

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
дополнительного профессионального образования
«Российская академия кадрового обеспечения АПК»

Безбородов А.Г.
Безбородов Ю.Г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПОРТАТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ

Методические рекомендации

Москва 2021

Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. Определение влажности почвы портативными системами: методические рекомендации. – Москва. ФГБОУ ДПО РАКО АПК. 2021. - 20 с.

Рецензент: Дудаков Н.К., доцент, к.с.-х.н.,
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева.

В работе представлены методы определения влажности почвы, дается описание полевого тензиометра, методики измерения всасывающего давления, обоснованы числа и глубина заложения тензиометров в зависимости от мощности корнеобитаемого слоя почвы, приведена методика установления срока и нормы полива сельскохозяйственных культур.

Методические рекомендации рекомендуются для использования на практических занятиях по учебному курсу образовательной программы повышения квалификации «Государственное регулирование в области мелиорации земель сельскохозяйственного назначения», а также для специалистов сельского и водного хозяйства интересующихся вопросами мелиорации.

Введение

Управление водным режимом почв является одним из важных факторов оптимизации мелиоративных почвенных процессов. Внутрихозяйственные процессы и особенно экологически рациональное влагодвижение происходит при соблюдении научно-обоснованных режимов орошения сельскохозяйственных культур.

В комплексе агротехнических мероприятий при возделывании сельскохозяйственных культур важное место отводится своевременному определению фактических запасов влаги в почве для прогнозирования сроков и норм полива. В условиях сельскохозяйственного производства очень часто сроки и нормы полива определяются на глазок, в связи с чем, поливы проводят несвоевременно, обычно с большим запаздыванием, межполивные периоды растягиваются. Это ведет к получению низких урожаев, перерасходу поливной воды, неэффективному использованию удобрений.

В настоящее время применяются различные методы определения влажности почвы и фактических запасов влаги.

Опыт работы с портативными системами показал возможность широкого внедрения этих приборов в сельскохозяйственное производство и обусловил составление данных методических рекомендации.

1. Методы определения влажности почвы

Для определения влажности почвы существуют приборы – влагомеры, а также приборы для дистанционного измерения влажности, основанные на методах радиолокации. Все они требуют тарировки – то есть сопоставления со стандартным методом, каковым является термостатно-весовой или гравиметрический.

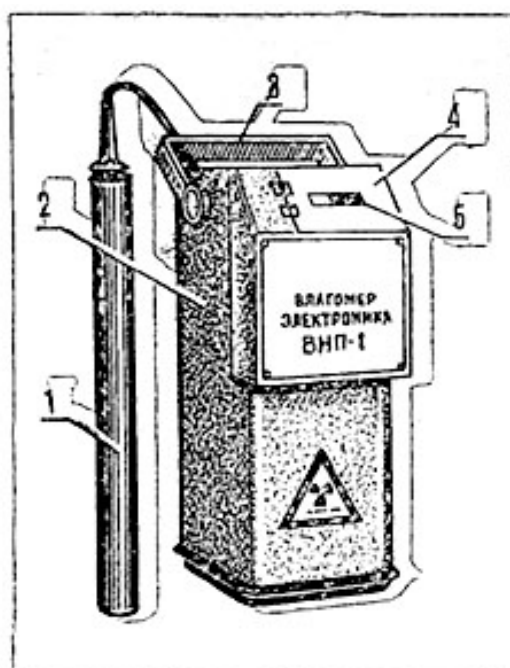
Для определения влажности почвы термостатно-весовым методом необходимо иметь комплект приборов, включающий почвенный бур, ящик с бюксами, высокоточные весы и сушильный шкаф (термостат). Взятые с 10- или 20-сантиметровых слоев пробы почвы, помещают в бюксы, взвешивают, затем высушивают в термостате при температуре 105 градусов С в течение 6 часов и снова взвешивают на весах. По разнице влажной и сухой массы почвы определяют абсолютное и относительное содержание влаги в пробах почвы. По среднему для всех слоев почвы влагосодержанию устанавливают «весовую» влажность расчетного слоя почвы.

Для полевых измерений влажности почвы с целью установления сроков и норм полива сельскохозяйственных культур наиболее приемлемы переносные влагомеры, в частности, нейтронные. Так, нейтронный влагомер ВНП-1 «Электроника» предназначен для непосредственного измерения влажности почвы (рис. 1). С его помощью измеряется влажность почвы по 1—или 20-сантиметровым слоям в стационарных скважинах (без взятия проб почвы). Скважины крепятся обсадными трубами, стальными или алюминиевыми. Для измерения влажности 1 м слоя почвы в одной скважине требуется не более 5 минут.

В нейтронном влагомере ВНП-1 «Электроника» объединились элементы электроники и атомной промышленности. Заглубляемый в землю излучающий зонд, имеющий диаметр 35,6 мм, позволяет производить замеры как на незначительной глубине - всего 10 см, так и на достаточно большой - до 3 м. При этом прибор способен фиксировать довольно широкий диапазон влажности почвы, показывая результаты измерений на цифровом табло непосредственно в требуемых единицах - от 0,05 до 0,50 г/см³. На весь цикл каждого единичного замера требуется всего 30 секунд.



Рис. 1. Нейтронный влагомер ВНП-1 «Электроника»



Нейтронный влагомер:
 1 — зонд, 2 — корпус прибора, 3 —
 ручка для переноски, 4. — щиток прибо-
 ра, 5 — табло.

*Рис. 2. Элементы Нейтронного влагомера
 ВНП-1 «Электроника»*

Достаточно малая излучающая активность используемого источника нейтронов (1×10^4 нейтрон/с) делает влагомер безопасным в эксплуатации, а наличие коррекции показаний зависимости от плотности почв обеспечивает высокую точность измерений.

Благодаря небольшим габаритам (150x150x420 мм) и малой массе - всего 5,5 кг, аппарат несложно перенести в любое контрольное место, а наличие аккумуляторных батарей освобождает его от привязки к стационарным источникам питания. Одной зарядки аккумуляторов хватает на 4 тысячи единичных измерений, после чего батареи могут быть восстановлены с помощью зарядного устройства, работающего от обычной электросети напряжением 220 В.

Портативность и одноблочность исполнения, простота управления и высокая надежность - важные преимущества нейтронного влагомера. К этому следует добавить, что «Электронику ВПН-1» можно использовать и для многих других видов работ - например, при изысканиях и в процессе строительства гидромелиоративных, водохозяйственных, дорожных, промышленных и гражданских сооружений, а также при производстве строительных материалов: кирпича, асбоцементных изделий, панелей, блоков.

Имеются также стационарные приборы для определения влажности почвы. К ним относятся гипсовые датчики и тензиометры. Гипсовые датчики небольшого объема (125 куб.см) с двумя электродами, где каждый закапывается в почву на расчетную глубину и с помощью вторичного переносного прибора, подсоединяемого к электродам, измеряется электропроводность. По тарировочному графику зависимости влажности почвы от электропроводности и определяется фактическая влажность почвы. Датчики могут быть проводами соединены с центральным пультом и компьютером, который может дать команду на проведение полива.

Тензиометры измеряют всасывающее давление почвы, которое увязывается с влажностью почвы графически или с помощью уравнения связи. Тензиометры выпускаются различной конструкции: стационарные и переносные, водяные и ртутные. Наибольшее распространение в орошаемом земледелии получили водяные стационарные тензиометры.

Тензиометрический метод основан на измерении тензиометрами каркасного (матричного) потенциала почвенной влаги, обусловленного адсорбционными силами почвенного каркаса.

Потенциал почвенной влаги выражается работой, которую совершает единица количества воды в равновесной системе «почва-вода» при движении через полупроницаемую мембрану к резервуару с чистой несвязанной водой.

Полный водный потенциал ψ_t равен сумме частных потенциалов

$$\psi_t = \psi_z + \psi_s + \psi_m ,$$

где: ψ_z - гравитационный потенциал;

ψ_s - осмотический потенциал;

ψ_m - потенциал тензиометрического давления (он же капиллярно-сорбционный, каркасный, матричный).

Гравитационный потенциал выражается разностью высот между двумя точками почвенного профиля - рассматриваемой точки и точки отчета.

Осмотический потенциал имеет место в засоленных почвах. При высокой концентрации токсичных солей в почвенном растворе для нормального развития растений необходимо предполивную влажность почвы поддерживать на более высоком чем на незасоленных землях уровне. Осмотический потенциал может быть установлен при известной концентрации растворенных солей по выражению

$$\psi_s = - R T C_s ,$$

где: R - газовая постоянная, равная 82 бар. куб. см/моль.К;

T - абсолютная температура (К);

C_s - концентрация растворенного вещества, моль/куб.см.

На незасоленных почвах осмотический потенциал равен нулю, и в этом случае полный водный потенциал определяется суммой двух потенциалов - гравитационного и каркасного, причем основной вклад в энергетический баланс почвенной влаги вносит каркасный потенциал. Измерение каркасного потенциала в полевых условиях производится с помощью тензиометров.

2. Конструкция и принцип работы тензиометра

Полевые тензиометры выпускаются в основном двух конструкций: мембранного типа с пружинными вакуумметрами (АМ-20-11); датчиками давления и вакуумметрами (типа ИВД, «Иррометр», Hydratal-1000 и др.). Преимущественно полевые тензиометры изготавливаются для стационарной работы, однако имеются тензиометры переносные - типа LOCTRONIK (фирма АМЈ, Израиль).

Наибольшее распространение в орошаемом земледелии стран мира получили стационарные тензиометры с датчиками давления и вакуумметрами - это ИВД-1, ИВД-2 конструкции УкрНИИГиМ, израильской фирмы АМЈ, фирмы «Иррометр» США.

На рис. 3 представлен тензиометр «Иррометр»¹, а на рис. 4 его конструкция².



Рис. 3. Тензиометр марки «Иррометр»

¹ Использованы фотографии с сайта www.irrometer.com (дата обращения 03.02.2021).

² Использованы фотографии с сайта <https://xn--e1aaitdan9d.xn--90ais/p102602479-tenziometr-irrometer-ili.html> (дата обращения 03.02.2021).

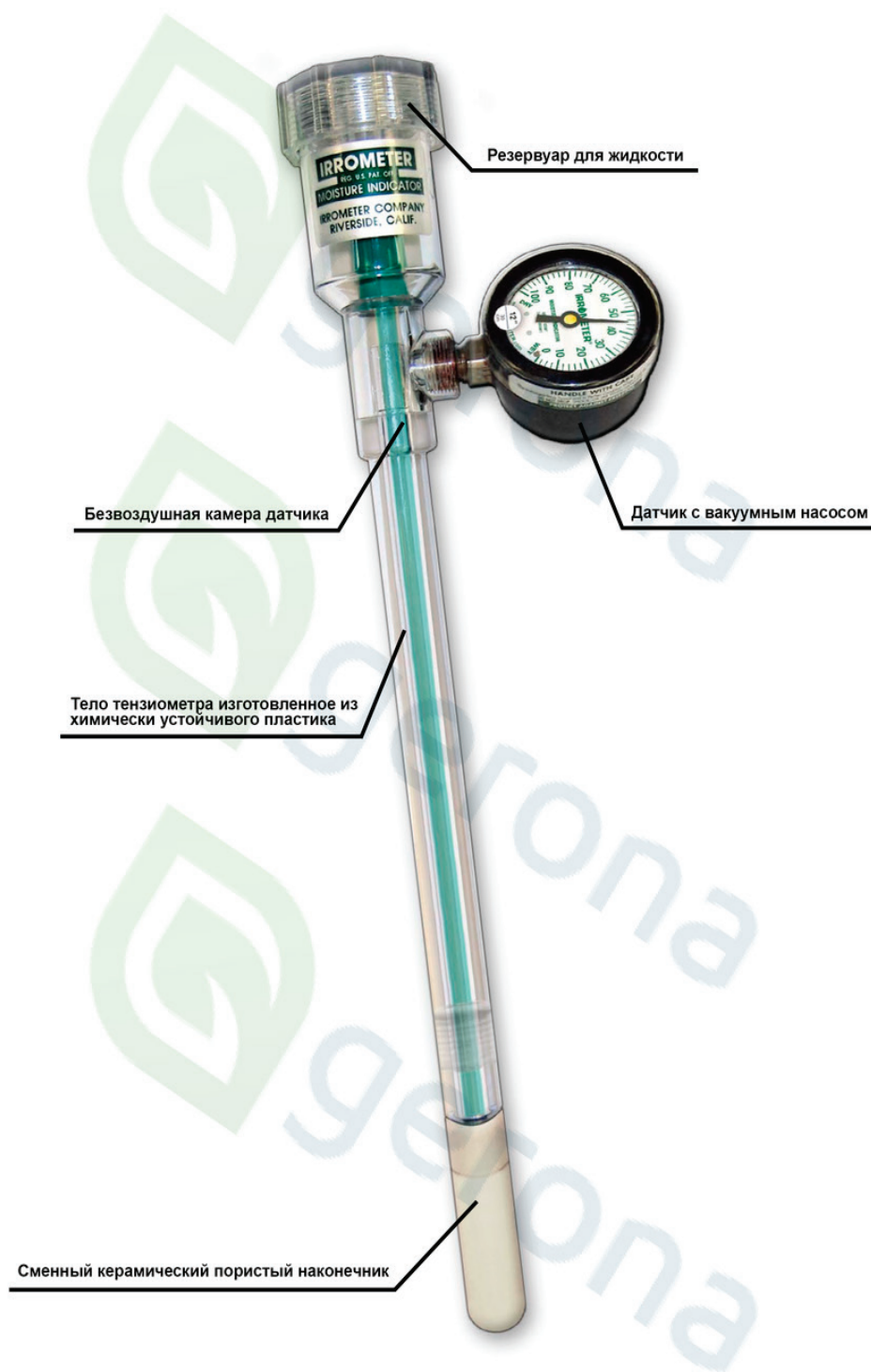


Рис. 4. Конструкция тензиометра марки «Иррометр»

В комплекте тензиометра марки «Иррометр» имеются 4 тензиометра, предназначенные на установку в почву на глубину 30, 50, 70 и 100 см, сосуд с дезинфицирующей жидкостью зеленого цвета и вакуумнасос. Шкала вакуумметра проградуирована в сантиметрах, а диапазон измерения всасывающего давления почвы составляет 0-100 сантиметр или 0-10 метров водного столба или 0-100 кПа.

На рис. 5 представлена укрупненная расшифровка шкалы вакуумметра, изложенная в инструкции прилагаемой к тензиометру³.

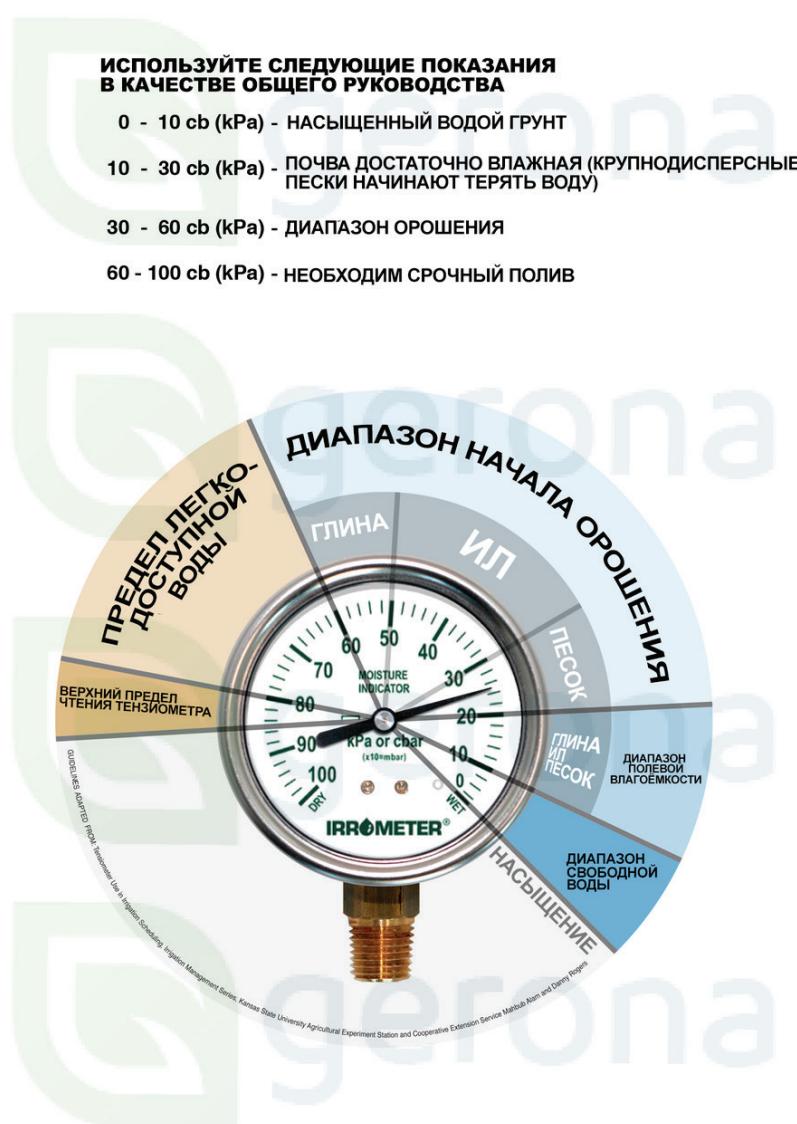


Рис. 5. Укрупненная расшифровка шкалы вакуумметра

³ Использованы фотографии с сайта <https://xn--e1aaitdan9d.xn--90ais/p102602479-tenziometr-irrometer-ili.html> (дата обращения 03.02.2021).

Работа тензиометра основана на принципе водообмена между тензиометром и почвой при различном потенциале влаги почвы. Так, если потенциал влаги почвы меньше нуля, вода из тензиометра через керамический наконечник (фильтр) будет вытекать до установления одинакового потенциала влаги в системе почва-тензиометр. Такой процесс происходит при иссушении почвы в межполивной период. После увлажнения почвы в результате поливов, когда влажность почвы достаточно быстро увеличивается, вода из почвы отсасывается тензиометром до тех пор, пока не достигнется равенство потенциалов влаги.

В аридной зоне циклы иссушения и увлажнения почвы повторяются многократно. Для надежной работы в течение вегетационного периода при таком частом опорожнении и заполнении водой тензиометра керамический фильтр с его порами размером 0,7-1 мкм не должен забиваться микроорганизмами, находящимися в почве и почвенном растворе. Это достигается заливкой тензиометров перед началом работы дистиллированной или кипяченной водой с добавлением в нее нескольких капель стерилизующей жидкости (толуол и др.).

Диапазон всасывающего давления почвы охватывает нижний предел предполивной влажности почвы и верхнюю границу - наименьшую влагоемкость (НВ) почвы. Если верхняя граница диапазона обуславливается механическим составом почвы, то нижняя граница - видом и фазой развития орошаемой культуры.

Так, для супесчаных почв величина всасывающего давления при НВ составляет 5 сантибар (0,5 метра водного столба), для тяжелосуглинистых 10 сантибар (1 метр водного столба).

Для установления нижнего предела предполивной влажности почвы традиционными методами (гравиметрическим, нейтронным) необходимо провести послойное ее измерение (по 10- или 20-сантиметровым слоям) и затем найти среднее для корнеобитаемого слоя почвы значение. Поскольку количество тензиометров ограничено - их нерационально устанавливать по профилю почвы через каждые 10-20 см - необходимо провести анализ адекватности одно- и двухточечного измерения влажности полному объему измерений: 10-кратному на глубину 1 м и по 10-сантиметровым слоям или 5-кратному по 20-сантиметровым слоям. Такой анализ необходимо провести по большому объему результатов измерений влажности почвы традиционным методом.

В таблице 1 приведены значения нижнего предела потенциала влаги для орошаемых сельхозкультур.

Таблица 1

Значения нижнего предела потенциала влаги (предполивной порог) для орошаемых сельскохозяйственных культур

Культура	Фаза развития	Всасывающее давление, кПа
Зерноколосовые (пшеница, рожь, овес, ячмень)	Посев – кущение	40-50
	Стеблевание – цветение	50-55
	Налив зерна – молочной спелости	55-65
	Созревание зерна	65-70
Кукуруза	Посев – кущение	30-40
	Выход в трубочку – выметывание метелки	40-50
	Цветение – налив зерна	50-60
	Молочная спелость – вызревание зерна	60-70
Многолетние травы (люцерна, клевер)	Кущение – 50 % цветение	30-40
Свекла	Посев – смыкание ботвы	30-40
	Формирование и созревание корнеплода	50-60
Картофель	Посадка – цветение	30-40
	Плодообразование – созревание клубней	40-50
Помидоры	Посадка – цветение	30-40
	Цветение – завязь плодов	40-50
	Плодообразование	50-60
	Созревание	60-70
Огурцы	Сев – цветение	15-25
	Цветение – завязь плодов	25-35
	Плодообразование – созревание	35-45
Капуста	Посадка рассады – образование кочана	20-30
	Формирование кочана	30-40
Хлопчатник	До цветения	55-60
	Цветение – плодообразование	55-60
	Созревание	60-70

Установлено, что с допустимой степенью точности для определения влагозапасов почвы в слое 0-70 см достаточно измерить влажность слоя 20-40 см, т.е. произвести одно измерение, а для слоя почвы 0-100 см - два измерения влажности слоев почвы 20-40 см и 60-80 см и определить их среднее значение.

Полученные результаты дают основание для назначения глубины заложения тензиометров: на автоморфных почвах и почвах переходного ряда достаточно закладывать в одном кусте два тензиометра: один на глубину 30 см, второй на глубину 70 см.

Для овощных культур, корневая система которых расположена в слое почвы 0-50 см, в предварительных точках поля рекомендуется устанавливать один 30-сантиметровый тензиометр.

Количество представительных точек установки тензиометров определяется видом орошаемой культуры и организацией орошаемой территории. Целесообразно устанавливать тензиометры на каждом поливном участке: по одному 30-сантиметровому на овощных культурах и по два - 30- и 70-сантиметровых - на участках с культурами, корневая система которых располагается в слое 0-100 см.

Для планирования мест и глубины установления тензиометров важное значение имеет способ полива сельхозкультур. Основными способами полива суходольных культур являются поверхностный (по бороздам, полосам), дождевание и капельное орошение.

Поскольку дождевание и капельное орошение обеспечивают проведение поливов с безнапорной инфильтрацией, это создает предпосылки для проведения частых поливов небольшими поливными нормами. В связи с этим расчетный увлажняемый слой почвы может быть уменьшен и на поливных участках с такими водосберегающими способами полива достаточно устанавливать по одному 30-сантиметровому тензиометру.

Для определения сроков полива культур необходимо регулярно следить за показаниями тензиометров. Срок наступления поливов назначается по показаниям тензиометров, приведенных в табл. 1.

В то же время в производственных условиях тензиометры, установленные на глубину 30 см, иногда выходят из рабочего состояния. Как установлено, это связано с иссушением верхнего слоя почвы, когда вся рабочая жидкость прибора через керамический наконечник высасывается почвой и происходит

разгерметизация тензиометра. Подобные случаи возникают при задержках с поливами, обусловленными хозяйственными причинами. Дозаправка прибора новой порцией жидкости в этом случае бесполезна, так как вследствие высокого всасывающего давления почвы прибор быстро разрядится и перестанет работать. Перезарядку тензиометра следует проводить после полива.

Тем не менее контроль влажности почвы можно проводить по показаниям тензиометра, установленного на глубину 70 см. Анализ большого числа послойных измерений влажности почвы с помощью статистических методов показывает, что с вероятностью 87,9 % и средней квадратической ошибкой 1,65 % влажность 1 м слоя почвы можно определять по показаниям тензиометра, установленного на глубину 70 см. Для этого необходимо объемную влажность почвы, соответствующую слою 60-80 см, уменьшить на 3 % и по полученному значению, пользуясь тарировочным графиком или таблицей, определить значение всасывающего давления почвы. Если оно соответствует нижнему пределу предполивной влажности, то необходимо начинать полив.

Для установления размера поливных норм необходимо иметь график зависимости всасывающего давления от влажности почвы – $P_s = f(W)$ (рис. 6). Такой график следует построить на основании полевых измерений влажности почвы гравиметрическим методом и всасывающего давления почвы тензиометрами. Поскольку поливные нормы удобно представлять в куб.м/га, влажность почвы на графике $P_s = f(W)$ рекомендуется выражать в объемных процентах. Это в свою очередь требует определения объемной массы почвы.

В представленном на рис. 6 графике показаны зависимости $P_s = f(W)$ для легких, средних и тяжелых по механическому составу почв, полученные на основе измерений на сероземных почвах. С помощью представленного графика по значению всасывающего давления определяются фактические влагозапасы в расчетном слое почвы (W_ϕ). Зная размер влагозапасов при наименьшей влагоемкости почвы ($W_{нв}$), до уровня которых необходимо пополнить влагозапасы поливом, можно рассчитать величину поливной нормы. Она будет равна разности $W_{нв} - W_\phi$, которая представляет собой дефицит влаги расчетного слоя почвы или поливную норму нетто. Умножив полученное значение на коэффициент $K = 1,10-1,20$, учитывающий потери воды при

поливах, включающие потери на испарение, фильтрацию и возможный поверхностный сброс, получают поливную норму брутто $m = (W_{\text{нв}} - W_{\text{ф}}) K$, куб.м/га

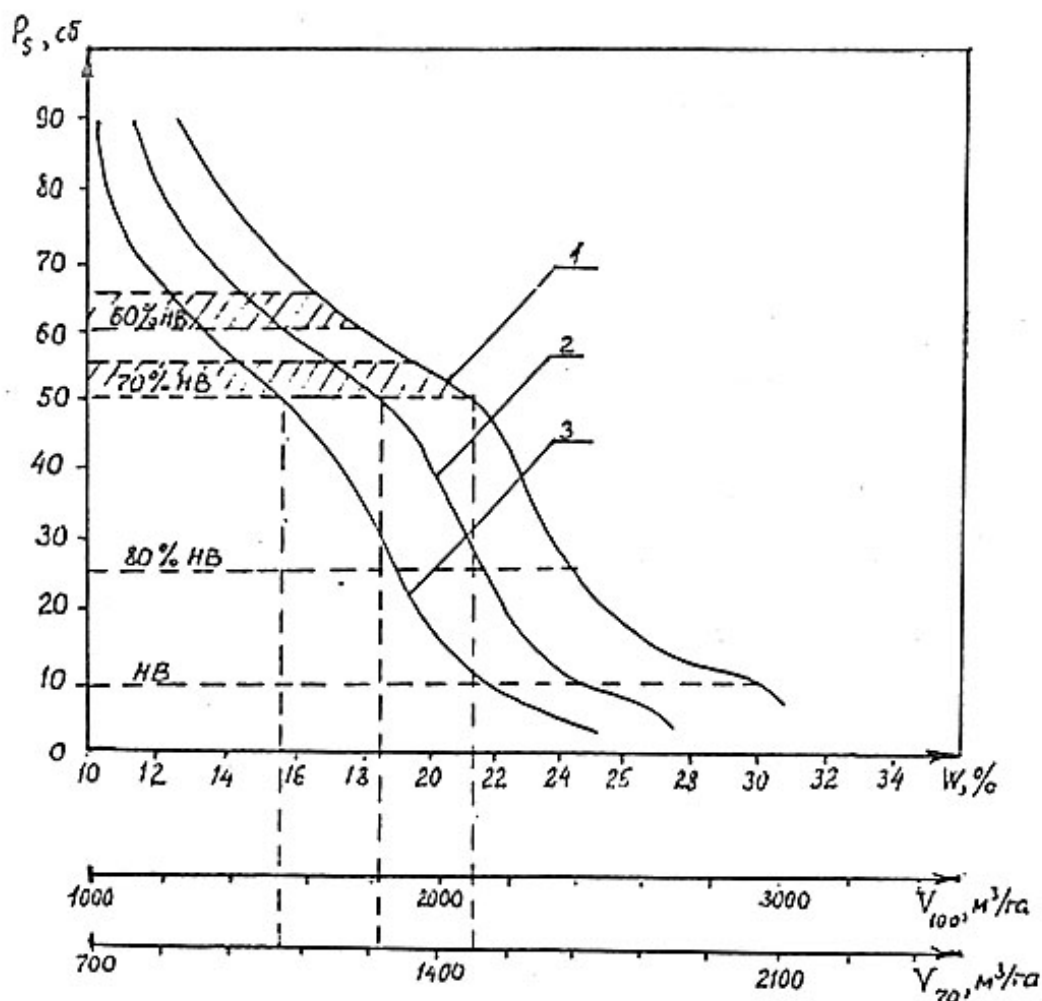


Рис. 6. Зависимость всасывающего давления (P) от объемной влажности почвы (W), где:

- 1 - тяжелый суглинок;
- 2 - средний суглинок;
- 3 - легкий суглинок (V_{70} , V_{100} - влагозапасы в слое почвы 70 и 100 см)

Тензиометры, стационарно установленные на поле, позволяют не только назначать сроки и нормы поливов, но и фиксировать срок завершения полива. Как только стрелка вакууметра начнет приближаться к значению 10-15 сантибар подачу воды на поле следует прекратить. Такая фиксация размера забранной на орошение воды позволяет проводить взаиморасчеты по поставке воды хозяйству и ее оплате.

3. Инструкция по эксплуатации тензиометров

Проверка работоспособности тензиометра.

Снимается чехол с керамического зонда, открывается крышка и водная камера тензиометра заполняется дистиллированной или прокипяченной водой, температура которой должна быть равной 18-22 градусам С. Во время заполнения водой камеры ее необходимо слегка постукивать снизу вверх для того, чтобы вытеснить воздух из керамического зонда и самой камеры.

Тензиометр устанавливается в вертикальном положении. Если стрелка вакуумметра начнет при этом равномерно двигаться от нулевого деления в сторону пониженного давления, это будет означать, что тензиометр пригоден к работе. После этого прибор опорожняется от воды и на зонд одевается чехол. Такую проверку прибора производят в лаборатории.

Перед установкой в поле опорожненные после лабораторной проверки тензиометры со снятыми чехлами необходимо опустить в сосуд с дистиллированной или прокипяченной водой на 1 час с тем, чтобы заполнить поры керамического зонда водой. После этого зонды необходимо вставить в чехлы и в таком виде перемещать тензиометры в поле.

Установка в почву и уход за тензиометрами в полевых условиях.

Обычным почвенным буром на расчетную глубину бурится скважина, которая затем на длину зонда заполняется замоченной водой вынутой из скважины почвой. В скважину помещается тензиометр, заполненный химически чистой водой с добавлением в нее толуола или другой дезинфицирующей жидкости, и затрубное пространство плотно забивается почвой. На тензиометр со снятой крышкой устанавливается вакуумнасос, с помощью которого из тензиометра откачивается воздух. После удаления воздуха тензиометр плотно закрывается крышкой. При этом вакуумметр должен находиться на высоте 4-5 см от поверхности почвы.

Тензиометр должен располагаться в створе рядка растений, если на поле возделываются пропашные культуры. Для защиты от высоких температур воздуха и попадания пыли в вакуумметр тензиометр необходимо накрывать солнцезащитным чехлом.

Снимать показания тензиометра следует через сутки после его установки, а регулярные наблюдения проводить в одно и то же

время суток, обычно утром. При установке в одной точке поля двух тензиометров расстояние между ними должно быть в пределах 0,5-1 м. Во время работы тензиометров в полевых условиях особенно при частой смене периодов опорожнения и заполнения их, обусловленных иссушением и увлажнением почвы, происходит проникновение почвенного воздуха через стенки керамического зонда и накопление его в водной камере, что вносит искажения в работу тензиометра.

Для надежной работы тензиометров необходимо 1-2 раза в месяц проводить профилактическую работу – не вынимая тензиометр из скважины, открутив крышку, долить в тензиометр чистой воды и откачав вакуумным насосом скопившийся воздух, закрутить крышку.

Демонтаж тензиометров и хранение.

После завершения периода работы тензиометр необходимо откопать и извлечь из почвы, почистить снаружи и перенести в помещение для хранения. Затем, открутив крышку, вылить из тензиометра оставшуюся жидкость, отмыть все его составные части, а керамический зонд поместить на 1-2 часа в емкость с дистиллированной водой или в 10 %-ный раствор соляной кислоты.

После промывки и последующей сушки зонд необходимо зачехлить и тензиометр уложить в ящик для хранения. Хранить тензиометр следует в сухом помещении, свободном от кислотных испарений.

Литература

1. Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. и др. Применение тензиометров // Сельское хозяйство Узбекистана. – Ташкент, 1996, - № 4. С. 7-9.
2. Безбородов Ю.Г., Безбородов А.Г. Орошение сельскохозяйственных культур в аридной зоне: Монография. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2013. – 545 с.
3. www.irrometer.com.

Содержание

Введение	3
1. Методы определения влажности почвы.....	4
2. Конструкция и принцип работы тензиометра	8
3. Инструкция по эксплуатации тензиометров	16
Литература.....	18

**Безбородов Александр Германович,
Безбородов Юрий Германович**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ
ПОРТАТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ**

Методические рекомендации

Подписано в печать 22.03.2021. Формат 60 x 84/16.
Бумага «Снегурочка». Печать ризографическая.
Усл. п.л. 2,0. Тираж 500 экз. Заказ 038

ФГБОУ ДПО РАКО АПК
Тел. 8 (495) 700-13-40
111621, Москва, ул. Оренбургская, 15 б, ком. 100-103