0{,}49 \cdot 40 = 19{,}6$ мм, или 196 м³/га. Ту же величину получим, если $(0{,}49 \cdot 4000) : 10 = 196$ м³/га.

Зная запас влаги, превышающий принятый уровень предполивной влажности почвы, можно контролировать ее расход и определять дату следующего полива. При этом учитывают поступление влаги в почву с осадками.

Задание 1. В условиях, близких к степной зоне Украины, определить время первого полива кукурузы по данным: массовые всходы получены 10 мая, допустимая норма расхода почвенной влаги — 840 м³/га. Показатели биоклиматических коэффициентов использовать табличные, а сведения о дефицитах влажности воздуха получить на ближайшей метеорологической станции.

Задание 2. Определить даты поливов озимой пшеницы по дефициту влажности воздуха при условиях: вегетация возобновилась 20 марта; запас влаги в почве, превышающий предполивную влажность, — 600 м³/га; используют биоклиматические коэффициенты, приведенные в таблице; расчеты проводят по метеорологическим данным ближайшей станции.

Задание 3. Установить биоклиматические коэффициенты избранной культуры для своего региона, используя данные ближайшей метеорологической станции и подекадные определения влажности в активном слое почвы на посевах исследуемого культурного растения.

Диагностика полива по температуре воздуха. И. А. Шаров для условий Средней Азии, а затем Г. К. Льгов для условий Северного Кавказа установили связь суммарного водопотребления культуры с температурой воздуха.

По И. А. Шарову, суммарное испарение воды почвой можно рассчитать по формуле:

$$M_c = e\Sigma t + 4b,$$

где M_c — суммарное испарение (суммарный расход) воды, м³/га; e — коэффициент расхода воды полем, приходящегося на 1° С (приближенно $e=2$ м³ на 1° С); Σt — сумма температур за период вегетации сельскохозяйственной культуры; b — число дней вегетационного периода.

По этой же формуле можно рассчитать расход влаги за часть вегетационного периода, в том числе в межполивной период, что является основанием для установления времени очередного полива.

Обобщив многолетние исследования, Г. К. Льгов предложил метод определения суммарного испарения по биофизическому коэффициенту:

$$E = K\Sigma t,$$

где E — суммарное испарение; K — биофизический коэффициент; Σt — сумма среднесуточных температур воздуха за период вегетации культуры, ° С.

Для большинства сельскохозяйственных культур среднее значение биофизического коэффициента составляет 1,88 м³ на 1°С, для люцерны — 2,3. Биофизический коэффициент зависит также от температуры, поэтому в мае его значения могут быть ниже, чем в августе, как это установлено на примере кукурузы:

1—16 мая	0,97	1—16 июля	2,20
16 мая — 1 июня	1,68	16 июля — 1 августа	2,36
1—16 июня	1,73	1—16 августа	2,44
16 июня — 1 июля	1,95	16 августа — 1 сентября	1,22

На биофизическом коэффициенте сказываются и биологические особенности культуры — мощность ее растений, период развития. Об этом свидетельствуют шестилетние данные по озимой пшенице:

1—16 апреля	2,1	16—31 мая	1,9
16 апреля — 4 мая	2,6	1—16 июня	1,6
4—16 мая	2,9	16—30 июня	0,5

Следует также учитывать, что эти связи действительны при уровнях влажности почвы не ниже 65—70% НВ.

Межполивной период в днях для соответствующей культуры определяют по формуле:

$$T = \frac{m + m_0 a}{Kt},$$

где T — время, сут; m — запас воды в почве сверх ее предполивной влажности, м³/га; m_0 — эффективные осадки (более 5 мм), м³/га; a — коэффициент использования осадков, $a=0{,}6-0{,}7$; K — биофизический коэффициент для

данного периода вегетации культуры — расход воды на 1° С, м³; t — среднесуточная температура по прогнозу или по климатической норме, ° С.

Пример. Установить время полива кукурузы при условиях: полив проведен 16 июня, запас влаги соответствует 100% НВ, в том числе сверх предполивной влажности почвы в 70% НВ содержится в слое 0,7 м 647 м³/га (m); в межполивной период предвидится количество полезных осадков 10 мм или 100 м³/га (m_o); a=0,6; по прогнозу t=21° С; K=1,95.

$$T = \frac{647 + (100 \cdot 0{,}6)}{1{,}95 \cdot 21} = 17{,}2.$$

Полив нужно провести через 17 дней — 2 июля.

Задание 1. Определить дату второго вегетационного полива озимой пшеницы, если первый нормой 500 м³/га проведен 15 мая; количество полезных осадков ожидается 20 мм; a=0,7; K=1,9; по прогнозу t=18° С.

Задание 2. Найти биофизический коэффициент для избранной культуры в местных условиях по ежедекадным определениям влажности почвы, среднесуточным температурам и их суммам с учетом осадков за соответствующие декады по данным ближайшей метеорологической станции.

Задание 3. Прогнозировать даты поливов той же культуры по полученным показателям биофизических коэффициентов и климатическим данным местной метеорологической станции.

Диагностика поливов по температуре и влажности воздуха. В условиях степной части Украины Украинский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия прогнозирует суммарное испарение по двум показателям: температуре и относительной влажности воздуха.

Суммарное испарение до полного затенения поверхности почвы растениями и в период их созревания — с начала массового пожелтения листьев — рассчитывают по формуле:

$$E = \Sigma t \left(0{,}1 t_c - \frac{a}{100}\right),$$

где E — расход почвенной влаги, м³/га; Σt — сумма среднесуточных температур воздуха в расчетный период, ° С; t_c — среднесуточная температура в расчетный период, ° С; a — относительная влажность воздуха за расчетный период, %.

В период наиболее активного водопотребления со времени затенения поверхности почвы растениями и до начала их созревания пользуются формулой:

$$E = \Sigma t \left[0{,}1 t_c + \left(1 - \frac{a}{100}\right)\right],$$

где обозначения те же, что и в первой формуле.

Пример. Рассчитать межполивной период сахарной свеклы. Полив нормой 700 м³/га проведен 20 июля; среднесуточная температура последней декады июля по прогнозу 24,5° С; относительная влажность воздуха 45%.

Решение. Сначала определяем среднесуточный расход воды, приравняв $\Sigma t = t_c$. Тогда $E_{сут} = 24{,}5\left[0{,}1 \cdot 24{,}5 + \left(1 - \frac{45}{100}\right)\right] = 73{,}5$ м³/га. Зная выданную ранее поливную норму (700 м³/га) и среднесуточный расход воды полем (73,5 м³/га), можем рассчитать, через сколько дней будет израсходована поливная норма, что и определит продолжительность межполивного периода (n) : n=700/73,5=9,5 дня.

Следовательно, на девятый день, 29 июля, нужно приступить к очередному поливу.

Задание. Основываясь на местных климатических данных, рассчитать даты поливов избранной культуры на весь вегетационный период, пользуясь методом УкрНИИОЗа.

Выбор способа полива. Способ полива выбирают с учетом биологических особенностей культуры, механического состава почвы, уклона поверхности поля, глубины залегания и минерализации грунтовых вод и других условий.

Культуры сплошного посева поливают, как правило, по полосам или дождеванием; пропашные — по бороздам или дождеванием; сады и виноградники — по бороздам, дождеванием, капельным способом, рис — затоплением по чекам, спланированным под горизонтальную поверхность. На незасоленных почвах с залеганием уровня пресных грунтовых вод менее двух метров от поверхности применяют дождевание. При средней и высокой водопроницаемости и рельефе с уклонами менее 0,004 применяют агрегат ДДА-100МА; при различной водопроницаемости и сложном рельефе с уклонами 0...0,05 — широкозахватные машины «Фрегат», «Днепр», а с уклонами до 0,002 — «Волжанку», при любых уклонах — дождевальные трубопроводы с карусельными дождевальными аппаратами.

При глубине залегания уровня пресных грунтовых вод более 2,5 м на незасоленных почвах, кроме дождевания, можно применять поливы по бороздам (уклоны выше 0,002), поливы по полосам (уклоны не менее 0,006). На уклонах свыше 0,008 используют жесткие поливные трубопроводы типа РТШ-180.

На почвах маломощных, подстилаемых сильно водопроницаемыми грунтами — галечниками, песком (на глубине до 1 м) применяют различные виды дождевания. На почвах с сильно водопроницаемыми грунтами, расположенными глубже 1 м, могут быть применены как дождевание, так и поливы по бороздам и полосам. На сильно- и среднепросадочных почвах применяют разные виды дождевания с забором воды от закрытой оросительной сети.

Задание 1. Используя табличные данные профессора Г. К. Льгова (учебное пособие «Орошаемое земледелие», — М.: Колос, 1979 г., с 51...54), выбрать способ полива озимой пшеницы при следующих данных:

а) почва не засолена, уровень пресных грунтовых вод находится на глубине менее двух метров, рельеф сложный, уклон 0...0,05;

б) почва не засолена, уровень пресных грунтовых вода залегает глубже 2,5 м, уклон больше 0,002, хороший микрорельеф, забор воды от гидрантов закрытой сети.

Задание 2. Выбрать способ полива кукурузы при следующих условиях: почва средней водопроницаемости с хорошим микрорельефом, уклоном выше 0,002, глубина залегания уровня грунтовых вод более 2,5 м.

Задание 3. Выбрать способ полива пастбища при условиях: почва маломощная, сильно водопроницаемая, подстилаемая галечником или песком на глубине до 1 м, участок ровный, с уклоном менее 0,02, забор воды от закрытой оросительной сети.

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

Орошение коренным образом изменяет условия ведения сельскохозяйственного производства. Перестраивается вся система земледелия — комплекс взаимосвязанных агротехнических, мелиоративных и организационно-хозяйственных мероприятий, направленных на повышение плодородия почвы, урожайности сельскохозяйственных культур и рациональное использование оросительной воды.

Составные части системы земледелия — севообороты, обработку почвы, систему удобрений, борьбу с сорняками, уход за растениями и др. строят с учетом изменений, вызванных орошением. Переносить механически на орошаемые почвы севообороты и агротехнику, сложившиеся и рекомендуемые в богарных условиях, недопустимо.

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ОРОШАЕМЫХ СЕВООБОРОТОВ

Севооборот — рациональное чередование культур во времени и на территории хозяйства, которое осуществляется в научно обоснованном порядке.

В зависимости от вида основной производимой продукции севообороты делят на три типа: полевые, кормовые и специальные (ГОСТ 16265—70).

К полевым относят севообороты, в задачу которых входит выращивание зерновых и технических культур, не требующих специальных условий выращивания. К таким техническим культурам относят сахарную свеклу, подсолнечник, клещевину и др. Часть полевого севооборота в условиях орошения используют для выращивания кормовых культур, главным образом многолетних трав, дающих корма и улучшающих почву. Однако проблема кормопроизводства полностью здесь не решается.

Кормовые севообороты вводят для производства кормов — многолетних трав, используемых как сенокосы и пастбища, силосных культур, корнеклубнеплодов, трав на зеленый корм. Кормовым культурам отводится 70...100% севооборотной площади.

В специальных севооборотах выращивают одну или несколько ценных культур, требующих плодородных почв или специальных условий выращивания, например хлопчатник, рис, овощные и другие культуры (Воробьев, 1979).

Для условий орошения важно определить допустимую минимальную площадь севооборотного поля. Ее устанавливают с уче-

том способа полива и поливной техники. Размеры поля и его конфигурация должны способствовать нормальной работе многоопорных широкозахватных дождевальных машин «Днепр», «Волжанка», «Фрегат», «Кубань» и др. Учитывают также общие размеры поливной площади в хозяйстве, водообеспеченность и состав культуры. Размеры поля должны быть не менее 40—60 га (Льгов, 1979).

Для обоснования севооборота необходимо прежде всего определить состав культур и структуру посевных площадей. Она выражается процентом площади, отводимой под каждую культуру, включая промежуточные.

На орошаемых почвах выращивают наиболее ценные в народнохозяйственном отношении культуры, хорошо отзывающиеся на орошение. При этом учитывают природные и экономические особенности региона, близость города, консервных заводов и др.

Состав культур. Наиболее распространенной культурой поливных севооборотов во всех регионах являются бобовые многолетние травы: люцерна и клевер. Выращивают их в чистом виде и в смеси с многолетними злаковыми растениями — райграсом, кострецом, ежой сборной, тимофеевкой и др.

Д. Н. Прянишников рассматривал бобовые многолетние травы как дешевый источник биологического азота. Бобовые многолетние травы, отличающиеся мощной корневой системой, существенно пополняют природные запасы органического вещества в почве, которые в условиях интенсивного земледелия могут истощаться.

Под влиянием корневой системы бобовых многолетних трав и их смесей со злаковыми улучшается физическое состояние почвы, уменьшается опасность засоления. В то же время бобовые многолетние травы — самый богатый источник белка, необходимого для придания питательности и другим кормам.

Люцерна и другие многолетние бобовые травы отличаются высокой продуктивностью — урожай зеленой массы достигает 700—800 ц/га, сена 150—200 ц/га. В поливных севооборотах многолетние травы занимают 20—30% площади.

Если позволяют природные условия, на орошаемых почвах стремятся выращивать технические культуры. Технические культуры дают необходимое сырье для промышленности и высокодоходны для хозяйства; внедрение их в севооборот ускоряет окупаемость затрат на строительство оросительных систем.

Ведущая техническая культура в республиках Средней Азии, на юге Казахстана и в Закавказье — хлопчатник. В ряде случаев эта культура занимает 60—70% и более севооборотной площади. Внедряют также и другие прядильные культуры.

Довольно распространена как техническая культура орошаемых почв сахарная свекла. Она имеет важное народнохозяйст-

венное значение. Под фабричную свеклу отводят 10—30% севооборотной площади в зависимости от близости сахарного завода, экономических и других условий. Сахарную свеклу частично используют для кормовых целей. В качестве технических культур на части орошаемой площади выращивают масличные растения.

Орошаемые почвы широко используют для решения зерновой проблемы. Ведущие культуры продовольственного назначения — озимая и яровая пшеница. Основные регионы озимой пшеницы — Северный Кавказ, степная зона Украины и Молдавии; яровой — Поволжье. Под эти культуры отводят до 20—30% севооборотной площади.

Вся площадь посева риса размещается на орошаемых почвах, но для этой культуры вводят специальные рисовые севообороты, в которых рис занимает 50—60% площади и более.

Все большие площади отводят под кукурузу, урожайность зерна которой достигает 80—100 ц/га и более. Зерно кукурузы используют преимущественно для кормовых целей и частично для продовольственных. Под зерновую кукурузу отводят 5—20% севооборотной площади, в зависимости от специализации хозяйства и природных условий.

Определенное место в поливных севооборотах отводят зерновым бобовым культурам: сое, гороху.

Такие водотребовательные культуры, как картофель и овощи, выращивают в засушливых условиях не только на орошаемых почвах, но и в районах с лучшей естественной влагообеспеченностью, например в Подмосковье.

В районах вокруг крупных консервных заводов некоторые хозяйства специализируются на выращивании овощных культур и вводят специальные овощные севообороты.

Орошаемые почвы широко используют для создания прочной кормовой базы для животноводства. Многолетние травы, соя, горох, кукуруза составляют основу этой базы. Однако необходимое разнообразие кормов и обеспечение конвейерного их поступления в течение года достигаются при выращивании таких сочных культур, как кормовая свекла, бобовые и злаковые травы, богатые витаминами и белком, в поукосных и пожнивных посевах.

Поукосные и пожнивные посевы позволяют получать по два и три урожая в год на одном поле. В районах хлопкосеяния промежуточную культуру можно высевать осенью в междурядья растущего хлопчатника. Высококачественную массу урожайностью 200—300 ц/га убирают весной, до посева хлопчатника.

Наличие промежуточных культур и полное исключение чистых паров — отличительные особенности поливного севооборота.

Структура посевных площадей. Структуру посевных площадей можно считать установленной после того, как определен процент севооборотной площади, отводимой под каждую культуру основ-

ного посева, обычно дающего первый урожай, и под промежуточные культуры. Структуру посева устанавливают в соответствии с принятым в хозяйстве организационно-хозяйственным планом. Основой его является задание государства по продаже сельскохозяйственных продуктов, потребность в них хозяйства, соответствие его специализации.

При установлении состава культур и структуры посевных площадей поливного севооборота следует учитывать также водообеспеченность хозяйства и необходимость создания условий для равномерного использования оросительной воды. Например, напряженный поливной период озимой пшеницы приходится на май, а кукурузы — на июль — в разное время, что способствует равномерности расхода воды для их поливов. Повышенной водотребовательностью отличаются капуста и другие овощные культуры.

В крупных хозяйствах может быть несколько севооборотов, отвечающих специализации отдельных бригад в колхозах или отделений в совхозах. Состав культур и структура посевных площадей в овощеводческих и полеводческих севооборотах разная.

Путь к установлению удельного веса каждой культуры в структуре посевной площади севооборота следующий — определение потребного валового сбора продукции, установление планируемой урожайности, расчет необходимой площади посева и процентного отношения ее к общей площади севооборота. Например, если площадь севооборота 600 га, планируемый сбор зерна кукурузы 8000 ц, планируемая урожайность 80 ц/га, то необходимая площадь посева будет равна: 8000:80=100 га. Это составляет 16,7% севооборотной площади.

Построение севооборота. Задача севооборота — создать, по возможности, наилучшие условия для возделывания каждой культуры, в первую очередь для культур, имеющих наиболее важное народнохозяйственное значение.

Задача эта успешно решается при правильном использовании предшественников и определенном плане чередования посева культур, оказывающих различное биологическое воздействие на почву.

Выбор предшественников ограничивается составом культур, установленным для данного севооборота. Порядок чередования их должен быть таким, чтобы ведущие культуры размещались по лучшим предшественникам, имеющимся в составе севооборота.

Сельскохозяйственные культуры оказывают различное воздействие на почву — изменяют химические условия как фактор питания растений, физическое состояние и ее водный режим, биологические процессы как результат взаимодействия возделываемых растений с другими организмами.

В условиях орошения оценка предшественников изменяется, так как возникает возможность устранять иссушающее действие на почву предшествующей культуры поливом, а повышенный вы-

нос из почвы питательных веществ с урожаем — путем внесения удобрений. Даже бессменный посев в течение нескольких лет для отдельных культур на орошаемых почвах становится допустимым. Это открывает возможности для углубления специализации севооборотов путем насыщения их ведущими культурами региона.

После установления состава культур и структуры посевных площадей необходимо решить вопрос о количестве полей севооборота. При этом учитывают, что площадь поля должна соответствовать площади, отводимой для большинства культур.

Размещать в одном поле несколько культур нежелательно, так как это затруднит организацию посева, уход за культурами и их уборку. Однако размещать в одном поле несколько культур все же приходится, если под их посев отводят небольшие площади. Такие поля называют сборными. В сборных полях совмещают посевы однотипных культур, например пропашных.

Так, если под зернокормовой севооборот отведена площадь 400 га, в том числе под многолетние травы 160 га, под озимую пшеницу 80 га, под ячмень 80 га, кукурузу на зерно 40 га, свеклу кормовую 30 га, картофель 10 га и многокомпонентные кормовые смеси 90 га, то оказывается, что для большинства культур отводится площадь 80 га или кратная 80. Учитываем также, что 90 га многокомпонентных кормовых смесей можно отнести к культуре промежуточной, дающей второй урожай после уборки основной культуры. После деления севооборотной площади на площадь одного поля устанавливаем, что количество полей будет равно 400:80=5. Определен пятипольный севооборот, в котором одно поле будет сборным. Его займут посевы кукурузы на площади 40 га, кормовой свеклы на площади 30 га и картофеля на площади 10 га.

При установлении схемы севооборота, то есть порядка чередования культур, следует исходить из тех местных данных, в которых дают оценку предшественникам под каждую культуру в условиях орошаемого земледелия.

Лучший предшественник для озимой пшеницы — люцерна. Озимую пшеницу убирают рано, что благоприятствует получению, после ее уборки, второго урожая многокомпонентной кормовой смеси бобовых и злаковых трав. По обороту пласта люцерны создаются хорошие условия для культур сборного поля. При этом после картофеля на площади 10 га вполне возможно выращивать многокомпонентную кормовую смесь.

В условиях Ингулецкой оросительной системы, как и в других регионах, люцерну следует размещать на полях, достаточно очищенных от сорняков. Хорошо обработанные пропашные культуры удовлетворяют этим требованиям. Посев люцерны под покров ячменя, в свою очередь, гарантирует подавление сорняков в начальный период развития этой культуры (табл. 12).

12. Схема зернокормового севооборота в условиях Ингулецкой оросительной системы

Номер поля	Культура первого урожая		Культура второго урожая	
	название	площадь, га	название	площадь, га
1	Ячмень с подсевом люцерны	80	—	
2	Люцерна	80	—	
3	Люцерна		Многокомпонентная смесь	
4	Озимая пшеница	80		80
5	Кукуруза на зерно	40	—	
	Свекла кормовая	30	—	
	Картофель	10	Многокомпонентная смесь	10
	Всего:	400		90

Наряду с региональными имеются оценки предшественников и общего значения. Лучшими предшественниками во всех зонах орошаемого земледелия для большей части культур являются люцерна и другие бобовые многокомпонентные травы и их смеси со злаковыми. Наиболее высокие урожаи по пласту люцерны дают хлопчатник, рис, озимая пшеница, томаты, капуста; по обороту пласта — сахарная и кормовая свекла, кукуруза и др. К числу лучших предшественников относят также зерновые бобовые: для озимых — горох, для культур весеннего сева — сою.

Не допускают посев подсолнечника на том же поле ранее чем через 8 лет; выращивание пасленовых культур после пасленовых — ранее чем через 3—4 года.

Примеры севооборотов. В хлопкосеющих районах преобладает люцернохлопчатниковый севооборот. В них под люцерну отводят 2—3 поля, под хлопчатник 3—5 полей. В целях интенсификации использования орошаемых почв рекомендуют в первый год люцерну выращивать совместно с кукурузой, джугарой, суданской травой или под покровом ячменя.

В тех же целях севооборот может быть расчленен на два звена, например: 2:4 и 1:3. В первом звене люцерну возделывают совместно с другими кормовыми и зерновыми культурами, а первое поле второго звена занимает посев кукурузы на зерно с последующим повторным посевом ее на зеленую массу или пожнивным посевом рапса для осеннего использования на корм. На этом поле может быть выращено три урожая: озимая рожь с викой или озимым рапсом, кукуруза на силос и вика или рапс.

Промежуточную культуру на сидерацию или кормовые цели можно выращивать между посевами хлопчатника в осенне-весенний период. В севооборотах с продолжительной ротацией и длительным бессменным посевом хлопчатника рекомендуют применять сидерацию под 4—5-й посев хлопчатника. В совхозе «Пахтаарал»,

отличающемся высокой культурой земледелия, применяют севооборот: 1) люцерна с кукурузой на силос и райграсом многоукосным, а также с суданской травой; 2) люцерна; 3) — 5) хлопчатник; 6) кукуруза на зерно и силос с внесением под эту культуру 30—40 т/га навоза; 7) — 8) хлопчатник.

Для сахарной свеклы на орошаемых почвах отводят зерносвекловичные севообороты. В них свекла занимает 2—3 поля. Между посевами свеклы желателен перерыв в 2—3 года, на неблагополучных в мелиоративном отношении почвах, а также при наличии в почве нематод или возбудителей болезней свеклы — в 4—5 лет.

Один из рекомендуемых севооборотов для условий Киргизии: 1) совмещенный посев люцерны с однолетней кормовой культурой; 2) люцерна второго года жизни; 3) озимая пшеница; 4) сахарная свекла; 5) кукуруза на силос; 6) сахарная свекла; 7) озимая пшеница; 8) сахарная свекла.

На орошаемых почвах Украинской ССР после свеклы озимую пшеницу обычно не сеют, так как после уборки свеклы остается мало времени для подготовки почвы к посеву. Один из рекомендуемых севооборотов в этой зоне: 1) — 2) люцерна; 3) озимая пшеница + пожнивный посев кукурузы на зеленый корм; 4) сахарная свекла; 5) картофель, кукуруза на зерно; 6) кукуруза на силос; 7) сахарная свекла; 8) ячмень или просо с подсевом люцерны.

На неблагополучных полях увеличить перерыв между посевами сахарной свеклы можно в севообороте с коротким периодом ротации: 1) ячмень или просо с подсевом люцерны; 2) люцерна; 3) люцерна; 4) озимая пшеница с пожнивным посевом; 5) сахарная свекла.

В рисосеющих хозяйствах преобладают семи- и восьмипольные севообороты. Бессменный посев риса после вспашки люцерны допускается в течение трех лет, по занятому пару — до двух лет. В восьмипольном севообороте под рис отводят пять полей, под многолетние травы — два поля, под озимые или яровые с подсевом многолетних трав — одно поле и под однолетние бобово-злаковые травы — одно поле.

На благополучных в мелиоративном отношении полях возможно увеличение продолжительности бессменного посева риса до четырех лет при чередовании с люцерной: 1) и 2) многолетние травы; 3) — 5) рис.

Оценка севооборотов. После составления схемы севооборота необходимо решить, соответствует ли он современным требованиям и задачам хозяйства. Всестороннюю экономическую оценку рассматривают в курсе экономики сельскохозяйственного производства. Здесь отметим лишь такие главные показатели, как выход продукции на 100 га пашни в зерне, кормовых единицах, сборе протеина, в денежной ее стоимости.

Ориентирующие показатели разрабатываются госпланом республики и плановыми организациями регионов.

Оценка севооборота должна быть дана в соответствии с агротехническими требованиями, в том числе в отношении правильности чередования культур, соответствия планируемой урожайности проектной и возможностям хозяйства.

Севооборот характеризуют и оценивают также индексом использования орошаемой земли. Он показывает, на какой части севооборотной площади выращивают по два урожая. Индекс использования орошаемой земли выражают отношением площади посева, включая основные и промежуточные культуры ($S_п$), к площади севооборота ($S_с$) : $i = S_п/S_с$.

При достаточном наличии культур, рано освобождающих поле, оросительной воды, поливной техники и других благоприятных условий, индекс использования почвы достигает 1,4—1,6; обычный же индекс 1,2—1,3.

Разрабатывают пути круглогодового использования орошаемых почв. В этом плане особенно ценны многолетние травы, сочетание озимых продовольственных и кормовых культур с яровыми.

Использование безморозного вегетационного периода контролируют коэффициентом, показывающим, какой процент дней возможной вегетации используют культуры в намеченном севообороте.

Задание. По заданной для конкретного хозяйства структуре посевных площадей составить поливной севооборот и дать ему агротехническое обоснование, в том числе оценить использование предшественников под ведущие культуры; рассчитать выход продукции на 100 га севооборотной площади — зерна, кормовых единиц, содержания протеина в кормовой единице, продукции технических и кормовых культур; определить стоимость продукции, получаемой со 100 га севооборотной площади, в денежном выражении; рассмотреть возможные пути дальнейшего повышения интенсивности использования орошаемых почв в условиях данного региона.

ОБРАБОТКА ОРОШАЕМОЙ ПОЧВЫ

Оросительную воду растения получают через почву. Почву готовят к поливу путем специальной обработки. Обработка изменяет водопроницаемость почвы, ее физическое состояние, условия проведения и эффективность полива, создает условия для высокого эффекта другого сильнодействующего в условиях орошения фактора — удобрений; от обработки зависит газообмен между почвой и приземными слоями воздуха.

Обработка орошаемой почвы в сравнении с неорошаемой имеет свои особенности, так как поливы восстанавливают физическую спелость почвы, способность ее крошения, уменьшают удельное сопротивление, изменяют условия работы почвообрабатывающих машин и орудий.

Взаимодействие оросительной воды и почвы зависит от типа почвы, ее механического состава, строения (сложения), структуры, объемной массы, плотности и других свойств. Особенно значительна зависимость способов и системы обработки почвы от ее механического состава и объемной массы. Для разных культур имеется определенный оптимум объемной массы. Под влиянием природных факторов устанавливается характерная для данной почвы равновесная объемная масса. Она может совпадать с оптимальной, и тогда потребность в обработке будет минимальная; если равновесная объемная масса значительно превышает оптимальную, возникает необходимость регулировать ее соответствующей обработкой. Орошение способствует уплотнению почвы, что также повышает потребность в ее обработке.

Подготовка почвы к поливу. Почву к поливу готовят в несколько этапов. В период строительства оросительной системы выполняют основную или капитальную планировку, обеспечивающую равномерное распределение воды на полях. Поверхность поля при этом выравнивают путем срезания бугров и заполнения этой почвой понижений. В местах срезки уменьшается мощность плодородного слоя или обнажается подпахотный, возникает необходимость внесения удобрений или посева бобовых культур. На первом этапе можно применить кулисную планировку, заключающуюся в снятии плодородного слоя и буртовании его в стороне. Затем проводят планировку по подпахотному слою и плодородный слой возвращают на прежнее место.

Наиболее тщательная планировка требуется при строительстве рисовых оросительных систем. Допустимые колебания уровня поверхности почвы в рисовых чеках — не более ±3—5 см.

В дальнейшем ежегодно продолжают выравнивание поверхности полей — эксплуатационную, или текущую, планировку. Она ликвидирует неровности, возникшие в процессе обработки почвы. Основной объем ежегодных планировочных работ выполняют осенью, меньшую часть — весной.

Третий этап — создание мельчайшей сети для распределения воды на поле — борозд, полос или других устройств, выполняемых до или после посева в зависимости от особенностей культуры и планируемого способа полива.

Задание. На основании наблюдений, проведенных в поле, охарактеризовать подготовку поля к поливу дождеванием, по бороздам, по полосам; последовательность нарезки поливных борозд, выводных борозд, временных оросителей; марки машин и орудий, условия их эксплуатации, производительность.

Подготовка почвы к весеннему посеву сельскохозяйственных культур. Вспашка — основной прием подготовки орошаемой почвы к весеннему посеву сельскохозяйственных культур. В зависимости от культуры, почвенных и других условий могут изменяться

время проведения, способ и глубина вспашки, возникает целесообразность замены ее иными приемами обработки.

В практикуме предусмотрены задания, выполняемые в поле. Одну часть можно выполнить в течение одного-двух занятий, другую — в течение одного-двух сезонов.

Влияние поливов на качество вспашки. Главные показатели качества вспашки — степень крошения, глыбистость, глубина вспашки и ее равномерность, слитность и гребнистость пашни.

Влияние поливов на качество вспашки можно установить путем сравнительных учетов, выполненных в условиях орошения и на богаре.

Ход работы: подготавливают два участка — орошаемый и неорошаемый с одинаковыми почвенными показателями. Рано созревающий предшественник, например пшеницу, нужно одновременно убрать на обоих участках. После лущения жнивья на поливном участке проводят предпахотный полив нормой около 500 м³/га. Как только наступит физическая спелость почвы, выполняют вспашку одновременно на обоих участках.

Степень крошения почвы учитывают с помощью металлического ящика со съемным дном. Размер ящика 40×30×30 см. Для отбора пробы ящик вдавливают (врезают) в почву до дна плужной борозды, подводят снизу металлическое дно, пробу извлекают из почвы и взвешивают. Затем с помощью сит разделяют пробу на фракции: менее 5 см, 5—10 см, 10—15 см, 15—20 см и более 25 см и каждую фракцию взвешивают.

Масса фракции размером менее 5 см, выраженная в процентах от общей массы, характеризует степень крошения почвы, а более 5 см дает представление о массе глыб.

Под глыбистостью понимают отношение площади, занятой глыбами с диаметром более 5 см, ко всей площади учета. Для учета площади, занятой глыбами, на поверхность пашни накладывают квадратную метровую рамку, разделенную на 4 части, подсчитывают и измеряют все глыбы по длине и ширине. Площадь каждой глыбы определяют, умножая длину на ширину.

Для упрощения этого процесса, по предложению кафедры земледелия ТСХА, используют квадратную 50×50 см палетку из органического стекла, разграфленную на мелкие квадратики со стороной 1 см. По углам палетки находятся стойки, которые вдавливают в почву так, чтобы палетка соприкасалась с почвой. Площадь глыб (см²) учитывают по количеству клеточек, которые помещаются в контуре каждой глыбы. В этом случае глыбистость определяют по формуле:

$$Г = 0{,}04S,$$

где $Г$ — глыбистость, %; S — суммарная площадь глыб, см².

Слитная поверхность пашни не имеет западин и повышений. Ее можно описать по визуальному определению. Гребнистость (см) определяют с помощью профилемера. Она выражается разностью между вершинами гребней и понижениями между ними. С помощью профилемера определяют также профиль дна борозд, сняв вспушенную плугом почву.

Глубина вспашки, по условиям опыта, должна быть одинаковой, чего обычно достичь не удается из-за неравномерности профиля по дну борозды. Глубину вспашки обоих участков следует измерять с помощью бороздомера или линейки.

Количество измерений степени крошения, глыбистости и гребнистости на каждом участке должно быть не менее 6—8; количество измерений глубины вспашки — не менее 25—30.

Результаты учетов записывают в таблицу по форме 14.

Форма 14

Характеристика почвы _____

Дата полива _____ , дата вспашки _____ , дата учета _____

Состояние почвы	Показатели качества вспашки				
	степень крошения, %	глыбистость, %	гребнистость, см	средняя глубина, см	амплитуда колебаний, см
Политая					
Без полива					

В зависимости от глубины вспашки изменяются водопроницаемость и воздухоемкость почвы, деятельность микроорганизмов и условия почвенного питания растений. Поэтому по-разному заделывают удобрения, ведут борьбу с сорняками, что в конечном счете сказывается на уровне урожайности сельскохозяйственных культур. Сами культурные растения неоднозначно реагируют на способ и глубину обработки почвы. Механический состав почвы, структурность, глубина плодородного слоя, в свою очередь, оказывают влияние на эффективность изучаемых приемов ее обработки.

В кратковременном опыте можно ограничиться единовременным (после выполнения обработки) учетом водопроницаемости, воздухопроницаемости, качества заделки удобрений и пожнивных остатков, других показателей качества обработки почвы; в длительном — наблюдают за ростом и развитием растений и учитывают урожайность опытной культуры.

Задание 1. Глубина и способ вспашки. На подготовленном поле с хорошо известными показателями физического состояния, степени и характера гумусирования, наличия подвижных питательных веществ заложить опыт по одной

из схем: глубина вспашки 20—30 см обычным плугом; вспашка на ту же глубину двухъярусным плугом по схеме 15×15; вспашка на глубину 40 см обычная; двухъярусным плугом по схеме 20×20. Различия между вариантами должны быть контрастными. Схему можно изменить с учетом почвенных особенностей и других местных условий.

В течение вегетационного периода сельскохозяйственной культуры определяют главные показатели качества вспашки, влажность почвы по фазам вегетации, высоту растений, площадь листьев и накопление биомассы в основные фазы вегетации с последующим расчетом продуктивности фотосинтеза и фотосинтетического потенциала по ранее изложенной методике. В конце опыта учитывают урожай и обрабатывают полученные данные методом дисперсионного анализа. По влажности почвы, осадкам и оросительной норме рассчитывают суммарное испарение и коэффициент водопотребления для каждого варианта.

Задание 2. Время вспашки орошаемой почвы. Соблюдая все условия, отмеченные в предыдущем задании, заложить опыт со сроками вспашки под избранную культуру. Разрыв во времени между вариантами должен быть таким, чтобы ясно проявились различия в действии этого фактора на растения и их продуктивность. Для степных условий можно рекомендовать сроки: 15 сентября, 15 октября, 15 ноября.

Если есть возможность усложнить эксперимент, например в целях выполнения дипломной работы, в каждый из сроков можно поставить на изучение две глубины вспашки — 20 и 30 см или другие, отвечающие местным условиям. Учеты и наблюдения те же, что и в опыте с глубиной и способами вспашки.

Эффективность плоскорезной обработки по сравнению со вспашкой. Эффективность плоскорезной обработки на орошаемых почвах изучена слабо. Поэтому задание по ее определению носит характер исследования. Рекомендуется выполнить его в период осенней подготовки почвы под культуры весеннего посева. Схема опыта осенней закладки: вспашка плугом с предплужником на глубину 25—27 см; плоскорезная обработка на глубину 25—27 см. Перед обработкой вносят удобрения в расчете на планируемый урожай. Плоскорезную обработку выполняют плоскорезом-глубокорыхлителем (типа КПГ-250, КПГ-2-150).

Глубину вспашки контролируют в борозде с помощью бороздомера. Глубину плоскорезной обработки определяют с помощью металлического стержня с делениями. Стержень погружают в почву и замеряют глубину рыхления. Полученную величину уменьшают на 25%, учитывая вспушенность почвы. После закладки опыта определяют качество обработки почвы в каждом варианте по таким показателям: глубина обработки и ее равномерность, степень крошения, глыбистость, гребнистость, степень сохранения стерни на поверхности почвы (стерня защищает почву от ветровой эрозии).

Показатели качества учитывают по методике, описанной в задании: «Влияние поливов на качество вспашки». Степень сохранения стерни на поверхности почвы учитывают, отмечая поперек направления хода агрегата отрезки в 10 м. На них с помощью линейки измеряют ширину бороздок в месте прохода

рабочего органа плоскореза — это площадь без стерни. Суммарную ширину следов, оставляемых стойками плоскореза, выражают в процентах к общей длине отрезка. Степень сохранности стерни вычисляют по формуле:

$$A = 100 - \frac{Б}{С} 100,$$

где $Б$ — суммарная ширина следов стоек, м; $С$ — общая ширина учетной площади, м.

Опыт следует довести до учета урожая, выполнив наблюдения и учеты в период вегетации, указанные в задании 1.

Минимализация обработки почвы под пожнивную культуру. Минимализация обработки достигается при совмещении отдельных операций, а также путем уменьшения глубины обработки почвы в тех случаях, когда это окажется целесообразным.

В степных районах, подверженных ветровой эрозии, эффективным оказался пожнивный посев кукурузы и кормовых смесей по стерне сеялкой СЗС-2,1. В этом случае сочетают операции по культивации, посеву, внесению удобрений и прикатыванию. Допосевная обработка почвы отсутствует. Вслед за посевом проводят полив дождеванием. Преимущество такого посева заключается также в использовании большего количества теплых, солнечных дней для развития и формирования урожая пожнивных культур в сравнении с обычной технологией подготовки почвы и их посева.

Обычная технология включает вспашку, полив, предпосевную обработку почвы, посев. Начало развития растений при этом задерживается на 10—12 дней.

Целесообразно сопоставить в опыте эти комплексы начальной технологии выращивания пожнивных культур на двух фонах питания: без удобрений и с внесением удобрений на планируемый урожай. Опыт заложить после уборки озимой пшеницы по следующей схеме: по двум предпосевным фонам — стерня и вспашка на 20—22 см.

Учеты и наблюдения в опыте: наличие на поверхности почвы стерни, количество на 1 м^2; влажность почвы; коэффициент водопотребления; объемная масса почвы в пахотном слое в фазу всходов; динамика роста и накопления биомассы, урожайность.

Система обработки почвы в поливном севообороте. Выполняемые в определенной последовательности и решающие общую задачу операции и приемы составляют систему обработки почвы.

Система зяблевой и предпосевной обработки почвы создает благоприятные условия для развития отдельных культур севооборота. При этом учитывают, что требования к обработке почвы у разных культур различны. Они изменяются также в соответствии с природными, мелиоративными и экономическими особенностями региона. Системы обработки почвы под отдельные культуры,

следующие в порядке их чередования и выполняющие общую задачу повышения плодородия почвы в период ротации, составляют систему обработки почвы в севообороте.

В системе обработки почвы в севообороте решаются такие общие задачи для всех его полей, как периодичность углубления пахоты, создание достаточного по мощности плодородного слоя, очищение пахотного слоя от сорняков, улучшение его строения, водно-воздушных свойств и др.

Планируемую обработку почвы представляют в табличной форме, где подробно описывают почвенные условия, характеристику видового состава и степень засорения полей сорными растениями, сведения о технической оснащенности хозяйства (табл. 13).

13. Планируемая обработка почвы в орошаемом севообороте
(Ингулецкая оросительная система)

Номер поля	Культура	Основная обработка почвы	Предпосевная обработка почвы	Обработка почвы на посевах
1	Озимая пшеница	Вспашка на глубину 25—27 см; боронование после полива при наступлении физической спелости почвы	Культивация на глубину 6—8 см с боронованием	Боронование весной в один-два следа
	Кукуруза (пожнивная)	—	Посев по стерне сеялкой СЗС-2.1 сразу после уборки пшеницы; вслед за посевом полив дождеванием, норма 300 м³/га	
2	Кукуруза на зерно	Вспашка на глубину 27—30 см	Выравнивание поверхности почвы весной при наступлении физической спелости почвы волокушей-выравнивателем ВП-8 в двух направлениях под углом 45°. Предпосевная культивация на глубину 6—7 см, КПС-4 с выравнивателем и катками вслед за внесением и заделкой в почву гербицидов	Прикатывание почвы в день посева — ЗКК-6. Нарезка в междурядьях бороздщелей глубиной 25—27 см с помощью КРН-4,2 с окучниками и щелерезом в фазе 10—12 листьев

Запланированная система обработки почвы в поливном севообороте должна быть обоснована научными данными. Для выполнения этого задания может потребоваться несколько занятий.

БОРЬБА С СОРНЫМИ РАСТЕНИЯМИ НА ОРОШАЕМЫХ ПОЧВАХ

Эффективная борьба с сорняками — одно из главных условий получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур на орошаемых почвах. Оросительная вода создает благоприятные условия для роста и развития не только культурных, но и сорных растений. В условиях орошения повышается семенная продуктивность и усиливается вегетативное размножение соответствующих групп сорных растений. Благоприятные условия для жизни и размножения сорняков создаются на обочинах каналов. После обсеменения плавающие семена сорных растений вместе с оросительной водой попадают на поля.

Потребляя воду и питательные вещества почвы, сорные растения снижают урожай культурных растений и ухудшают его качество. Между культурными и сорными растениями идет борьба за солнечный свет и воздушную пищу — углекислый газ. Сорные растения способствуют развитию вредителей и болезней; снижают производительность труда по обработке почвы, уменьшают пропускную способность оросительных каналов.

В борьбе с сорняками применяют профилактические истребительные (агротехнические, химические) и биологические меры.

В связи с увеличением продуцируемых семян и вегетативных органов размножения сорных растений при повышенной влажности почвы возникает необходимость четкого проведения профилактических мер. Нельзя допускать обсеменения растений, растущих на каналах, обочинах дорог, межниках. Сорные растения скашивают, уничтожают путем обработки почвы или химическими средствами задолго до цветения. Применяют средства очищения оросительной воды от семян и вегетативных зачатков растений (сетки, запони). Оросительную воду используют и как средство борьбы с сорняками: полив вызывает прорастание семян, а проростки уничтожают последующей обработкой почвы. Это так называемый провокационный полив, который применяют незадолго до планируемой обработки почвы.

Функции провокационных поливов наряду с прямым назначением выполняют также предпахотные, влагозарядковые, предпосевные, вегетационные поливы. В поукосных и пожнивных посевах, выполняемых без обработки или по поверхностной обработке почвы, нередко появляется много всходов сорных растений. Однако в оптимальных условиях влажности и питания при значительном загущении посева культурные растения заглушают сорняки до цветения.

Большой объем работы по истреблению сорняков на орошаемых почвах приходится на долю приемов и систем обработки почвы. Сочетание поверхностных обработок дисковыми, лемешными и плоскорезными рабочими органами, поверхностной обработки и

вспашки, периодическое углубление пахоты, приемы обработки почвы весной до посева, а при необходимости и во время вегетации, взаимодействующие с поливами, остаются надежной основой подавления сорняков.

Постепенно входят в практику биологические меры борьбы с сорняками — применение вида ржавчины, поражающего осот и не опасного для хлебных злаков; грибка, повреждающего заразиху и не вредящего подсолнечнику; горчаковой нематоды для борьбы с горчаком и др.

Прочно вошли в практику борьбы с сорняками химические средства — гербициды. По характеру действия на растения гербициды бывают сплошного и избирательного действия. При сплошном действии гербициды уничтожают все растения, избирательном — определенную группу или вид сорного растения. Так, гербициды 2,4-Д, 2М-4Х уничтожают двудольные растения и не повреждают однодольные, например злаковые. Гербициды ТХА, ДХС и ряд других уничтожают однодольные и мало вредоносны для двудольных.

Большое практическое значение имеют гербициды узкого избирательного действия. Они не повреждают определенное культурное растение и уничтожают много сорняков из класса однодольных и двудольных. К таким гербицидам относятся симазин, атразин, применяемые на посевах кукурузы. Наконец, гербициды очень узкой избирательности уничтожают ряд видов и почти не вредны для других, принадлежащих к одной ботанической группе. Например, пропанид уничтожает просянки, почти не повреждая посевы риса.

По механизму действия на растения различают гербициды системного и контактного действия. Системные проникают внутрь растения, передвигаются в нем по сосудам и повреждают обычно все растение. Контактные уничтожают только ту часть растения, на которую нанесены.

Системные гербициды — карбин, бетанал, реглон, проникающие в растение через надземные органы, используют для уничтожения растущих сорняков; тилам, пропазин, трефлан, ялан и др., проникающие в растение через корневую систему, вносят в почву до появления всходов; 2,4-Д, 2М-4Х, атразин, банвел Д, прометрин, полидим, далапон, проникающие в растения через листья и корни, можно применять до посева и после появления всходов сорных растений. Пример контактных гербицидов — ДНОК (Ступаков, 1980).

К наиболее распространенным и злостным сорным малолетним растениям, встречающимся на орошаемых почвах, относятся просянки, щирица обыкновенная, белая и жминдовидная, щетинник сизый и зеленый, лебеда, овсюг, дурнишник, белена черная и двулетняя, донник — в районах хлопководства.

Из многолетних корнеотпрысковых сорных растений особенно вредоносны на орошаемых почвах осот полевой, бодяк полевой, молокан татарский, вьюнок полевой, горчак ползучий, а в районах хлопкосеяния — верблюжья колючка.

Из корневищных сорных растений наиболее вредоносен гумай. В местах длительного переувлажнения, в том числе на рисовых чеках, злостными засорителями являются клубнекамыш, тростник, рогоз. На видовом составе сорных растений в значительной мере отражаются местные условия.

Задание 1. Провести учеты засоренности отдельных полей поливного севооборота с изучением видового состава сорных растений во время появления их массовых всходов — в середину вегетации и перед уборкой.

Определить численность и массу встречающихся видов сорных растений. Численность (A) выражают количеством особей (стеблей) на 1 м².

$$A = \frac{a}{ns} = \frac{a}{S},$$

где a — число встреченных особей (стеблей) растений; n — число учетных или пробных площадок; s — площадь пробной площадки, м²; S — учетная площадь, м².

Пробная площадка должна быть прямоугольной формы не менее 0,25 м². При учете сорняков на культурах сплошного посева квадратную рамку укладывают так, чтобы один из рядков посева совпал с ее большой диагональю. Рамка для учета на пропашных культурах может иметь сторону, равную ширине междурядий. Ее укладывают так, чтобы рядок приходился на середину площадки.

Пробные площадки удобно располагать в шахматном порядке. При способе утроенных площадок (метод НИИСХ Юго-Востока) в период массовых всходов отбирают равномерно засоренные площадки, достаточные по площади для трех учетов за время вегетации культурных растений.

Если обследуют площадь до 5 га, учеты проводят по 5 площадкам, при площади 50—100 га — по 10—30 площадкам. Для учета массы надземных органов все сорные растения на пробной площадке вырывают, помещают в полиэтиленовый мешочек, чтобы исключить их высыхание за время доставки в лабораторию. Разобрав растения по видам и удалив у них корни, взвешивают, определяя сырую массу. Если учеты проводят на опыте, то образцы в марлевых мешочках поступают на воздушную сушку, а при более точном учете определяют и абсолютно сухую массу.

Задание 2. Провести самостоятельно или использовать проводимые кафедрами в условиях орошения опыты для учета засоренности в зависимости от изучаемых приемов агротехники, а также учесть эффективность химических средств борьбы с сорняками по урожайности сельскохозяйственных культур.

УДОБРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

Многолетний план применения удобрений, или система удобрения в севообороте, в условиях орошения отличается рядом особенностей.

Поливы способствуют лучшему усвоению растениями питательных веществ почвы и удобрений. В связи с повышением урожайности увеличивается вынос питательных веществ, а следова-

тельно, и необходимость применения на орошаемых почвах большего количества удобрений.

При орошении возникает возможность эффективного применения подкормок. Становится возможным внесение удобрений с поливной водой. В ряде случаев для повышения плодородия почвы могут быть использованы зеленые удобрения, выращенные в регионах с теплой зимой в пожнивный период или в осенне-зимний.

Питательные вещества и вода, как факторы урожая, находятся в тесном взаимодействии — орошение повышает эффективность удобрений, а удобрения — эффективность орошения.

Задача лабораторно-практических занятий и студенческих исследований — установить влияние орошения на эффективность удобрений в местных условиях; получить данные о влиянии удобрений на эффективность орошения; найти прибавки урожая, получаемые за счет взаимодействия этих факторов. Эти задания выполняют в поле.

В лабораторных условиях — освоить расчеты удобрений на планируемый в условиях орошения урожай сельскохозяйственных культур.

Задание 1. Заложить опыт по схеме: 1) без удобрений и без полива; 2) с удобрениями без полива; 3) без удобрений с поливами; 4) с удобрениями и поливами. Удобрения внести на планируемый урожай на уровне проектного; поливы проводить в соответствии с рекомендуемым режимом орошения.

Провести сопутствующие наблюдения и учеты; определить количество подвижных питательных веществ в почве ко времени посева и в основные фазы вегетации; влажность почвы в те же сроки; динамику роста растений; учесть площадь листьев; накопление биомассы в основные фазы вегетации.

Эффекты действия и взаимодействия факторов определить по показателям роста, площади листьев, биомассы растений в фазу завершения активного роста и по урожаю.

Пример такого расчета приведен в таблице 14.

14. Влияние орошения и удобрений на урожайность (ц/га) зерна кукурузы ВИР 156 (южный чернозем, Ингулецкая оросительная система)

Фон питания	Без орошения	Поливы при влажности 80% НВ	Прибавка от орошения
Без удобрений	23,8	47,7	23,9
Навоз 40 т/га+$N_{160}P_{160}$	28,8	90,7	61,9
Прибавка от удобрений	5,0	43,0	(38,0)

Из опыта следует, что орошение повысило эффективность удобрений в 43,0 : 5,0 = 8,6 раза; эффективность орошения на фоне удобрений увеличилась в 61,9 : 23,9 = 2,6 раза. В скобках показан эффект взаимодействия. Он выражается разностью прибавок урожая от орошения, полученных на фоне удобрений и без них. Эффект взаимодействия получают и при таком расчете: сумму прибавок от орошения (без удобрений) и от удобрений (без орошения) вычитают из разности между урожайностью при совместном действии орошения и удобрений и при отсутствии орошения и удобрений. Производим расчет:

прибавка от орошения — 23,9; прибавка от удобрений — 5,0; сумма их 23,9+5,0=28,9 ц/га; прибавка от совместного действия орошения и удобрений — 90,7 — 23,8=66,9 ц/га; прибавка урожая за счет взаимодействия орошения и удобрений — 66,9 — 28,9=38,0 ц/га.

Расчет доз удобрений на планируемый урожай. Необходимые исходные данные: содержание в почве подвижных питательных веществ и коэффициенты их использования растениями, коэффициенты использования питательных веществ удобрений, вынос питательных веществ с урожаем.

Вынос питательных веществ из почвы с урожаем компенсируется внесением удобрений. Количество выносимых растениями элементов питания несколько изменяется в связи с особенностями сельскохозяйственных культур, почвенно-климатических и агротехнических условий. Все же, пока нет региональных данных, можно пользоваться усредненными показателями (табл. 15).

Норму внесения минеральных удобрений на планируемый урожай рассчитывают по логической схеме с учетом содержания в почве подвижных питательных веществ и коэффициентов исполь-

15. Примерный вынос азота, фосфора и калия с 1 т урожая основной продукции, кг действующего вещества

Культура, угодья	Основная продукция	N	P_2O_5	K_2O
Пшеница озимая	Зерно	30—40	11—15	20—30
Пшеница яровая	»	35—42	12—15	15—38
Рис	»	35—40	15—20	45—50
Кукуруза	»	35—40	10—15	30—50
Сахарная свекла	Корнеплоды	6,0—6,5	1,8—2,0	6—8
Картофель	Клубни	6—7	1,8—2,2	9—13
Помидоры	Плоды	2,5—2,7	0,4—0,5	3,5—3,7
Огурцы	»	1,6—1,8	1,3—1,5	2,5—2,7
Капуста	Кочаны	3,0—3,5	1,2—1,5	4,0—4,5
Кукуруза	Зеленая масса	2,4—2,6	1,0—1,6	4,5—5,5
Люцерна	Сено	25—27	6—7	14—16
Естественные сенокосы	»	16—18	6,5—7,5	17—19
Пастбища	Зеленая масса	3,3—3,5	1,3—1,5	3,5—3,7

зования их растениями. Последние подвержены значительным изменениям по регионам страны. Поэтому использование при программировании местных данных обязательно.

Если минеральные удобрения вносят одновременно с органическими, необходимую для планируемого урожая норму каждого из питательных веществ (H) устанавливают по формуле:

$$H = \frac{100B - ПК_п - D_o C_o K_o}{K_y},$$

где B — вынос питательного вещества с урожаем, кг/га; $П$ — содержание доступного для растений питательного вещества в почве, кг/га; $K_п$ — коэффициент использования питательного вещества почвы, %; $D_о$ — количество органического удобрения, т/га; $C_о$ — содержание в 1 т органического удобрения питательного вещества; $K_о$ — коэффициент использования питательного вещества органического удобрения, %; $K_у$ — коэффициент использования питательного вещества минерального удобрения, %.

Задание 2. Рассчитать необходимые нормы минеральных и органических удобрений в действующем веществе и в туках на планируемые урожаи основных культур региона.

Расчет доз удобрений на планируемую прибавку урожая в условиях оптимального режима орошения. Урожай — интегральная величина, в которой растение безошибочно суммирует все условия, находящиеся в динамике.

Уровень эффективного плодородия почвы представляет урожай, полученный в оптимальном режиме орошения без удобрений. Такие варианты имеются в опытах областных станций, научно-исследовательских институтов или кафедр сельскохозяйственных вузов большинства регионов, где изучается и оценивается эффективность удобрений.

При отсутствии прямых данных об уровне урожайности, который обеспечивает почва, приходится рассчитывать приближенно эту (фоновую) урожайность по запасам в почве питательных веществ.

Установить предварительно сравнительную обеспеченность почвы различными питательными веществами важно также для решения вопроса о том, нужно ли вносить все элементы питания, выносимые с дополнительным урожаем. Например, каштановые почвы юга УССР богаты калием, и его не вносят на планируемый урожай пшеницы до 60 ц/га. Если уровень плодородия ограничивается наличием питательных веществ почвы, а не другими условиями, например плохими физическими свойствами или токсичными солями, то урожайность при оптимальном орошении характеризует тот ее уровень, которого позволяет достигнуть питательное вещество почвы, находящееся в минимуме. Во многих случаях в первом минимуме находится азот. Его дозу тогда на дополнительный урожай можно рассчитать по выносу с достаточным приближением. Расчеты же по фосфору и калию следует проверять по установленному в данном регионе соотношению N:P:K, а также по контрольной таблице, оценивающей относительную обеспеченность почвы отдельными питательными веществами. Контрольная таблица позволяет установить, какой из элементов питания находится в недостатке, какой — в избытке.

Если известна урожайность культуры на данной почве в условиях орошения, то остается рассчитать, сколько потребуется удобрений на дополнительную прибавку, обеспечивающую получение запланированного урожая.

Дозу питательного вещества (кг/га), обеспечивающего запланированную прибавку урожая, рассчитывают по формуле:

$$D = \frac{100B}{K},$$

где B — вынос питательного вещества с планируемой прибавкой урожая, кг/га; K — коэффициент использования питательного вещества удобрений растениями, %.

Пример такого расчета приведен для условий Ингулецкой оросительной системы (табл. 16). За счет естественного плодородия темно-каштановой почвы при орошении обеспечивается урожайность озимой пшеницы Безостая 1 — 30 ц/га; планируемая урожайность зерна 70 ц/га; оптимальное отношение N:P:K—1:0,7:0.

16. Расчет доз NPK на планируемую прибавку урожайности (40 ц/га) зерна озимой пшеницы

Показатели	N	P_2O_5	K_2O
Вынос питательных веществ с урожаем, кг/т зерна	30	13	29
Гребуется питательных веществ на дополнительный урожай в 4 т, кг/га	120	52	116
Используется питательных веществ из удобрений, %	55	20	60
Расчетное количество питательных веществ, кг/га	218	260	193
Действительная потребность, кг/га	218	153	0

Показатели выноса питательных веществ с урожаем, использования их из удобрений и оптимальное отношение N:P:K в условиях орошения приводятся по данным УкрНИИОЗ (1981). Вынос показан на 1 т основной продукции с учетом побочной.

Для азота, находящегося в почве в первом минимуме, расчетное количество питательных веществ удобрений совпадает с действительной потребностью; действительная потребность в фосфоре меньше расчетной, так как вследствие недостатка азота растения не использовали на исходный урожай 260—153=107 кг/га фосфора, расчетное количество калия (193 кг/га) вносить не следует, так как в пахотном слое почвы имеется 600—1000 кг/га обменного калия.

Коэффициенты использования питательных веществ удобрений в богарных условиях и при орошении различны. Изменяются они также в зависимости от почвенно-климатических условий. Это следует учитывать и пользоваться показателями, полученными в местных условиях.

В тех случаях, когда эффективное плодородие снижается не из-за недостатка питательных веществ, а из-за избытка растворимых солей или вследствие осолонцевания, ухудшения физического состояния и других причин, почва должна быть предварительно улучшена путем мелиорации. Лишь после этого удобрения будут эффективно использоваться растениями.

Задание 1. Пользуясь данными местных опытных станций или научно-исследовательских институтов, определить уровень урожайности ведущих культур региона, получаемый за счет естественного плодородия почвы.

Задание 2. Установить расчетным путем по наличию в почве питательных веществ урожайность, которая лимитируется азотом, фосфором, калием. Определить фактор первого минимума по этим данным.

Задание 3. Рассчитать нормы азотных, фосфорных и калийных удобрений на планируемую прибавку урожая сверх уровня, лимитируемого эффективным плодородием почвы. Расчет провести по форме таблицы 16.

Расчет доз удобрений и нормы оросительной воды по оплате их урожаем с учетом бонитета неорошаемой почвы. Надежным показателем бонитировочной оценки неорошаемой почвы и климата местности является многолетняя средняя урожайность исследуемой культуры. Для установления этого показателя можно использовать данные опытных станций — урожайность в варианте без орошения и удобрений на фоне высокой агротехники, а также производственные данные передовых хозяйств.

Затем устанавливают оплату урожаем 1 м³ оросительной нормы и 1 кг питательных веществ удобрений. Эффективность орошения исследуют на фоне удобрений, а эффективность удобрений — в условиях орошения. Исходные данные находят, анализируя с помощью ЭВМ или другой счетной техники многофакторные опыты научных учреждений и производственные показатели.

Пример. Если урожайность озимой пшеницы без удобрений составила 32 ц/га, а при внесении $N_{120}P_{80}$ — 42 ц/га, то это означает, что 200 кг питательных веществ удобрений обеспечили прибавку урожая в 1000 кг. Отсюда оплата 1 кг питательных веществ равна 1000:200=5 кг зерна. Следует учитывать, что оплата 1 кг питательных веществ — обратная величина выноса их с дополнительным урожаем.

Примем для среднего по метеорологическим условиям года оплату оросительной воды в 1 кг/м³ и оплату удобрений — 5 кг на 1 кг внесенных питательных веществ. Если в хозяйстве имеется возможность применить оросительную норму 2000 м³/га, то потребность в питательных веществах для получения 55 ц/га зерна можно рассчитать по формуле:

$$У = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2,$$

где $У$ — урожайность, ц/га; b_0 — свободный член уравнения, соответствует в данном случае бонитировочному показателю — исходной урожайности, ц/га;

b_1 — коэффициент регрессии, показывающий прирост урожая (ц) на 1 м³ оросительной воды; x_1 — оросительная норма, м³/га; b_2 — коэффициент, показывающий прибавку урожая в ц на 1 кг питательных веществ удобрений; x_2 — сумма питательных веществ удобрений, кг/га.

Решение: $55=25+0{,}01\cdot 2000+0{,}05x_2$; $x_2=200$, или по рекомендуемому соотношению питательных веществ, — $N_{120}P_{80}$.

При решении этой задачи учтено, что дозировки обоих факторов, находящихся в минимуме, — орошения и удобрений — увеличиваются в лимитирующих пределах одновременно, вследствие чего эффекты их действия и положительного взаимодействия сливаются, обеспечивая достаточную стабильность прибавок урожая при нарастании доз.

Задание 1. По данным научно-исследовательских и опытных учреждений региона установить связь между степенью обеспеченности почвы подвижными питательными веществами и оплатой урожаем избранной культуры питательных веществ удобрений.

Задание 2. По тем же данным установить уровень оплаты урожаем оросительной воды в сухие, средние и средневлажные годы, а также во все годы суммы осадков и оросительной нормы за период вегетации.

Задание 3. Рассчитать потребность в питательных веществах удобрений при заданных показателях — планируемый урожай; урожай, соответствующий бонитету неорошаемой почвы; оплата урожаем оросительной воды и питательных веществ удобрений.

Рассчитанные для каждой культуры удобрения распределяют в соответствии с рекомендациями науки для внесения под вспашку, в рядки при посеве, в подкормку. Удобрения всех культур за период ротации составляют систему удобрения в севообороте, которую удобно записать в таблицу по форме 15.

Форма 15

Номер поля	Культура	Навоз под вспашку, т на 1 га	Минеральные удобрения, кг действующего вещества на 1 га					
			под вспашку			в рядки при посеве	в подкормку	
			N	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	N	P_2O_5
1	Озимая пшеница + + пожнивные							
2	Кукуруза на зерно и т. д.							

Система удобрения позволяет учесть общую потребность хозяйства в удобрениях по срокам их внесения, потребность в технике и является исходной при составлении технологических карт.

Задание. Составить систему удобрений для избранного севооборота и по ней определить общую потребность хозяйства в удобрениях по срокам их внесения.

ПОСТРОЕНИЕ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДУЩИХ КУЛЬТУР ПОЛИВНОГО СЕВООБОРОТА

Индустриальная технология возделывания сельскохозяйственных культур повсеместно становится обязательной. Особенности ее заключаются в полной механизации всех процессов возделывания культурных растений, резком повышении качества и производительности труда, эффективном использовании фактора времени, имеющего в земледелии первостепенное значение.

Одно из главных преимуществ индустриальной технологии состоит в том, что она открывает возможности четкой реализации новейших достижений науки и передовой практики, поэтому ее нужно рассматривать как надежный путь поднятия продуктивности полей на новый, более высокий уровень.

Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур достигается на основе всемерного улучшения почвенного плодородия, внедрения высокопродуктивных сортов и гибридов, высокоэффективных быстроразлагающихся гербицидов, использования высокопроизводительной техники, обеспечивающей выполнение всех работ в точном соответствии с требованиями технологии, в оптимальные сроки и с высоким качеством. К основным слагаемым индустриальной технологии на орошаемых почвах относятся: создание фона высокого плодородия почвы путем внесения оптимальных норм органических и минеральных удобрений и правильной обработки с учетом ее минимализации; очищение почвы и посевов от сорняков путем рационального сочетания агротехнических и химических мер борьбы; подбор сорта, продуктивного в условиях полива, и формирование густоты стояния растений без затрат ручного труда; механизация ухода за посевами и их защиты от вредителей и болезней; механизация с последующим переходом к автоматизации поливов; промышленная технология уборки.

Индустриальная технология предусматривает применение четкой научной организации труда. При разработке индустриальной технологии отдельных культур особого внимания требует выявление узких мест в механизации трудоемких процессов и составление плана преодоления трудностей перехода от обычной технологии к современной. Следует оценить в этом отношении машины и сформулировать требования к их совершенствованию или поставить задачу создания новых.

Первоочередного решения требуют задачи полной механизации таких процессов: борьба с сорняками, формирование оптимальной густоты стояния растений, поливы, уборка урожая.

Борьбу с сорняками ведут, сочетая предпосевную обработку почвы с применением гербицидов. Обработку почвы строят с учетом почвенно-климатических условий, предшественника, видового состава сорняков, биологических особенностей культуры.

В степных районах, например, после культур раннего созревания, поля которых засорены корнеотпрысковыми сорняками, применяют систему двух лущений, вспашки и последующей поверхностной обработки при отрастании сорных растений.

Во всех случаях необходимо тщательно выравнивать поверхность почвы, осенью заделывать разъемные борозды, разравнивать гребни, разделывать поверхность с помощью планировщиков ПДН-10, ПР-5, П-4, чизелем ЧКУ-4 и др.; весной — завершать выравнивание с помощью борон, культиваторов, волокуши-разравнивателя ВП-8 и другими способами. Поверхность почвы необходимо выравнивать не только для равномерного распределения оросительной воды, но и для повышения эффективности гербицидов вносимых в почву.

Гербициды играют важную роль в индустриальной технологии. Чистота полей от сорных растений на посевах хлопчатника достигается допосевным внесением гербицидов катарана, прометрина; на посевах сахарной свеклы — пирамина и ТХА, а после прореживания — бетанала; на посевах сои и клещевины — трефлана, подсолнечника — прометрина; кукурузы — эрадикана и атразина, томатов — трефлана, ридеона, тиллама. Идет активный поиск по созданию новых, более совершенных гербицидов, отвечающих задачам индустриальной технологии.

Междурядные обработки для борьбы с сорняками на полях, обработанных гербицидами, не проводят или проводят ограниченно.

Формирование оптимальной густоты стояния растений при обычной технологии — один из наиболее трудоемких процессов. В индустриальной технологии ручная работа по прорывке растений исключается. Для этого семена высокопродуктивных сортов и гибридов очищают, калибруют, обеззараживают. Посев проводят сеялками точного высева. Норму высева устанавливают с учетом выпадения до уборки части растений. Количество высеваемых семян в сравнении с необходимым количеством для оптимальной густоты повышают на 15—25% в зависимости от биологических особенностей культуры и других условий.

Семена хлопчатника подвергают делинтеровке, разделяют на фракции калибровочной машиной, обрабатывают химическими препаратами и высевают с помощью пневматических сеялок.

После необходимой подготовки семян посев кукурузы, подсолнечника, клещевины производят сеялками СПЧ-6М, СУПН-8, посев сои — СЗСШ-3,6, СПЧ-6М; посадку картофеля — переобору-

дованной сажалкой СН-4Б, при летней посадке — с одновременной обработкой стимулирующим раствором.

Формирование густоты стояния растений сахарной свеклы — один из самых ответственных и сложных процессов. При индустриальной технологии для посева применяют одноростковые семена, сеют сеялками точного высева 2СТСН-6А, ССП-12А. В фазе вилочки — первой пары настоящих листьев прореживают культиватором УСМК-5,4.

Задачи *механизации полива* наиболее приблизились к решению при дождевании. В степных районах европейской части СССР это основной способ полива. Дождеванием поливают пшеницу, кукурузу, сою, подсолнечник, клещевину, сахарную свеклу, овощные культуры и даже люцерну.

Основной способ полива хлопчатника и других культур субтропической зоны — по бороздам и полосам. Для механизации полива по бороздам используют гибкие трубопроводы, поливные машины типа ППА-165У, СПМ-200, разрабатывают автоматизацию поливов с помощью лотков и другие пути индустриализации.

Имеется определенный прогресс *в индустриализации уборки урожая* ряда культур. Для облегчения машинного сбора урожая хлопчатника, клещевины, подсолнечника, поздних сортов сои применяют дефолиацию (удаление листьев) или десикацию (подсушивание растений) химическими средствами.

Уборку урожая хлопчатника механизируют на 60—80%. Необходимо создать машину, совмещающую ряд операций по уборке хлопка-сырца из раскрытых и нераскрытых коробочек.

Для механизации процесса уборки урожая сахарной свеклы создан целый комплекс свеклоуборочных машин и погрузчиков.

Подсолнечник убирают комбайном СК-5 с приспособлением ПН-1,5. Уборочные работы по этой культуре нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

Для уборки кукурузы, выращиваемой на зерно, используют комбайны КСКУ-6, «Нива» с приставкой ППК-4; на уборке сои — переоборудованные СК-5, «Нива», СКД-5Р, СКД-6М, «Сибиряк», СК-УА.

Особые трудности встречаются при механизации уборки томатов. Создают сорта с одновременно созревающими плодами типа Новинка Приднестровья и машины для рядовой уборки урожая. Современный вариант такой машины СКТ-2.

Задание 1. Раскрыть задачи и описать особенности индустриальной технологии возделывания одной из ведущих культур поливного севооборота, используя литературу и рекомендации, принятые в регионе.

Задание 2. Основываясь на прогнозе развития сельскохозяйственной науки и техники, составить для избранной культуры индустриальную технологию будущего.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Оросительная вода 5

Требования к качеству оросительной воды 5

Определение показателей качества оросительной воды 7

Температура (7). Взвешенные вещества (7). Определение pH (8). Сухой остаток (8). Прокаленный остаток (8). Определение иона CO_3^{2-} (9). Определение общей щелочности (9). Определение хлор-иона по Мору (10). Определение сульфат-иона (11). Определение кальция и магния комплексометрическим методом (12). Определение суммы ионов кальция и магния (12). Определение кальций-иона (13). Определение натрий-иона (14)

Оценка ирригационных качеств воды 15

Расчет предельного количества минерализованной оросительной воды, не опасного для засоления почвы 17

Орошаемая почва 19

Влажность почвы, сроки и методы ее определения 19

Термостатно-весовой метод определения влажности почвы (20) Спиртовый метод определения влажности почвы (22). Определение влажности по нижнему пределу пластичности (23). Омический метод определения влажности почвы (25). Определение влажности прибором «Днестр-1» (26). Нейтронный метод определения влажности почвы (28)

Водные свойства почвы 29

Максимальная гигроскопичность почвы (30). Влажность разрыва капиллярной связи (30). Влажность завядания (31). Влагоемкость почвы и методы ее изучения (32). Расчеты запасов влаги в почве (34). Водопроницаемость почвы и методы ее определения (37). Водоподъемная способность почв и методы ее определения (40). Сложение почвы (41). Скважность почвы (43). Сравнительный агрегатный анализ орошаемой и неорошаемой почвы (43)

Определение засоленности орошаемой почвы 46

Приготовление водной вытяжки и определение ее основных показателей (46). Использование результатов анализа водной вытяжки (51). Определение степени засоленности почв по содержанию токсических солей (52). Расчет общей промывной нормы (55). Установление критической глубины залегания уровня минерализованных грунтовых вод (57)

Влияние орошения на микроклимат 58

Влияние орошения на температуру почвы 58

Наблюдения на стационарном участке (59). Наблюдения на хозяйственных посевах (61)

Влияние орошения на температуру приземных слоев воздуха . . . 61

Влияние орошения на влажность воздуха 63

Влияние орошения на скорость движения воздуха 64

Орошение и растение 66
Влияние орошения на физиологические и продукционные процессы растений 66

Влияние режимов орошения на содержание воды в листьях и стеблях растений (66). Водный дефицит и дефицит относительной тургесцентности листьев в связи с режимом водоснабжения (67). Продуктивность фотосинтеза при разной влагообеспеченности и разных условиях питания растений (68). Фотосинтетический потенциал сельскохозяйственных культур в связи с орошением и удобрениями (70). Влияние водного режима почвы на скорость роста растений (71). Установление влажности торможения роста (72). Влияние орошения на образование корневой системы растений (74). Определение активного слоя почвы (76). Определение критического периода в жизни растений в отношении влаги (79)

Водопотребление растений 81

Определение транспирационных коэффициентов при разных условиях питания растений и влажности почвы (81). Суммарное испарение и методы его определения (82). Расчет оросительных норм (86). Определение коэффициента водопотребления (КВ) (87). Определение коэффициентов эффективности и продуктивности орошения (88). Корреляционный и регрессионный анализы связи КВ, КЭО и КПО с мелиоративными, агротехническими и метеорологическими условиями (89)

Методы назначения поливов и поливных норм 91

Назначение поливов и поливной нормы по показателям влажности почвы (91). Назначение поливов по концентрации клеточного сока листьев (92). Определение времени полива по сосущей силе листьев (94). Назначение сроков полива по метеорологическим данным (96).

Выбор способа полива (100)

Земледелие на орошаемых землях 101

Методика разработки поливных севооборотов 101
Состав культур (102). Структура посевных площадей (103). Построение севооборота (104). Примеры севооборотов (106). Оценка севооборотов (107)

Обработка орошаемой почвы 108

Подготовка почвы к поливу (109). Подготовка почвы к весеннему посеву сельскохозяйственных культур (109). Влияние поливов на качество вспашки (110). Эффективность плоскорезной обработки по сравнению со вспашкой (112). Минимализация обработки почвы под пожнивную культуру (113). Система обработки почвы в поливном севообороте (113)

Борьба с сорными растениями на орошаемых почвах 115

Удобрения в условиях орошения 117

Расчет доз удобрений на планируемый урожай (119). Расчет доз удобрений на планируемую прибавку урожая в условиях оптимального режима орошения (120). Расчет доз удобрений и нормы оросительной воды по оплате их урожаем с учетом бонитета неорошаемой почвы (122)

Построение индустриальной технологии ведущих культур поливного севооборота 124