

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

А.Ф.СЛЯДНЕВ

МЕТОДЫ
ИЗУЧЕНИЯ
БАЛАНСА

ГРУНТОВЫХ ВОД

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ГИДРОГЕОЛОГИЯ ВА ИНЖЕНЕРЛИК ГЕОЛОГИЯСИ ИНСТИТУТИ

А. Ф. СЛЯДНЕВ

СИЗОТ СУВЛАРИ БАЛАНСИНИ ЎРГАНИШ УСУЛЛАРИ

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ НАШРИЁТИ

ТОШКЕНТ—1961

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

А. Ф. СЛЯДНЕВ

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ БАЛАНСА ГРУНТОВЫХ ВОД

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ТАШКЕНТ—1961

В работе описаны методы изучения баланса грунтовых вод хлопковых полей и динамики запасов влаги в зоне аэрации на примере Голодной степи. Приведены уравнения для баланса грунтовых вод хлопковых полей; изложены методы количественного определения элементов баланса. Описаны измерительная аппаратура и методы пользования приборами для количественного определения элементов водного баланса, солевого режима и динамики тепла в грунтах.

Книга рассчитана на гидрогеологов и мелиораторов. Это третья крупная работа автора — кандидата геолого-минералогических наук, директора Голодно-степской научно-исследовательской гидрогеологической станции Института гидрогеологии и инженерной геологии АН УзССР.

Ответственный редактор
доктор г.-м. наук *М. М. Крылов*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Январский (1961 г.) Пленум ЦК КПСС поставил задачу резко поднять урожайность всех сельскохозяйственных культур, улучшить мелиоративное состояние земель. В постановлении Пленума указывается, что в развитии производства хлопчатника и других технических культур необходимо „обратить особое внимание на повышение урожайности путем внедрения прогрессивных приемов возделывания и уборки этих культур, внедрение механизации на посеве, обработке и уборке“. Предусматривается значительное расширение посевов хлопчатника на подверженных засолению землях.

В свете этих решений основная деятельность гидрогеологов должна быть направлена на разработку гидрогеологических рекомендаций по значительному снижению уровня подземных вод, обеспечивающему полное рассоление засоленных земель.

Разработку мер борьбы с засолением земель следует начинать с изучения влагооборота, выявления элементов баланса, обуславливающих высокое стояние грунтовых вод на больших территориях.

В настоящей работе дается описание методов изучения баланса грунтовых вод для небольших территорий. В ней подробно освещаются количественные методы определения элементов баланса уравнением, предложенным А. А. Роде, в несколько измененном виде, уравнениями, выведенными А. Н. Костяковым, И. А. Шаровым, М. М. Крыловым и др.

В приложениях описываются различные измерительные приборы, предназначенные для определения физических свойств грунтов, температурных режимов в зоне аэрации и приземном слое атмосферы, для учета оросительной и сбросной воды, испарения с водной поверхности и зоны аэрации, транспирации, потерь влаги на фильтрацию из ирригационной сети. Весьма детально охарактеризованы приемы пользования этой аппаратурой. Необходимость в ее описании вызвана различиями в рельефе поверхности опытных участков (при малых уклонах поверхности применяется одна измерительная аппаратура, при больших — другая), их литологическом строении, величине расхода водотоков, глубине залегания грунтовых вод и т. д.

СОСТАВ, СОСТОЯНИЕ И СВОЙСТВА ГРУНТОВ

До составления водного баланса тщательно изучают грунты, слагающие балансовый участок: их состав, состояние и свойства. Для этого роют шурфы или бурят скважины на глубину, превышающую мощность балансового слоя на 5—8 м. При однородном строении опытного участка разведочные выработки задают на расстоянии 50—100 м друг от друга, а при пестром сложении — на 40—50 м и располагают их в шахматном порядке.

При однородном строении участков из каждой разведочной выработки через каждые 25 см по глубине берут образцы для установления механического состава грунтов, их удельного и объемного весов, пористости, солевого состава, а при неоднородном — отбирают послойно, через каждые 10—20 см по высоте.

СОСТАВ ГРУНТОВ

Породу подвергают механическому и минералогическому анализам, определяют ее удельный вес и исследуют соли, входящие в ее состав. Данные механического анализа пород представляются в виде диаграммы, характеризующей распределение фракций по глубине (рис. 1). Для большей наглядности рядом с ней помещается литологическая колонка выработки с подробным описанием пород.

Результаты исследований минералогического состава приводятся в виде таблиц или кривых, характеризующих распределение вещественного состава по глубине слоя. Определяется полный химический состав солей, входящих в породы, а материалы исследований даются в вертикальном профиле (рис. 2). В такой же последовательности обрабатываются данные по ионам и катионам солей, имеющихся

в порах грунта. Исследуется содержание и динамика солей в грунтовых водах.

Зная пространственное размещение минералов и солей в породах, солей в грунтовых и оросительных водах, а также в грунтовой воде, попадающей в балансный слой из глубоких горизонтов и смежных районов в виде бокового протока, и изучая их качественное и количественное изменения во времени, можно управлять этими процессами.

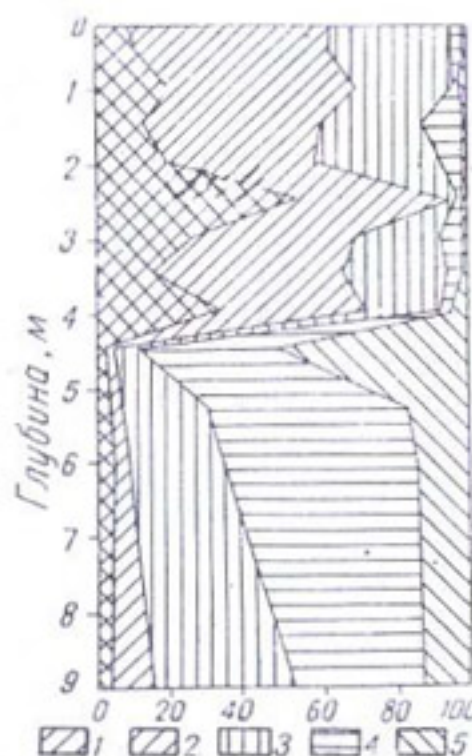


Рис. 1. Состав грунта по вертикальному профилю.
1—фракции 1—0,25 мм, 2—0,25—0,1 мм, 3—0,1—0,05 мм, 4—0,05—0,01 мм, 5—<0,01 мм.

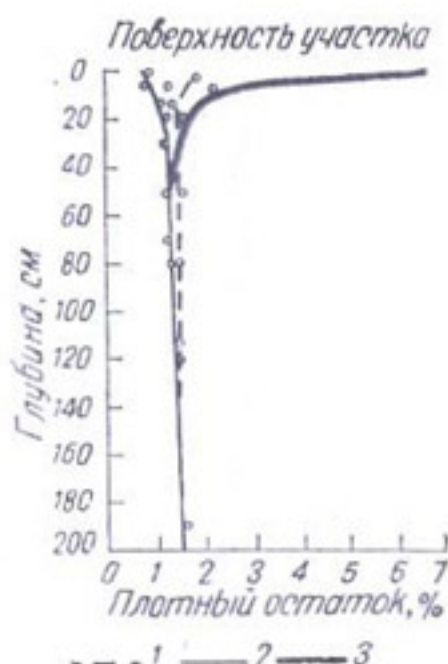


Рис. 2. Кривые распределения солей в грунтах по вертикали (первый разрез)
1—кривая за 14/V 1941 г.,
2—за 15/V, 3—за 10/X.

СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВ

Для характеристики состояния грунтов определяют удельный и объемный вес частиц пород и их пористость.

Удельный вес частиц. Берут 15—20 г грунта, высушенного до постоянного веса при температуре 105° . Грунт пересыпают в пикнометр, наливают до половины его объема водой и в течение 30 мин. кипятят. Затем в пикнометр доливают воды до черты и взвешивают, чем устанавливают также вес пикнометра, наполненного водой. Взвешивание производится при температуре $10-20^{\circ}$. Удельный вес выводится по формуле

$$\gamma = \frac{q_2}{(q_1 + q_2) - q_3}, \quad (1)$$

где q_1 — вес пикнометра с водой, г,
 q_2 — вес высушенного грунта, г,
 q_3 — вес пикнометра с водой и грунтом, г.

Для большей точности пикнометр с породой и водой помещают в вакуум с разряжением 30—40 мм рт. ст., где почти полностью удаляется воздух из породы. Иногда (в том случае, когда в порах грунта имеются воднорастворимые соли) удельный вес вычисляют в нейтральных жидкостях — керосине и т. п.

Для массовых определений удельного веса грунтов используют пипетку С. Е. Савченко.

Объемный вес влажной породы. Ртутный метод. Взвешенный кусок естественного грунта любой формы опускают в сосуд, наполненный ртутью. Вытесненную им ртуть взвешивают. Объемный вес определяют по формуле

$$\Delta = \frac{q_1 - \gamma_1}{q_2}, \quad (2)$$

где q_1 — вес естественновлажного грунта, г,
 q_2 — вес вытесненной ртути, г,
 γ_1 — удельный вес ртути (равен 13,6).

Метод парафинирования. Кусок грунта объемом около 30 см³ взвешивают трижды: до и после того, как покрывают его тонким слоем парафина, и затем — в воде.

Парафинирование производят следующим образом. Образец подвешивают на нить и дважды погружают в расплавленный парафин. Вздутия парафина на поверхности образца заглаживают нагретой иглой или проволокой.

Объемный вес влажной породы выводят по формуле

$$\Delta = \frac{q_4 \cdot \gamma_2}{q_7 \gamma_2 - q_6 - q_1}, \quad (3)$$

где q_4 — вес естественновлажного образца, г,
 q_6 — вес образца, покрытого слоем парафина, г,
 q_7 — вес образца, покрытого слоем парафина, в воде, г,
 γ_2 — удельный вес парафина (равен 0,87).

Волюметрический метод основан на измерении объема грунта специальными приборами-волюмометрами или волюмометрами Крохиной, Тетмайера и др. Наиболее точен прибор Е. И. Циплеткина.

Метод режущего цилиндра. В забое шурфа (или в его стенке) или скважины на заданной глубине стальным цилиндром отбирают образцы. В плоскости задней и передней частей цилиндра грунт срезают ножом. Цилиндр взвешивают с грунтом и без него.

Объемный вес породы определяют по формуле

$$\Delta = \frac{q_s - q_0}{V}, \quad (4)$$

где q_s — вес стакана с грунтом, г,
 q_0 — вес стакана без грунта, г,
 V — объем образца, см^3 .

Объем цилиндра вычисляется по формуле

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h, \quad (5)$$

где d^2 — внутренний диаметр, см ,
 h — высота цилиндра, см .

Метод отбора проб и описание конструкции приборов приводятся в работах как советских (Карасев, Васильев), так и зарубежных авторов.

Объемный вес сухой породы. Объемный вес сухой породы выводят по номограмме Приклонского [34] или по формуле

$$\Delta_1 = \frac{\Delta}{1 + W}, \quad (6)$$

где Δ — объемный вес породы, г/см^3 (устанавливают по одному из приведенных способов);

W — влажность породы, доли единицы.

Применяя формулу (6), объемный вес пород можно определить также объемометром нашей конструкции.

Пористость грунтов. Ее вычисляют по формулам

$$n = \frac{\gamma - \Delta_1}{\gamma}, \quad (7)$$

$$n = \frac{\gamma - \Delta_2}{\gamma}, \quad (8)$$

$$n = \frac{\gamma(1 + W) - \Delta}{\gamma(1 + W)}, \quad (9)$$

где γ — удельный вес породы;
 Δ_1 — объемный вес сухой породы, $г/см^3$;
 W — влажность грунта, доли единицы;
 Δ_2 — объемный вес влажной породы, $г/см^3$.

По данным объемного веса и пористости строятся кривые распределения этих величин по вертикали зоны аэрации и всей мощности балансового слоя (рис. 3).

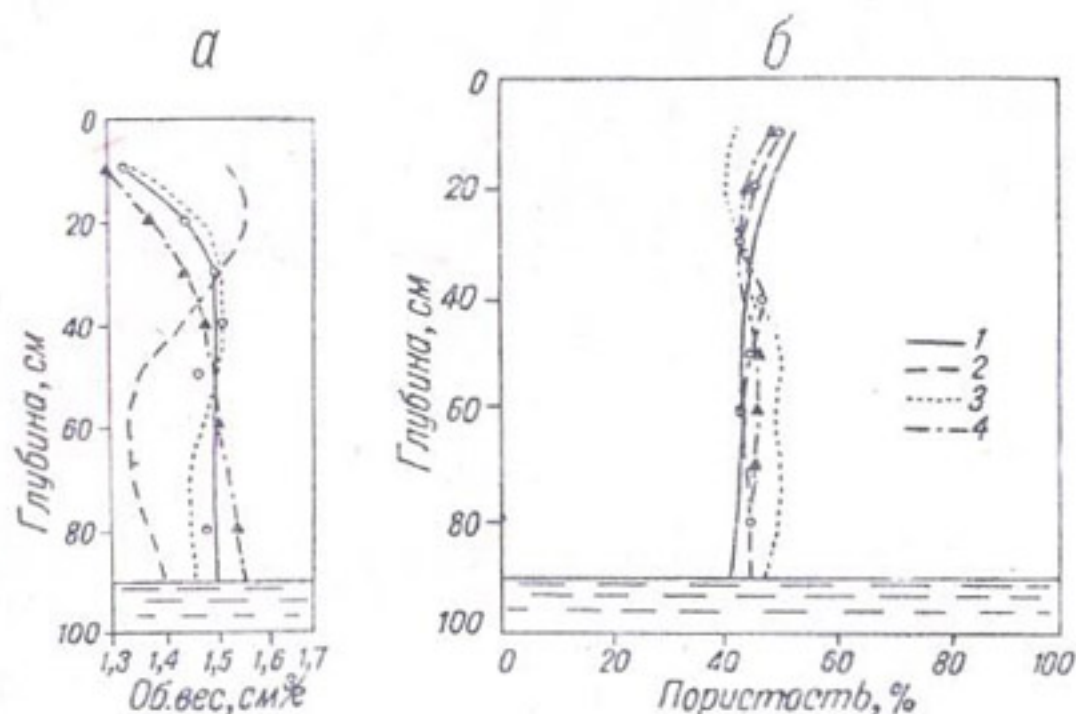


Рис. 3. Объемный вес (а) и пористость (б) пород по вертикальному профилю

а. 1—по шурфу 3, 2—по шурфу 16, 3—по шурфу 5, 4—по шурфу 1; б. 1—по шурфу 1, 2—по шурфу 3, 3—по шурфу 16, 4—по шурфу 5.

Определение пористости парафинированием образца грунта. Сухой образец (q_2) весит 203,60 г, запарафинированный (q_6) — 211,20 г; удельный вес парафина (γ_2) — 0,87, удельный вес частиц грунта — 2,60.

Погрузив запарафинированный образец грунта в воду и замерив вытесненное им количество воды, мы выявили его объем, равный 138,0 $см^3$. Зная вес использованного парафина, можно вывести его объем:

$$V = \frac{q_6 - q_2}{\gamma_2} = 8,74 \text{ см}^3.$$

Отсюда получаем объем образца грунта

$$V = V_2 - V_1 = 129,26 \text{ см}^3,$$

что дает возможность подсчитать объемный вес сухого грунта

$$\Delta_1 = \frac{q_2}{V_1} = 1,58.$$

Следовательно,

$$n = 1 - \frac{\Delta_1}{\gamma} = 0,39.$$

Определение пористости грунта, образцу которого придана правильная форма. Вырезанный образец грунта в форме параллелепипеда ($12 \times 12 \times 15$ см) весил 3,5 кг; после высушивания вес образца был равен 3,14 кг. Таким образом, влажность грунта

$$W = (3,5 - 3,14) : 3,14 = 11,5\%.$$

Объемный вес сухого грунта по отношению к его сухому весу и объему вычисляли следующим образом:

$$V = 1,2 \times 1,2 \times 1,5 = 2,16; \Delta_1 = 3,14 : 2,16 = 1,45.$$

При удельном весе частиц грунта 2,6

$$n = 1 - \frac{\Delta_1}{\gamma} = 44\%.$$

СВОЙСТВА ГРУНТОВ

К свойствам грунтов относятся полная влагоемкость, максимальная полевая влагоемкость, максимальная молекулярная влажность, влажность, соответствующая коэффициенту увядания (мертвый запас влаги), и др.

Полная влагоемкость. Полная влагоемкость представляет собой такое насыщение грунта, при котором все его поры заполнены водой. Определяется эта величина как лабораторным, так и полевым методами.

Лабораторный метод. Монолит погружают в ванну. После полного его капиллярного насыщения уровень воды в ванне доводят до уровня верхнего основания образца. Насыщение производят до постоянного веса. Образец вынимают из ванны, высушивают до постоянного веса и по разности двух взвешиваний определяют полную влагоемкость.

Этот метод, видимо, дает заниженные величины по следующим причинам:

1) после 3—5-минутного перерыва из макропор грунта вытекает часть гравитационной воды,

2) при насыщении в порах грунта остается некоторая доля защемленного воздуха.

Полевой метод. В стенках пройденного шурфа ниже горизонта грунтовых вод цилиндром берут монолиты пород. После извлечения из воды стакан вытирают сухой, мягкой тряпкой. Заподлицо с торцов цилиндра обрезают породу, затем высушивают до постоянного веса и по разности двух взвешиваний определяют полную влагоемкость.

Анализы подобных исследований по опытному участку в Голодной степи приведены ниже.

<i>Номер опре- деления</i>	<i>Пористость, %</i>	<i>Полная влагоем- кость, %</i>
1	49,2	47,8
2	50,2	48,6
3	50,8	50,1
4	49,7	50,2
5	51,1	48,8
Среднее	50,2	49,1

Максимальная полевая влагоемкость. Максимальной полевой влагоемкостью считается такое количество воды в зоне аэрации, которое способно удерживаться в грунтах после свободного стока гравитационной воды.

При орошении полей не нужно увлажнять почву выше максимальной капиллярной влагоемкости, что, к сожалению, в условиях обычной эксплуатации орошаемого хозяйства часто наблюдается. Неизбежное следствие такого явления — повышение горизонта грунтовых вод, вторичное засоление и прочие осложнения, понижающие эффективность ирригационной системы.

Максимальная полевая влагоемкость в пределах капиллярной каймы находится в функциональной зависимости от положения уровня грунтовых вод. Она может быть определена методом элементарных площадок и исследованием профиля влажности в грунтах зоны аэрации на второй и третий день после полива.¹

В первом случае на участке, сложенном однородными грунтами, устраивается ряд совершенно изолированных горизонтальных площадок, обнесенных валиками. На каждую площадку дается заведомо преувеличенная норма полива (примерно из расчета $2000 \text{ м}^3/\text{га}$). Чтобы устранить испаре-

¹ При мощности зоны аэрации не более высоты капиллярного поднятия в породах.

ние с поверхности участка, площадка покрывается слоем соломы в 20—30 см. Содержание влаги в зоне аэрации покажет величину максимальной полевой влагоемкости при данном положении уровня грунтовых вод. В результате ставившихся по указанной методике опытов получены данные, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Глубина, см	Объемная влажность, %	Объем породы, м ³	Объем воды по поясам, м ³	Объемная влажность, %	Объем породы, м ³	Объем воды по поясам, м ³	Объемная влажность, %	Объем породы, м ³	Объем воды по поясам, м ³	Объемная влажность, %	Объем породы, м ³	Объем воды по поясам, м ³
0—10	44,0	0,1	0,0440	36,0	0,1	0,0360	35,0	0,1	0,0840	34,0	0,1	0,0340
10—20	45,0	0,1	0,0450	38,0	0,1	0,0380	37,1	0,1	0,0351	36,2	0,1	0,0350
20—30	46,0	0,1	0,0460	39,5	0,1	0,0395	39,0	0,1	0,0360	38,0	0,1	0,0360
30—40	46,5	0,1	0,0465	41,0	0,1	0,0410	40,0	0,1	0,0380	39,2	0,1	0,0372
40—50	47,0	0,1	0,0470	42,3	0,1	0,0423	41,0	0,1	0,0400	40,2	0,1	0,0380
50—60	—	—	—	43,5	0,1	0,0435	42,0	0,1	0,0410	41,0	0,1	0,0400
60—70	—	—	—	45,0	0,1	0,0450	42,8	0,1	0,0418	42,0	0,1	0,0410
70—80	—	—	—	46,0	0,1	0,0460	43,5	0,1	0,0425	42,5	0,1	0,0415
80—90	—	—	—	47,2	0,1	0,0472	44,0	0,1	0,0430	43,0	0,1	0,0420
90—100	—	—	—	48,0	0,1	0,0480	44,7	0,1	0,0435	43,5	0,1	0,0425
100—110	—	—	—	—	—	—	45,1	0,1	0,0451	44,0	0,1	0,0440
110—120	—	—	—	—	—	—	46,0	0,1	0,0460	44,5	0,1	0,0445
120—130	—	—	—	—	—	—	46,2	0,1	0,0462	44,8	0,1	0,0448
130—140	—	—	—	—	—	—	45,5	0,1	0,0465	45,0	0,1	0,0450
140—150	—	—	—	—	—	—	47,0	0,1	0,0470	45,2	0,1	0,0452
150—160	—	—	—	—	—	—	—	0,1	—	45,5	0,1	0,0455
160—170	—	—	—	—	—	—	—	0,1	—	45,8	0,1	0,0458
170—180	—	—	—	—	—	—	—	0,1	—	46,0	0,1	0,0460
180—190	—	—	—	—	—	—	—	0,1	—	46,1	0,1	0,0461
190—200	—	—	—	—	—	—	—	0,1	—	46,2	0,1	0,0462

Полевая влагоемкость (м³/га) бывает различной в зависимости от глубины залегания грунтовых вод: при 50 см она равна 2285, при 100 см — 4262, при 150 см — 6267, при 200 см — 8382.

Нанося эти данные на координатную систему, можно получить прямолинейную зависимость между максимальной полевой влагоемкостью и глубиной залегания грунтовых вод, которая будет выражаться уравнением

$$y = 41,84x + 187,52, \quad (10)$$

где x — расстояние от поверхности земли до грунтовых вод, см;

y — содержание влаги в зоне аэрации, м³/га.

Полевая влагоемкость на опытном участке определялась путем исследования влаги в грунтах зоны аэрации через 2—4 дня после поливов. Запасы влаги в зоне аэрации ($\text{м}^3/\text{га}$) были различными в зависимости от глубины залегания грунтовых вод: при 50 см — 2300, при 100 см — 3510, при 120 см — 5310, при 150 см — 6990, при 200 см — 8600.

Зависимость между максимальной полевой влагоемкостью и глубиной залегания грунтовых вод изображается уравнением

$$y = 40x + 360, \quad (11)$$

где значение x и y аналогично тому, что в уравнении (10).

Зная кривые распределения полевой влагоемкости по глубине залегания грунтовых вод, легко построить кривую зависимости максимального содержания влаги в метровом слое от глубины залегания грунтовых вод, которая математически представляется в следующем виде:

$$y = 0,0008722x^2 - 7,3363715x + 15509, \quad (11a)$$

где y — расстояние от поверхности земли до грунтовых вод, см;

x — запас влаги в метровом слое, $\text{м}^3/\text{га}$.

Водоудерживающие свойства грунтов в пределах капиллярной зоны. Вследствие испарения воды с почв и потерь ее на транспирацию растительного покрова в капиллярной зоне, в особенности в верхнем 100-сантиметровом слое, создается дефицит влаги. Вода по капиллярам не успевает поступать в верхнюю часть зоны аэрации и компенсировать ее расход на испарение и транспирацию.

Дефицит в пределах капиллярной зоны зависит от положения уровня грунтовых вод (табл. 2).

В целях экономии оросительной воды и минеральных удобрений, а также предотвращения подъема уровня подземных вод поливные нормы должны рассчитываться с учетом этих водоудерживающих свойств грунтов и не превышать в зоне капиллярной каймы (глубина до грунтовых вод 3,0—3,5 м) 900—960 $\text{м}^3/\text{га}$.

Скорость капиллярного движения воды в грунтах и высота поднятия. Скорость капиллярного поднятия воды в грунтах изучается в колонках, заполненных монолитами, а высота поднятия подсчитывается по формулам и определяется в приборах методами высоких колонн и отрыва с использованием капиллярометров. Некоторые данные по высоте капиллярного поднятия воды в грунтах (см) представлены ниже.

<i>Порода</i>	<i>Высота поднятия</i>
Глина	600—700
Суглинок тяжелый	400
Суглинок средний	360
Суглинок легкий	280
Супесь тяжелая	250
Супесь средняя	200
Супесь легкая	140
Песок мелкозернистый	120
Песок среднезернистый	70
Песок крупнозернистый	30

Т а б л и ц а 2

Глубина до грун- товых вод, см	По А. Ф. Слядне- ву	По В. М. Легостаеву и Б. С. Конькову	
	водоудерживаю- щая способность 100-сантиметрово- го слоя, м ³ /га	подъем грунтовой воды от поливных норм, см	
		700 м ³ /га	1000 м ³ /га
100	350	38	55
120	460	33	49
140	570	28	43
160	650	23	37
180	760	19	30
200	820	14	23
220	880	8	17
240	930	3	10
260	970	—	4
280	990	—	—
300	1000	—	—
320	1030	—	—
340	1070	—	—
360	1090	—	—
380	1274	—	—
400	1274	—	—

Максимальная молекулярная влажность грунтов. Максимальная молекулярная влажность грунтов выясняется методом высоких колонн — для несвязанных грунтов и методами центрифугирования (пленочного равновесия) — для связанных. В табл. 3 приводятся данные по величине максимальной молекулярной влажности грунтов, полученные Н. В. Поляковым [см. работу В. А. Трамбачева, 36].

С уменьшением диаметра фракций максимальная молекулярная влажность увеличивается.

Коэффициент увядания. Максимальным содержанием влаги в почве следует считать полевую влагоемкость. Большее количество воды будет заведомо излишним и создаст неблагоприятные условия аэрации.

Т а б л и ц а 3

Почва	Диаметр частиц, мм	Максимальная молекулярная влажность, %
Грубый песок	1—0,5	1,57
Средний песок	0,5 — 0,25	1,60
Мелкий песок	0,25—0,10	2,73
Очень мелкий песок	0,10—0,05	4,75
Ил	0,05—0,005	10,18
Глина	<0,005	44,85

Т а б л и ц а

Почва	Коэффициент увядания, %		
	по Этчеке-ри	по Трамбачеву	по Бригсу
Гребной песок	0,9	—	0,9
Мелкий песок	1,5— 2,3	3	2,6
Песчаный суглинок	3,5— 6,3	5	—
Тонкопесчаный суглинок	6,5— 7,5	—	—
Суглинок	7,8— 9,6	8	4,8
Глинистый суглинок	11,8—13,2	11	9,7
Тяжелая глина	—	14	16,3
Глина	—	—	13,9

Примечание. Данные взяты из работы В. А. Трамбачева [36].

Минимальное количество воды, которое может быть допустимо в грунтах при орошении, для различных почв различно и соответствует той влажности в почве, которая недоступна растению и которую называют коэффициентом увядания. Для различных грунтов он имеет неодинаковое значение (табл. 4).

По Бригсу, все растения, выращенные на одной и той же почве, независимо от экологического типа, возраста, влажности, внешних условий имеют один и тот же коэффи-

циент увядания. Следовательно, его величина не зависит от индивидуальных особенностей растения, а обуславливается исключительно свойствами самой почвы.

РЕЖИМ ГРУНТОВЫХ ВОД

Стационарная сеть. После тщательного изучения материальной среды (состава, состояния и свойств) организуются весьма детальные наблюдения за режимом уровня грунтовых вод. По данным разведочных выработок и замера уровня воды в них, устанавливается направление их движения на тот или иной характерный период. Затем по направлению движения грунтового потока и по краям опытных массивов задаются наблюдательные створы. Для того чтобы увязать режим подземных вод опытных районов с режимом грунтовых вод на смежных участках, стационарные створы продолжают в глубь этих соседних районов.

Оборудование стационарных скважин. Стационарные скважины временного назначения при устойчивых породах крепятся сверху короткими трубами или трубы в скважинах опускаются под горизонт грунтовых вод. Если грунт оплывает, обсадные трубы опускаются на всю глубину пробуренной скважины. Для крепления используются железные перфорированные трубы с гравийным фильтром. Скважины могут крепиться (обсаживаться) и трубами из асбеста. Выпускаемые заводами короткие 2—3-метровые асбестовые трубы на стыках соединяются жестяными муфтами. Нижняя, рабочая часть трубы делается дырчатой. Все стационарные скважины закрываются крышками.

Чистка скважин производится желонками. Наиболее проста желонка конструкции Ф. Ю. Бондаренко, дающая хорошие результаты при эксплуатации.

Стационарные скважины, которые бурятся для ведения наблюдений за режимом грунтовых вод на протяжении ряда лет, оборудуются следующим образом (рис. 4). Бурят-

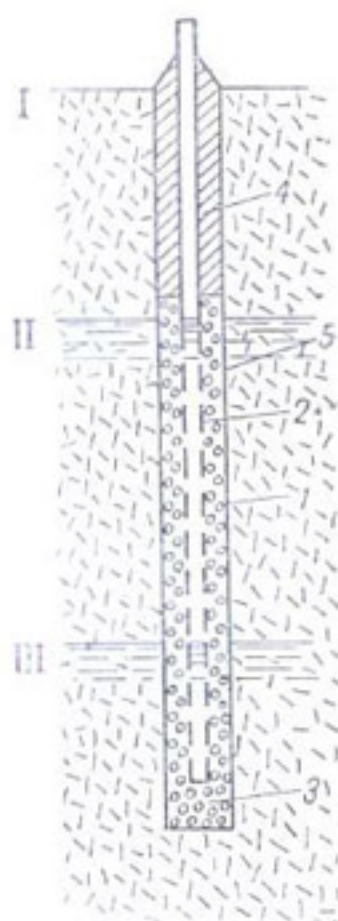


Рис. 4. Конструкция фильтра стационарной скважины.

1—поверхность земли, II—максимальный и III—минимальный горизонты грунтовой воды. 1—скважина внешняя, 2—фильтр дырчато-сетчатый или каркасно-стержневой, 3—гравий, 4—глинистая обсыпка, 5—гравийный фильтр.

ся и обсаживаются железной трубой скважины диаметром, на 15—20 см большим опускаемого в нее фильтра, на 3—5 м под минимальный горизонт грунтовых вод. На дно скважины слоем 30—35 см насыпается гравий. На его поверхность устанавливается дырчато-сетчатый или каркасно-стержневой фильтр. После подсыпки гравия в межтрубное пространство обсадная труба медленно поднимается, а фильтр остается на месте. В такой последовательности сооружается фильтр до максимального стояния уровня грунтовых вод. Межтрубное пространство выше максимального положения уровня грунтовых вод засыпается глиной и трамбуется. Над устьем скважины, непосредственно вокруг трубы, для того чтобы в нее не попадала дождевая или оросительная вода, делается возвышение.

БАЛАНСОВОЕ УРАВНЕНИЕ ХЛОПКОВОГО ПОЛЯ

Баланс грунтовых вод и влаги в зоне аэрации хлопкового поля изучается по уравнению

$$B_1 - B_0 = (П_1 + П_2 + П_7) - (P_{н_1} + P_{н_2} + P_1 + P_h + P_T), \quad (12)$$

где B_0 — запас влаги в балансовом слое H в начале единицы времени¹, $м^3/га$;

B_1 — запас влаги в балансовом слое H в конце единицы времени, $м^3/га$;

$П_1$ — атмосферные осадки, $м^3/га$;

$П_2$ — поверхностный приток оросительной воды, $м^3/га$;

$П_7$ — приток воды в балансовый слой H снизу под влиянием как гидростатики, так и капиллярных сил, $м^3/га$;

$P_{н_1}$ — суммарные потери атмосферной влаги до ее проникновения в грунт, $м^3/га$;

$P_{н_2}$ — суммарные потери оросительной воды до ее проникновения в грунт, $м^3/га$;

P_1 — отток влаги через балансовый слой вниз под влиянием гидростатики и капиллярных сил, $м^3/га$;

P_h — потери влаги на испарение, $м^3/га$;

P_T — потери влаги на процессы транспирации, $м^3/га$.

Уравнение (12) на период выпадения атмосферных осадков имеет следующий вид:

$$B_1 - B_0 = (П_1 + П_7) - (P_{н_1} + P_1). \quad (13)$$

¹ Единицей времени может быть пятидневка, декада и балансовый период, состоящий из нескольких дней.

В уравнении (13) Π_7 и P_1 могут быть, но могут и отсутствовать. На время полива уравнение (12) будет таким:

$$B_1 - B_0 = \Pi_2 - (P_{\text{н}} + P_1). \quad (14)$$

В межполивной период оно выглядит так:

$$B_1 - B_0 = \Pi_7 - (P_1 + P_{\text{н}} + P_{\text{т}}). \quad (15)$$

В уравнении (15) Π_7 и P_1 могут отсутствовать.

Балансовое уравнение (12) относится к балансовому слою H (рис. 5). Его верх (a, b, c, d) — поверхность хлопкового поля; низ (a_2, b_2, c_2, d_2) условно задается на 50—100 см ниже минимального горизонта грунтовых вод. Такое допущение делается для облегчения вычислений в балансовых расчетах. В вертикальном разрезе балансового слоя всегда будут две зоны с различным содержанием воды в них: сверху — зона аэрации (h), внизу — зона грунтовых вод (h_1). Те движения влаги, солей и тепла во времени, которые вызываются как внутренними, так и внешними факторами в этих зонах, рассматриваются как единый процесс.

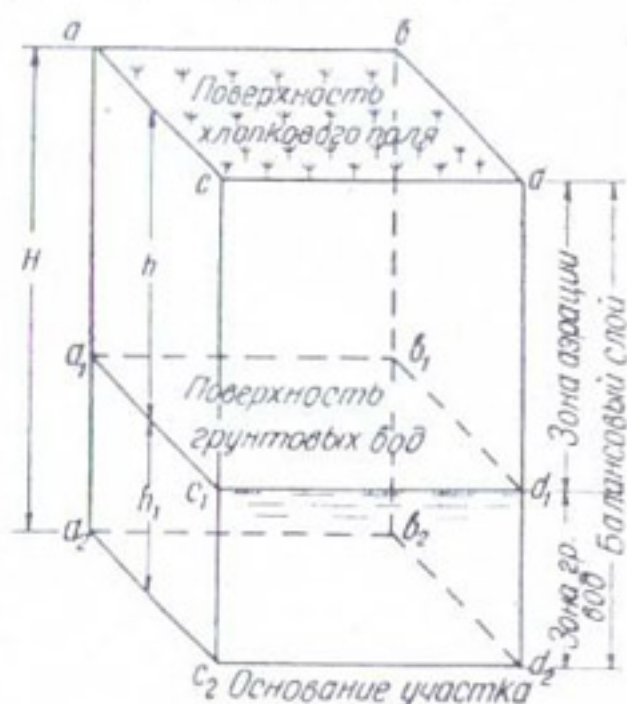


Рис. 5. Разрез балансового слоя

ЭЛЕМЕНТЫ БАЛАНСОВОГО УРАВНЕНИЯ

Запасы влаги в балансовом слое

Запас влаги B_0 в балансовом слое H в начале единицы времени t , состоящий из запаса влаги в зоне аэрации q_1 и запаса влаги в зоне грунтовых вод q_2 , определяется в такой последовательности. В начале пятидневки, декады или балансового периода замеряется мощность зоны аэрации h (расстояние от поверхности земли до горизонта грунтовых вод). Зная h по разности $H - h$, устанавливают мощность зоны грунтовых вод h_1 (H определяется расстоянием от

поверхности земли до минимального положения уровня грунтовых вод плюс 50—100 см).

Одновременно с замером уровня грунтовых вод стационарными влагомерами или методом отбора проб вычисляется влага в зоне аэрации h . По данным этих замеров строится кривая распределения влаги как в зоне аэрации, так и во всем балансовом слое H , по которой подсчитывается запас влаги вначале в зонах h и h_1 , а затем — в слое H .

Запас воды в зоне аэрации вычисляется по поясному методу. Для этого зона h разбивается на 10—20-сантиметровые пояса. В пределах каждого из них влага подсчитывается по формуле

$$q'_1 = h' F V_1, \quad (16)$$

где q'_1 — количество воды в 10-сантиметровом слое, $\text{м}^3/\text{га}$;

h' — высота пояса, м ;

F — площадь опытного поля, га ;

V_1 — средняя объемная влажность грунта в поясе h' , в долях единицы.

Пример. $h' = 0,1 \text{ м}$, $F = 1,0 \text{ га}$, $V_1 = 0,30$.

$$q'_1 = 0,1 \times 100 \times 100 \times 0,3 = 300 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Весь запас влаги в зоне h подсчитывается по формуле

$$q_1 = (q'_1 + q'_2 + \dots + q'_n), \quad (17)$$

где $q'_1, q'_2, \dots, q'_n$ — количество воды в соответствующих поясах зоны аэрации.

В табл. 5 приводятся данные для подсчета запаса влаги в зоне аэрации.

Запас влаги в зоне аэрации при перемежающихся комплексах определяется по формуле

$$q_1 = \frac{W_1 h_1 P_1 + W_2 h_2 P_2 + \dots + W_n h_n P_n}{h_1 P_1 + h_2 P_2 + \dots + h_n P_n}, \quad (17a)$$

где q_1 — запас влаги в зоне аэрации;

$W_1, W_2, \dots, W_n$ — весовая влажность почвы, % для первого, второго и т. д. слоев грунта, считая от поверхности земли вниз;

$P_1, P_2, \dots, P_n$ — объемные веса почвы;

$h_1, h_2, \dots, h_n$ — толщина соответствующих слоев почвы, см;

h — мощность зоны аэрации.

В табл. 6 приводятся цифры для расчета.

$$q_1 = \frac{5,8 \cdot 0,98 \cdot 5 + 6,9 \cdot 1,04 \cdot 5 + 8,1 \cdot 1,12 \cdot 10 + 13,7 \cdot 1,34 \cdot 16 + 15,8 \cdot 1,42 \cdot 14}{0,98 \cdot 5 + 1,04 \cdot 5 + 1,12 \cdot 10 + 1,34 \cdot 16 + 1,42 \cdot 14} = 12,09\%.$$

Таблица 5

Запас влаги в зоне аэрации h подсчитывается по формуле

$$q_1 = 0,1 (W_1 P_1 h_1 + W_2 P_2 h_2 + \dots + W_n P_n h_n). \quad (176)$$

Пример. $q_1 = 0,1 (5,80 \times 0,98 \times 5 + 6,9 \times 1,04 \times 5 + 8,1 \times 1,12 \times 10 + 13,7 \times 1,34 \times 16 + 15,8 \times 1,42 \times 14) = 762,94 \text{ м}^3/\text{га}.$

Устанавливается зависимость между общим содержанием воды в грунтах зоны аэрации и ее мощностью на разные периоды года, а также до и после полива (рис. 6).

Запас жидкой влаги в зоне грунтовых вод q_2 выводится таким образом. Вначале замеряется уровень грунтовых вод в выработке (шурфе, скважине), т. е. выявляется мощность зоны аэрации h , затем определяется толщина слоя воды в зоне грунтовых вод по разности между мощностью балансового слоя H и мощностью зоны аэрации h :

$$h_1 = H - h.$$

Запас воды в зоне грунтовых вод вычисляется по формуле

$$q_2 = n F h_1, \quad (18)$$

Пояс зоны	Глубина, см	Средняя объемная влаж- ность пояса, в долях единицы	Содер- жание воды в поясе, м ³ /га
1	0—10	0,24	240
2	10—20	0,31	310
3	20—30	0,36	360
4	30—40	0,89	390
5	40—50	0,41	410
6	50—60	0,44	440
7	60—70	0,45	450
8	70—80	0,46	460
9	80—90	0,47	470
10	90—100	0,48	480
11	100—110	0,49	490
12	110—118	0,49	392
Всего		0,42	4892

где n — пористость грунта, в долях единицы;
 F — площадь опытного поля, га;
 h_1 — мощность зоны грунтовых вод, м.

Таблица 6.

Мощность слоя, см	Мощность зоны h , см	P , г/см ³	W , % от веса	Объемная влажность, %	Влага, м ³ /га
0—5	5	0,98	5,8	5,68	28,42
5—10	5	1,04	6,9	7,18	35,88
10—20	10	1,12	8,1	9,07	90,70
20—36	16	1,34	13,7	18,36	293,76
36—50	14	1,42	15,8	22,44	314,16
Всего					762,94

Пример. $q_2 = 0,49 \times 100 \times 100 \times 1,0 = 4900$ м³/га.

Запас влаги в балансовом слое H в начале единицы времени (B_0) определяется как сумма $q_1 + q_2$, т. е. $B_0 = q_1 + q_2$.

Аналогичный подсчет влаги производится и в конце балансового периода для определения B_1 .

Атмосферные осадки

Атмосферные осадки (элемент Π_1) замеряются дождемером на высоте 2 м от поверхности земли. Для этих целей на поле монтируется метеорологическая станция.

Та часть атмосферной влаги, которая испаряется до проникновения в грунт (элемент P_{n_1}), вычисляется по формуле

$$P_{n_1} = \Pi_1 - (q_h + q_{h_1}), \quad (19)$$

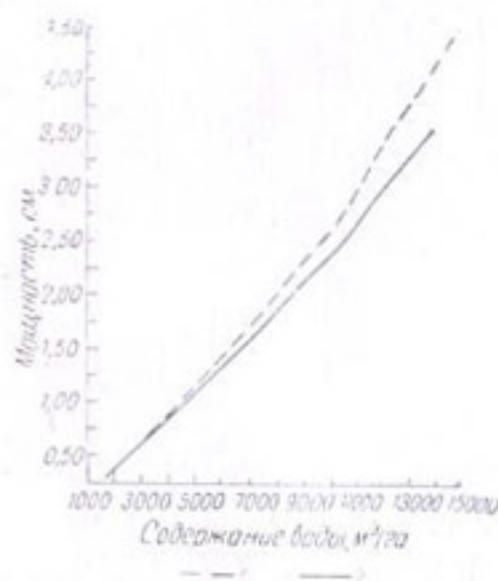


Рис. 6. Зависимость между содержанием влаги в зоне аэрации и ее мощностью.
 1 — кривая для послеполivного периода и второй половины междуполivных периодов, 2 — для третьего дня после полива.

где Π_1 — количество атмосферной влаги, замеренной дождемером на высоте 2 м от поверхности земли, $\text{м}^3/\text{га}$;

q_h — количество атмосферной влаги, накопленной за время выпадения осадков в зоне аэрации h , $\text{м}^3/\text{га}$ (определяется методом отбора проб и анализом влаги в них или учитывается стационарными влагомерами);

q_{h_1} — количество атмосферной влаги, накопленной в зоне грунтовых вод h_1 за время выпадения осадков и замеренной испарителем-лизиометром, $\text{м}^3/\text{га}$.

Общий количественный учет атмосферной влаги на опытном поле ведется по формуле

$$\Pi_1 = (q_h + q_{h_1} + P_1 + P_2 + P_3 + P_4), \quad (20)$$

где Π_1 — атмосферные осадки, замеряемые дождемером на высоте 2 м, $\text{м}^3/\text{га}$;

q_h — влага, поданная в зону аэрации h за время выпадения осадков t , $\text{м}^3/\text{га}$;

q_{h_1} — влага, накопленная в зоне грунтовых вод h_1 за время выпадения осадков t , $\text{м}^3/\text{га}$;

P_1 — отток грунтовых вод вниз за балансовый слой, образованный за счет атмосферных осадков, $\text{м}^3/\text{га}$;

P_2 — поверхностный сток от атмосферных осадков, $\text{м}^3/\text{га}$;

P_3 — влага от атмосферных осадков, задерживаемая растительным покровом, $\text{м}^3/\text{га}$;

P_4 — влага от атмосферных осадков, испаряющаяся до проникновения в грунт, $\text{м}^3/\text{га}$.

В уравнении (20) Π_1 замеряется дождемером, q_h — стационарными влагомерами или отбором проб грунта до и после выпадения осадков и анализом влаги в них, P_1 — испарителем-лизиометром, P_2 — водомерами различных систем, P_3 — почвенным дождемером (см. приложение 2).

P_4 определяется из уравнения (20). Заменяя в уравнении (20) сумму элементов $q_h + q_{h_1}$ через K_h , а расходную часть $P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ через P_h , получим:

$$\Pi_1 = K_h + P_h, \quad (21)$$

где K_h — атмосферная влага, которая проникает под поверхность земли, $\text{м}^3/\text{га}$;

P_h — атмосферная влага, которая расходуется преимущественно на испарение до проникновения в грунт и отток в глубокие горизонты, $\text{м}^3/\text{га}$.

Вследствие того что атмосферных осадков в Голодной степи мало (до 400 мм), оттока атмосферной влаги за пределы балансового слоя не наблюдается. Не бывает и поверхностного стока. Элемент P_4 исключается как не имеющий практического значения.

После таких допущений уравнение (20) принимает вид

$$П_1 = q_h + q_{h_1} + P_4, \quad (22)$$

или

$$П_1 = (q_h + q_{h_1}) + P_h. \quad (23)$$

Из уравнений (22) и (23) вычисляются потери атмосферной влаги до ее проникновения в грунт:

$$P_h = П_1 - K_h, \quad (24)$$

или

$$P_h = П_1 - (q_h + q_{h_1}), \quad (25)$$

или

$$P_h = П_1 - (q_h + q_{h_1} + P_1). \quad (26)$$

В другом случае P_h можно определить из уравнения

$$P_h = П_1 - (B_1 - B_0), \quad (27)$$

где B_0 — запас влаги в балансовом слое H до выпадения атмосферных осадков;

B_1 — то же, после выпадения атмосферных осадков.

Методы определения этих элементов уже изложены. Работа лизиметров и испарителей при учете осадков контролируется уравнением (12).

Подъем грунтовых вод от атмосферных осадков устанавливается таким образом:

$$\Delta h = \frac{q_{h_1}}{\delta}.$$

Оросительная вода

Поверхностный приток оросительной воды (элемент $П_2$) учитывается насадками, лотками и водосливами различных систем с применением самописцев (см. приложение 3).

Та ее часть (элемент P_n), которая испаряется до проникновения в грунт балансового слоя, определяется по формуле

$$P_n = \Pi_2 - (q_h + q_{h_1} + P_1), \quad (28)$$

где Π_2 — поверхностный приток оросительной воды, $\text{м}^3/\text{га}$;
 q_h — количество оросительной воды, накопленной за время полива в зоне аэрации, $\text{м}^3/\text{га}$;
 q_{h_1} — то же, в зоне грунтовых вод h_1 , $\text{м}^3/\text{га}$;
 P_1 — общий отток из балансового слоя вниз за время полива, $\text{м}^3/\text{га}$.

Количественный учет всей оросительной воды за каждый полив ведется по формуле

$$\Pi_2 = (q_h + q_{h_1} + P'_1) + (P_1 + P_2 + P_3 + P_4), \quad (29)$$

где Π_2 — поверхностный приток оросительной воды, по-
данной за один полив, $\text{м}^3/\text{га}$;
 q_h — количество оросительной воды, накопленной в зоне
аэрации h за один полив, $\text{м}^3/\text{га}$;
 q_{h_1} — количество оросительной воды, возникшей в зоне
грунтовых вод h_1 за время одного полива, $\text{м}^3/\text{га}$;
 P'_1 — общий отток оросительной и капиллярной воды
вниз, за пределы балансового слоя, $\text{м}^3/\text{га}$;
 P_1 — потери влаги на транспирацию хлопчатника за
время полива, $\text{м}^3/\text{га}$;
 P_2 — поверхностный сток оросительной воды, $\text{м}^3/\text{га}$;
 P_3 — испарение с валиков за время полива, $\text{м}^3/\text{га}$;
 P_4 — испарение с водной поверхности за время полива
в бороздах и окарыках (см. приложение 7),
 $\text{м}^3/\text{га}$.

Если учесть, что поверхностного оттока не бывает при поливе хлопчатника и испарение с водной поверхности в бороздах и окарыках определяется точностью замера оросительной воды (оно не превышает 0,6—0,8% от водозабора), то уравнение (29) примет вид:

$$\Pi_2 = q_h + q_{h_1} + P'_1 + P_1 + P_3. \quad (30)$$

В уравнении (30) все элементы определяемы. Правильность работы испарителя лизиметра контролируется решением уравнения (30).

Подъем грунтовых вод подсчитывается также следующим образом:

$$\Delta h = \frac{q_{h_1}}{\delta}.$$

Вода, поступающая из глубоких горизонтов

Элемент Π_7 может быть вычислен из уравнения (12) и непосредственно определен испарителем нашей конструкции.

Определение Π_7 вычислением. При отсутствии притока воды снизу левая часть уравнения (12), которая условно обозначается через M , будет равна правой — N . В том случае, когда N в абсолютных значениях больше M , существует приток снизу, который выводится из соотношения

$$M + B = N, \quad (31)$$

где B является тем дополнительным источником влаги, который поступает в балансый слой H снизу, т. е.

$$B = N - M.$$

Величины M и N определяются точно.
Пример (Золотая Орда, 1941 г.).

$$B_1 - B_0 = \Pi_7 - P_{11}, \quad (32)$$

где $B_1 = 7750 \text{ м}^3/\text{га}$, $B_0 = 7800 \text{ м}^3/\text{га}$, $P_{11} = 222 \text{ м}^3/\text{га}$ за пятидневку (с 27 мая по 1 июня 1941 г.).

Подставляя эти численные значения в уравнение (32), получим:

$$7750 - 7800 = \Pi_7 - 222$$

или

$-50 = \Pi_7 - 222$, откуда $\Pi_7 = 222 - 50 = 172 \text{ м}^3/\text{га}$ за пятидневку, или $34,4 \text{ м}^3/\text{га}$ за сутки.

Определение Π_7 испарителем (см. приложение 5). Приток подземных вод снизу (Π_7) фиксируется при горизонтальном (стабильном) положении уровня грунтовых вод, при его подъеме и снижении. Ниже рассматриваются методы определения Π_7 при упомянутых выше режимах уровня грунтовых вод.

Определение P_7 при горизонтальном положении уровня вод. Горизонт грунтовых вод в приборе (испарителе) и вне его поддерживается на одной и той же высоте. Потери влаги в единицу времени с балансового слоя H на испарение и транспирацию как в испарителе, так и вне его происходят с одинаковой интенсивностью.

При описанных условиях опыта горизонт грунтовых вод в испарителе падает, а вне прибора — остается на постоянном уровне. Здесь все потери влаги в атмосферу компенсируются притоком снизу. Он определяется тем количеством поданной в прибор воды, которое необходимо ввести для поддержания уровня на высоте естественного горизонта.

Если выражать данный процесс формулой, то она будет выглядеть так:

$$P_7 = Q, \quad (33)$$

где P_7 — приток снизу за единицу времени t , $\text{м}^3/\text{га}$;

Q — количество поданной в прибор воды для поддержания уровня на высоте естественного горизонта за единицу времени t , $\text{м}^3/\text{га}$. В уравнении (33) оно есть не что иное как суммарные потери влаги на испарение и транспирацию (элементы P_h и P_T).

Пример. 16 июня 1941 г. горизонт грунтовых вод находился на глубине 185 см от поверхности земли, а запас влаги в балансовом слое составлял $8650 \text{ м}^3/\text{га}$. 19 июля 1941 г. горизонт грунтовых вод вне прибора и запас влаги в слое H остались неизменными. За пятидневку в испаритель для поддержания уровня на высоте естественного горизонта было подано 69,6 л воды, или $414 \text{ м}^3/\text{га}$. Следовательно, приток снизу за пятидневку $P_7 = 414 \text{ м}^3/\text{га}$ ($\approx 83 \text{ м}^3/\text{га}$ в сутки).

Определение P_7 при подъеме грунтовых вод. При наличии потерь влаги на испарение и транспирацию уровень грунтовых вод вне прибора непрерывно поднимается, а в приборе, наоборот, понижается, и довольно быстро. Для поддержания горизонта воды на высоте естественного в прибор вводится вода в количестве Q . При таком режиме влагооборота в балансовом слое снизу фиксируется приток воды, достаточный для покрытия всех потерь влаги и непрерывного подъема уровня грунтовых вод.

Это количество воды Q расходуется на увеличение запаса воды в слое H , обеспечивающего непрерывный подъем грунтовых вод, и на покрытие тех потерь, которые пошли на испарение и транспирацию $P_h + P_T$ за период t .

Следовательно,

$$П_7 = (B_1 - B_0) + (P_h + P_T), \quad (34)$$

или

$$П_7 = Q, \quad (35)$$

где $П_7$ — приток снизу за период времени t , $м^3/га$;
 $B_1 - B_0$ — запас влаги, накопленный за время t в слое H , $м^3/га$;
 $P_h + P_T$ — суммарные потери влаги на испарение и транспирацию за время t , $м^3/га$;
 Q — количество воды, поданной в испаритель для поддержания уровня на высоте естественного горизонта за время t , $м^3/га$.

Таким образом, при подъеме грунтовых вод и полной компенсации потерь влаги на испарение и транспирацию приток снизу определяется тем количеством поданной в испаритель воды Q , которое необходимо для поддержания уровня на высоте естественного.

Пример. 10 марта 1941 г. мощность зоны h составляла 240 см; $q_1 = 9500$ $м^3/га$ при $H = 300$ см, $h_1 = 60$ см, $q_2 = 3000$ $м^3/га$, а $B_0 = 12500$ $м^3/га$. 15 марта 1941 г. влага в балансовом слое распределилась следующим образом: при $h = 220$ см $q_1 = 9000$ $м^3/га$, $q_2 = 4000$ $м^3/га$, а при $H = 300$ см $B_1 = 13000$ $м^3/га$.

С 10 по 15 марта для поддержания уровня грунтовых вод на высоте естественного было подано в испаритель 100,8 л воды при сечении испарителя 1,68 $м^2$; влага составляла 600 $м^3/га$ за пятидневку, или 120 $м^3/га$ в сутки. Потери влаги на испарение и транспирацию — 100 $м^3/га$ за пятидневку. Если подставить цифровые значения в уравнение (35), то $П_7 = 600$ $м^3/га$ за пятидневку, или 120 $м^3/га$ в сутки.

Таким образом, при подъеме уровня грунтовых вод $П_7$ расходуется на создание запаса воды в слое H для поддержания высоты естественного горизонта и на покрытие потерь влаги испарением и транспирацией.

Из уравнения (35) определяются суммарные потери влаги на испарение и транспирацию за время t :

$$Q = (B_1 - B_0) + (P_h + P_T).$$

Решая его относительно $P_h + P_T$, находим

$$P_h + P_T = Q - (B_1 - B_0),$$

где $P_h + P_T$ — суммарные потери влаги на испарение и транспирацию, $м^3/га$;

Q — количество воды, поданной в испаритель для поддержания уровня на высоте естественного горизонта, $\text{м}^3/\text{га}$;
 $B_1 - B_0$ — запас влаги, накопленный в балансовом слое H за время t , $\text{м}^3/\text{га}$.

Пример. 1 марта 1941 г. в балансовом слое ($H=200 \text{ см}$) запас влаги B_0 был равен $9300 \text{ м}^3/\text{га}$. Он складывался из запасов влаги как в зоне аэрации ($q_1=90 \text{ см}$) — $3800 \text{ м}^3/\text{га}$, так и в зоне грунтовых вод ($q_2=110 \text{ см}$) — $5500 \text{ м}^3/\text{га}$. 15 марта запас влаги в зоне аэрации ($q_1=65 \text{ см}$) составил $2950 \text{ м}^3/\text{га}$, а в зоне грунтовых вод ($q_2=135 \text{ см}$) — $6750 \text{ м}^3/\text{га}$. Во всем балансовом слое ($H=200 \text{ см}$) $B_1=9700 \text{ м}^3/\text{га}$.

При подъеме уровня грунтовых вод в приборе и вне его фактический запас в балансовом слое H возрос до $400 \text{ м}^3/\text{га}$ ($9700-9300$).

Для поддержания в баке уровня на высоте естественного горизонта в течение 15 дней в прибор было подано $92,4 \text{ л}$ воды, или $550 \text{ м}^3/\text{га}$. Потери влаги на испарение за это время составили $150 \text{ м}^3/\text{га}$ ($550-400$), или $10 \text{ м}^3/\text{га}$ в сутки.

Потери влаги на испарение определяются в данном случае разностью между количеством воды, поданным в прибор для поддержания горизонта воды на высоте естественного, и количеством воды, которое задержалось в балансовом слое H .

Определение Π_7 при снижении горизонта грунтовых вод. При наличии притока снизу грунтовые воды за одну и ту же единицу времени даже при одинаковых потерях влаги на испарение и транспирацию вне испарителя снижаются медленнее, а в приборе — быстрее. В этих случаях для поддержания уровня грунтовых вод на высоте естественного горизонта приходится в прибор подавать воду в количестве Q , которое расходуется на процесс испарения, транспирацию и накопление влаги в слое H .

Π_7 определяется по формуле

$$\Pi_7 = (P_n + P_T) - (B_1 - B_0), \quad (36)$$

где Π_7 — приток снизу, $\text{м}^3/\text{га}$;
 Q — количество поданной в прибор воды для поддержания уровня на высоте естественного горизонта, $\text{м}^3/\text{га}$;
 $B_1 - B_0$ — количество воды, расходуемой из балансового слоя H , $\text{м}^3/\text{га}$;
 $P_n + P_T$ — потери влаги на испарение и транспирацию, $\text{м}^3/\text{га}$.

Пример. 1 июля 1941 г. в слое H было 9400 $\text{м}^3/\text{га}$ воды, 10 июля — 9050 $\text{м}^3/\text{га}$. Потери влаги на испарение и транспирацию составили 660 $\text{м}^3/\text{га}$.

Для поддержания уровня грунтовых вод на высоте естественного в испаритель подано в течение 10 дней 310 $\text{м}^3/\text{га}$ воды. Если подставить эти значения в уравнение (36), то $P_7 = 660 - (9400 - 9050) = 310 \text{ м}^3/\text{га}$ за 10 дней, или 31 $\text{м}^3/\text{га}$ в сутки.

Таким образом, в рассматриваемом случае P_7 представляет разность между суммарными потерями влаги на испарение и транспирацию и тем количеством воды, которое за время t расходувано из балансового слоя H .

Из уравнения (36) вычисляются суммарные потери влаги на испарение и транспирацию:

$$P_h + P_T = P_7 - (B_I - B_0).$$

Для определения P_7 при описанных выше режимах уровня грунтовых вод ниже приводятся формулы.

Формулы	Уровень грунтовых вод
$P_7 = P_h + P_T$	Горизонтальный (стабильный)
$P_7 = (B_I - B_0) + P_h + P_T$	На подъеме
$P_7 = (P_h + P_T) - (B_I - B_0)$	На снижении

Отток влаги

Очень часто потери влаги в атмосферу на испарение и транспирацию меньше фактической убыли в балансовом слое H , т. е. меньше разности $B_I - B_0$. В этом случае фиксируется гидростатический и капиллярный отток за пределы балансового слоя H . Такие потери влаги с балансового слоя отмечаются при поливе, в первые дни после него, при снижении уровня грунтовых вод весной, после весеннего максимума и при резком снижении уровня грунтовых вод осенью. Потери влаги количественно могут быть вычислены из решения уравнения (12) и определены приборами.

Определение P_1 вычислением. В том случае, когда при снижении уровня грунтовых вод в уравнении (12) разность $B_I - B_0$ больше суммарных потерь влаги на испарение и транспирацию, существует отток влаги из балансового слоя H вниз — как капиллярный, так и вызванный нарушением гидростатики. Он выводится из уравнения (12)

$$P_1 = (B_I - B_0) - (P_h + P_T).$$

Пример. 1 апреля 1941 г. в балансовом слое H было 9196 $\text{м}^3/\text{га}$ воды, 15 апреля — 8585 $\text{м}^3/\text{га}$; убыло из слоя H 611 $\text{м}^3/\text{га}$ (9196—8585). Расходовано влаги на испарение и транспирацию за это время 527 $\text{м}^3/\text{га}$. Подставляя значения этих элементов в уравнение (12), получим: $B_1 - B_0 = P_1 - (P_h + P_T)$, или $8585 - 9196 = P_1 - 527 \text{ м}^3/\text{га}$. $P_1 = 85 \text{ м}^3/\text{га}$, или 5,6 $\text{м}^3/\text{га}$ в сутки.

Определение P_1 испарителем (его описание см. в приложении 5). При одинаковых условиях влагооборота уровень грунтовых вод вне испарителя падает в единицу времени быстрее, чем в приборе: вне прибора существует отток вниз, а в приборе он отсутствует. Снижение горизонта грунтовых вод в приборе обуславливается только потерями влаги на испарение и транспирацию и идет медленнее. Следовательно, элемент P_1 будет определяться разностью между суммарными потерями влаги из балансового слоя вне прибора [$P_1 + (P_h + P_T)$] и суммарными потерями влаги в приборе ($P_h + P_T$).

Элемент P_1 устанавливается тем количеством воды, которое нужно отвести из прибора для поддержания уровня грунтовых вод на высоте естественного за тот или иной промежуток времени t .

Если этот процесс отображать формулой, то она будет иметь вид

$$P_1 = Q = (B'_1 - B'_0) - (B_1 - B_0), \quad (37)$$

где

Q — количество воды, отведенной из испарителя для поддержания уровня на высоте естественного, $\text{м}^3/\text{га}$;

$B'_1 - B'_0$ — суммарные потери влаги в слое H вне прибора, $\text{м}^3/\text{га}$;

$B_1 - B_0$ — то же, в испарителе, $\text{м}^3/\text{га}$.

Пример. 1 октября 1941 г. в балансовом слое H вне прибора было 9175 $\text{м}^3/\text{га}$ воды. Вследствие сильного снижения уровня грунтовых вод запас влаги в слое H к 10 октября снизился до 8520 $\text{м}^3/\text{га}$, или 655 $\text{м}^3/\text{га}$ (9175—8520). Выведено из прибора для поддержания уровня на высоте естественного горизонта $Q = 24,7 \text{ л}$, или 147 $\text{м}^3/\text{га}$. Подставляя в уравнение $P_h + P_T$ величины, получим: $655 - 147 = 508 \text{ м}^3/\text{га}$.

Потери влаги на испарение

Важная роль в расходной части баланса грунтовых вод принадлежит потерям влаги на испарение и транспирацию. Изучению этих процессов посвящено много работ.

Исследователи разработали и продолжают совершенствовать метод улавливания водяных паров, выделяемых растениями и почвой (Ф. Е. Колясов), и метод определения этих потерь измерением градиентов температуры и влажности воздуха в приземном слое атмосферы (А. А. Скворцов). Прибор конструкции Ф. Е. Колясова сложен и пока не нашел широкого применения в практике, а предложенный А. А. Скворцовым метод, видимо, будет использоваться в научно-исследовательских работах при изучении баланса грунтовых вод.

Некоторые исследователи процессы испарения и транспирации характеризуют убылью, потерей воды в испарителях, которые делятся на две группы. Потери влаги в испарителях первой группы выявляются их взвешиванием через определенные промежутки времени (приборы Доранта, Попова, Рыкачева, Бишона и др.). Во второй их группе потери влаги устанавливаются по количеству воды, поданной в прибор и достаточной для поддержания ее горизонта на том или ином постоянном уровне. К этой группе приборов следует отнести испарители с сообщающимися сосудами, воронками, испарители в виде баков с одной или двумя вставленными в них трубками, с двойными стенками, с одной питающей трубой и различными устройствами, подающими воду, а также испаритель с капитальным подземным сооружением.

Прежде чем указывать на конструктивные и принципиальные недостатки приборов, следует вкратце описать тот процесс потерь влаги на испарение и транспирацию, который происходит в естественных условиях.

Уровень грунтовых вод как на протяжении суток, так и в годовом разрезе перемещается в вертикальном направлении. Он приближается к дневной поверхности весной, достигая максимума в марте — апреле, и удаляется от нее, снижаясь в декабре каждого года; с декабря, а иногда с ноября, он снова поднимается. Более резкие колебания уровня грунтовых вод бывают на полях орошения в период вегетации. Поэтому вслед за колебанием уровня грунтовых вод наступает резкая перегруппировка влаги в зоне аэрации, меняются солевой и тепловой режимы в грунтах.

Следовательно, влага на транспирацию и испарение расходуется при непрерывном движении и при других качест-

венных и количественных изменениях в зоне аэрации. Вследствие этого объективным критерием правильности работы упомянутых испарителей будет сопоставление процессов, происходящих как в приборе, так и вне его, — процессов транспирации и испарения при динамике уровня грунтовых вод и влаги в зоне аэрации и т. д.

Если при исследовании процессов испарения и транспирации соблюдать все перечисленные условия, приборы объективно отразят эти два явления.

Необходимо отметить, что перечисленные приборы не отражают объективной оценки разбираемых процессов.

Метод пользования испарителями (см. приложение 5). Испарение с зоны аэрации происходит при различном режиме уровня грунтовых вод, различном влагообороте в балансовом слое H . Иногда этот процесс сопровождается притоком грунтовых вод снизу и капиллярным поднятием влаги в зоне h . Порою при испарении происходит и обратное движение влаги, т. е. процесс сопровождается оттоком вниз как капиллярной влаги из зоны h , так и воды из зоны h_1 . Бывают периоды, когда процесс испарения происходит при отсутствии притока влаги снизу и оттока вниз.

Предлагаемые конструкции приборов учитывают испарение при всех этих вариантах влагооборота в балансовом слое и позволяют количественно определить его величину в следующих случаях:

1) при горизонтальном (стабилизированном) положении уровня грунтовых вод, когда все потери влаги на испарение и транспирацию компенсируются поступлением в балансовый слой снизу, с глубоких горизонтов;

2) при снижении горизонта грунтовых вод и отсутствии как притока снизу, так и оттока вниз;

3) при значительном снижении грунтовых вод, превышающем величину потерь на испарение и транспирацию;

4) при подъеме горизонта грунтовых вод.

Ниже эти методы определения потерь влаги на испарение и процесс транспирации разбираются на конкретных примерах.

Потери влаги при горизонтальном положении уровня вод. Бывают периоды, когда все потери влаги на испарение и транспирацию компенсируются таким же количеством грунтовой воды, которая поступает в балансовый слой снизу. В данное время горизонт грунтовых вод вне прибора не опускается. Следовательно, если он будет находиться на относительно одной высоте, полностью компенсируя притоком снизу потери влаги на испарение, то для создания этих условий в приборе, где приток снизу

отсутствует и фиксируется снижение горизонта, нужно ежедневно по несколько раз вводить в испаритель грунтовую воду для поддержания уровня воды на высоте естественного. Этому требуют условия проведения опыта. Поданная в испаритель вода будет точно определять приток снизу и величину потерь влаги на испарение за время t , т. е.

$$P_h + P_T = Q, \quad (38)$$

где $P_h + P_T$ — потери влаги на испарение с балансового слоя H , $\text{м}^3/\text{га}$;

Q — количество воды, введенной в испаритель для поддержания уровня на высоте естественного, $\text{м}^3/\text{га}$.

Пример. 1 июня 1941 г. уровень грунтовых вод находился на глубине 185 см; в балансовом слое H было 7750 $\text{м}^3/\text{га}$ влаги. К 6 июня ни уровень, ни количество воды в слое H не изменились, несмотря на потери влаги на испарение и транспирацию. В испарителе горизонт грунтовых вод на протяжении всего этого времени снижался, и для поддержания его на высоте естественного, как это требовалось по условиям опыта, приходилось подавать 19,4 л воды, что составляло 231 $\text{м}^3/\text{га}$ при сечении испарителя 0,84 м^2 ($0,7 \times 1,2$). Данное количество воды и определяло приток воды снизу в балансовый слой H , величину испарения и транспирации.

Потери влаги при отсутствии притока и оттока. Горизонты грунтовых вод в процессе эксперимента в приборе и вне его находятся на одинаковых относительных отметках. За период определения потерь влаги на испарение они снижаются с одинаковой скоростью в единицу времени, вследствие чего не требуется ни подачи, ни вывода воды из прибора. Потери влаги в атмосферу на испарение при этих условиях как в приборе, так и вне его одинаковы. Их учет производится по разности замеров всей влаги в слое H в начале и конце балансового периода (пятидневки, декады и т. д.), т. е. по формуле

$$P_h + P_T = B_1 - B_0, \quad (39)$$

где $P_h + P_T$ — потери влаги из слоя H за время t , $\text{м}^3/\text{га}$;

B_0 — запас влаги в слое H в начале t , $\text{м}^3/\text{га}$.

B_1 — то же, в конце t , $\text{м}^3/\text{га}$.

Пример. С 1 по 15 июня 1941 г. уровень грунтовой воды в приборе снизился так же, как и естественный, и за данное время не было ни подачи воды в прибор, ни вывода

ее. Горизонт грунтовых вод понизился только вследствие потерь влаги на испарение (табл. 7).

Потери влаги при оттоке грунтовых вод. Часто потери влаги на испарение с балансового слоя в атмосферу меньше фактической убыли влаги, т. е. меньше разности $B_0 - B_1$. В это время фиксируется гидростатический и капиллярный отток влаги вниз, за пределы балансового слоя H .

Таблица 7

Дата	Глубина залегания грунтовых вод, см	Запас влаги, м ³ /га			
		в зоне h	в зоне h_1	в слое H	
				в начале периода	в конце периода
1 июня	75	3320	6250	9570	—
15 июня	100	4200	5000	—	9200
Разность	25	+880	-1250	—	-370

При наличии оттока вниз грунтовые воды вне прибора в единицу времени снижаются быстрее, чем в испарителе. Приходится отводить из прибора воду и учитывать ее для соблюдения условий опыта. Общие потери влаги в приборе составляют испарение и отток вниз. Он определяется тем количеством воды, которое отведено из прибора для поддержания уровня на высоте естественного, а испарение — разностью между общими потерями воды в балансовом слое за единицу времени $(B_1 - B_0)$ и тем количеством воды Q , которое выведено из испарителя для поддержания уровня на высоте естественного.

Для расчета приводится формула

$$P_h + P_T = (B_1 - B_0) - Q. \quad (40)$$

Пример. 7 мая 1941 г. горизонт грунтовых вод находился на глубине 40 см. Влага в балансовом слое распределилась так: в зоне аэрации ($h = 40$ см) $q_1 = 2100$ м³/га, в зоне грунтовых вод $q_2 = 8000$ м³/га; в балансовом слое $B_0 = 10100$ м³/га. К 22 мая вследствие снижения уровня грунтовых вод произошла резкая перегруппировка воды в балансовом слое: $q_1 = 2900$ м³/га ($h = 65$ см), $q_2 = 6750$ м³/га ($h_1 = 135$ см), $B_1 = 9650$ м³/га ($H = 200$ см). Запасы влаги в балансовом слое снизились на 450 м³/га (10100 — 9650).

Из прибора через измерительную трубу в течение 15 дней отведено 12,6 л воды, или 150 м³/га (при сечении ис-

парителя $0,7 \times 1,2 = 0,84 \text{ м}^2$). За это время испарилось 300 (450—150) $\text{м}^3/\text{га}$ воды.

Таким образом, суммарная убыль воды в балансовом слое (450 $\text{м}^3/\text{га}$) состояла, во-первых, из оттока влаги вниз за пределы слоя H в количестве 150 $\text{м}^3/\text{га}$, выведенных через измерительную трубу и, во-вторых, из суммарного испарения, которое определялось разностью между общей убылью в балансовом слое и количеством воды, отведенной через измерительную трубу.

Потери влаги при подъеме грунтовых вод. Уровень грунтовых вод в приборе и вне его поддерживается во время эксперимента на одних и тех же высотах. При заданных условиях опыта фиксируется незначительный подъем грунтовых вод. Приток влаги снизу частично компенсирует ее потери на испарение и дополнительно создает накопление запасов воды в слое H .

Учет потерь влаги на испарение за время t при описанном влагообороте ведется по уравнению

$$P_h + P_T = Q - (B_1 - B_0), \quad (41)$$

где Q — общее количество воды, поданной в испаритель для поддержания уровня на высоте естественного горизонта, $\text{м}^3/\text{га}$;

$B_1 - B_0$ — запас воды, созданной за время опыта t в слое H , $\text{м}^3/\text{га}$.

Пример. 1 марта 1941 г. в балансовом слое ($H = 200 \text{ см}$) запас влаги (B_0) был равен 9800 $\text{м}^3/\text{га}$. Он складывается из запасов влаги как в зоне аэрации ($h = 90 \text{ см}$) — 3809 $\text{м}^3/\text{га}$, так и в зоне грунтовых вод ($h_1 = 110 \text{ см}$) — 5500 $\text{м}^3/\text{га}$. 15 марта в зоне аэрации ($h = 65 \text{ см}$) он составил 2950 $\text{м}^3/\text{га}$, а в зоне грунтовых вод ($h_1 = 135 \text{ см}$) — 6750 $\text{м}^3/\text{га}$, во всем балансовом слое ($H = 200 \text{ см}$) — 9700 $\text{м}^3/\text{га}$.

При подъеме уровня грунтовых вод в приборе и вне его фактический запас воды в балансовом слое H возрос на 400 $\text{м}^3/\text{га}$ (9700—9300).

Для поддержания уровня на высоте естественного горизонта в течение 15 дней в прибор подано 92,4 л воды, или 550 $\text{м}^3/\text{га}$, при площади испарителя 1,68 м^2 .

Подставляя эти значения в формулу (41), получим:

$$P_h + P_T = 550 - 400 = 150 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Приток снизу P_T за 15 дней был равен 550 $\text{м}^3/\text{га}$.

Потери влаги при снижении грунтовых вод. Уровень грунтовых вод в испарителе падает значительно.

быстрее, чем вне прибора. Вне прибора существует дополнительный источник влаги — приток воды снизу. При рассматриваемом влагообороте учет потерь влаги производится также по формуле (41).

Потери на испарение в этом случае равны количеству воды Q , поданной в прибор для поддержания уровня на высоте естественного горизонта, минус запас воды $B_1 - B_0$, образовавшейся в приборе за время t .

Пример. В начале пятидневки в балансовом слое H было $9050 \text{ м}^3/\text{га}$ влаги, а в конце — $8800 \text{ м}^3/\text{га}$. Потери на испарение с балансового слоя составили $250 \text{ м}^3/\text{га}$ ($9050 - 8800$). Через измерительную трубу в бак испарителя за 5 дней было подано $350 \text{ м}^3/\text{га}$ воды, из которой $100 \text{ м}^3/\text{га}$ испарилось из слоя H .

Для определения потерь влаги на испарение при данном режиме уровня грунтовых вод ниже приводятся формулы.

Формулы	Уровень грунтовых вод
$P_h + P_T = Q = P_7$	Горизонтальный (стабильный)
$P_h + P_T = B_1 - B_0$	На снижении
$P_h + P_T = Q - (B_1 - B_0)$	На подъеме и снижении при P_7
$P_h + P_T = (B_1 - B_0) - Q_1$	На значительном снижении и при P_1

Примечание. Q — водоподача в испаритель, Q_1 — водоотлив из него.

Работа испарителей. Вследствие того что вспашка под зябь и под высеv хлопчатника, боронование, культивация, кетменная обработка, машинное внесение минеральных удобрений, промывка почв, поливы хлопчатника проводятся совершенно одинаково как над местом, где установлен прибор, так и вне его, потери влаги на испарение и транспирацию с зон аэрации и грунтовых вод также аналогичны в обоих случаях. При одинаковом положении уровня грунтовых вод горизонтальные передвижения капиллярной и пленочной воды выше сплошных кромок бака отсутствуют. Температурный и солевой режимы в грунтах зоны аэрации и в зоне грунтовых вод в приборе и вне его, а также микроклимат тождественны.

Уровень грунтовых вод как в баках испарителей, так и в естественных условиях находится под воздействием температурного градиента, барометрического давления и градиента упругости водяных паров воздуха атмосферы.

Подача в испаритель грунтовой воды идентичной температуры и химического состава улучшит его работу.

Влияние барометрического давления, температуры, упругости водяных паров, ветра, теплового баланса и других элементов климата выясняется комплексными стационарными исследованиями как в зоне аэрации, так и в приземном слое атмосферы.

Поданная в испаритель вода контролируется дважды — в измерительной трубе (при подаче ее в бак) и в баке — методом замера уровня грунтовой воды и анализа влаги в зонах аэрации и грунтовых вод.

Применение испарителей нашей конструкции позволяет объективно выявить причины, которые обуславливают подъем или снижение уровня грунтовых вод.

Описываемыми испарителями изучаются процессы конденсации и распределения влаги от атмосферных осадков. До полной полевой влагоемкости при данном положении уровня грунтовых вод накопления влаги определяются влагомерами, расставленными на различных глубинах в зоне аэрации, или методом эпизодических отборов проб грунта и анализа влаги в них. Гравитационная вода учитывается в испарителях методом учета влаги в зонах аэрации и грунтовых вод.

Испарителями, кроме того, выявляются и количественно охарактеризовываются новые, вскрытые впервые нами в гидрогеологической партии 1941 г. элементы баланса — приток влаги снизу и отток ее в глубокие горизонты. Ими можно также установить потери влаги на испарение и транспирацию как при постоянном горизонте грунтовых вод, так и при снижении и подъеме этих вод.

На процесс испарения и транспирации, если это необходимо для опыта, через измерительную трубу может быть подана оросительная вода.

Если на опытном поле установлен испаритель (сечением $1,2 \times 1,4$ м) с хлопчатником, транспирация последнего определяется другими методами, а потери влаги на испарение высчитываются по разности.

Транспирация

Существует два способа изучения транспирации — качественный и количественный. Из первого нам известен только качественно-кобальтовый метод Штоля. Второй делится на шесть групп.

К первой группе относятся количественно-кобальтовый метод Ливингстона, количественно-коллоидальный метод Арциховского и метод присасывания. Вторую группу составляют

объемный и весовой способы учета воды, всасываемой растениями взамен теряемой в процессе их роста, пачетрический и весовой. В третью входит весовой метод учета воды, расходуемой на транспирацию растениями вместе с субстратом: Она состоит из лабораторно-вегетационного и полевого вегетационного методов. Четвертая группа—это метод изучения транспирации способом срезанных объектов. К пятой относится метод корреляционной зависимости, предложенный Д. И. Шашко [42], и метод, основанный на законе ярусности конвективного обмена, разработанный А. А. Скворцовым [33]. Шестую составляют лизиметрические методы определения потерь влаги на транспирацию (см. приложение 6).

Ниже описывается только лизиметрический метод учета этих потерь с применением испарителей нашей конструкции.

В целях выявления величины транспирации хлопчатника на опытном хлопковом поле устанавливают два испарителя: первый (левый) без растений—для учета только потерь влаги с зоны аэрации и зоны грунтовых вод; второй (правый) с растениями— для учета суммарных потерь влаги в атмосферу на испарение и транспирацию с зон как аэрации, так и грунтовых вод. В испаритель помещается восемь кустов хлопчатника (24 растения).

Потери влаги на транспирацию вычисляются разностью между потерями влаги в испарителе как с хлопчатником, так и без него (см. приложение 6).

Контрольные методы. Для установления потерь влаги на транспирацию применяются метод срезанных объектов и метод, разработанный А. А. Скворцовым (см. приложение 6).

Соотношение между элементами баланса $P_n + P_T$ и P_7 , P_1 представлено в табл. 8.

Второстепенные элементы водного баланса. В водном балансе мы не учитывали следующие элементы, не имеющие практического значения:

1) в приходной части — те статьи, которые не дают ощутимых накоплений влаги в грунтах слоя H : росообразование, сорбция, под которой понимается общий случай поглощения водяного пара почвой как твердым пористым телом (по Колоскову), конденсация водяных паров в порах грунта (хотя она фиксируется в общем комплексе работ), пары воздуха атмосферы, поступающие в поры грунта механическим способом;

2) в расходной — статьи, которые имеют незначительное удельное значение: механический расход парообразной вла-

Таблица 8

Уровень грунтовых вод	Отношение B_0 к B_1	Q , Q_1 и их элементы	Π_7 и его элементы	P_1 и его элементы
Горизонтальный	$B_0 = B_1$	$Q = P_h + P_T$	$\Pi_7 = Q = P_h + P_T$	P_1 отсутствует
На снижении (случай первый)	$B_0 > B_1$	Q и Q_1 отсутствуют	Π_7 отсутствует	P_1 отсутствует
На снижении (случай второй)	$B_0 > B_1$	$Q_1 = (B_0 - B_1) - (P_h + P_T)$	Π_7 отсутствует	
На подъеме	$B_0 < B_1$	$Q = (B_1 - B_0) + (P_h + P_T)$	$\Pi_7 = Q = (B_0 - B_1) + (P_h + P_T)$	P_1 отсутствует

Продолжение таб. 8

Уровень грунтовых вод	Связь Π_7 и P_1	P_h , P_T и их элементы	Вода, расходуемая на испарение из почвогрунтов и транспирацию в испарителе и вне его
Горизонтальный	Π_7 определяется величиной Q , P_1 отсутствует	$P_h + P_T = Q = \Pi_7$	1. В испарителе—только подаваемая вода (Q). 2. Вне прибора—вода, поступающая в слой H из глубоких горизонтов (Π_7)
На снижении (случай первый)	Π_7 и P_1 отсутствуют	$P_h + P_T = B_0 - B_1$	Как в приборе, так и вне его расходуется вода из слоя H в количестве $B_1 - B_0$
На снижении (случай второй)	Π_7 отсутствует, P_1 определяется величиной Q	$P_h + P_T = (B_0 - B_1) - Q_1$	Как в приборе, так и вне его расходуется вода из слоя H в количестве $(B_0 - B_1) - Q_1$
На подъеме	Π_7 определяется величиной $(B_1 - B_0) + (P_h + P_T)$, P_1 отсутствует	$P_h + P_T = \Pi_7 - (B_1 - B_0)$	1. В испарителе—подаваемая в него вода в размере $Q - (B_1 - B_0)$. 2. Вне прибора—вода из слоя H в размере $\Pi_7 - (B_1 - B_0)$

ти в грунтах, возникающий вследствие колебаний барометрического давления, расход влаги на ассимиляционные процессы и т. д.

УРАВНЕНИЕ ДЛЯ БАЛАНСОВОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО УЧАСТКА

Балансовым гидрогеологическим участком может быть наименьшая единица территории, выделяемая при разграничении типов режима грунтовых вод и балансовом районировании. Этот район характеризуется типичным геологическим строением, своеобразной глубиной залегания режима подземных вод и их баланса. Таким участком может быть депрессия, склоны депрессии, речная терраса или часть ее, периферия конуса выносов или часть ее, а также территории колхозов, совхозов, массивы неосвоенных земель.

На балансовом участке могут выращиваться люцерна, хлопчатник, бахчевые и огородные культуры, виноградники, фруктовые сады, древесные насаждения, перелог.

В основу расчета баланса грунтовых вод балансового гидрогеологического участка за время t принимается следующее уравнение:

$$B_{1-c} - B_{0-c} = (P_1 + \sum P_2 + \sum P_7) - (\sum P_{п_1} + \sum p_1 + \sum P_h + \sum P_T + \sum P_2 + q_c), \quad (42)$$

где B_{0-c} — среднее содержание влаги в балансовом слое H в начале времени t_0 , $м^3/га$;

B_{1-c} — то же, в конце t_0 , $м^3/га$;

P_1 — атмосферные осадки, $м^3/га$;

$\sum P_2$ — поверхностный приток оросительной воды, $м^3/га$;

$\sum P_7$ — приток в балансовый слой снизу, который может обуславливаться поступлением воды из глубоких горизонтов или преобладанием бокового притока подземных вод над оттоком как по отдельным культурам, так и по всему участку в целом,¹ $м^3/га$;

$\sum P_{п_1}$ — суммарные потери атмосферных осадков по культурам до их проникновения в грунт, $м^3/га$;

¹ P_7 , как и последующие элементы, определяется вначале по отдельным сельскохозяйственным культурам, а затем — для всего балансового участка.

$\sum P_2$ — суммарные потери оросительной воды до ее проникновения в слой H , $\text{м}^3/\text{га}$;

$\sum P_1$ — отток подземных вод за пределы слоя H в глубокие горизонты или вследствие преобладания бокового оттока над притоком, $\text{м}^3/\text{га}$;

$\sum P_h$ — потери влаги на испарение со слоя H , $\text{м}^3/\text{га}$;

$\sum P_T$ — потери влаги на транспирацию растительного покрова, $\text{м}^3/\text{га}$;

q_c — отвод грунтовых вод с гидрогеологического балансового участка дренажной системой, $\text{м}^3/\text{га}$.

Подекадные или среднемесячные значения элементов балансового уравнения могут даваться в табличной форме.

Элементы уравнения (42). Для определения B_{0-c} и B_{1-c} выбирается производственная площадь ω . В ее центре бурятся стационарные скважины и ведется наблюдение за динамикой влаги и солей в грунтах. По результатам замеров горизонта грунтовых вод и влаги в грунтах по изложенной методике вначале находятся h , h_1 , q_1, q_2 , затем — B_{0-c} и B_{1-c} для той или иной сельскохозяйственной культуры или перелога. После тщательного анализа полученных данных выводятся средние значения B_{0-c} и B_{1-c} для всего гидрогеологического участка контура ω .

Атмосферные осадки Π_1 вычисляются дождемерами на метеорологической станции упрощенного вида, создаваемой для этих целей на территории, на которой проводятся балансовые работы.

Потери атмосферной влаги до проникновения в грунты балансового слоя по отдельным сельскохозяйственным культурам и всей территории участка (элементы $\sum P_{n_1}$) могут быть определены как разность между Π_1 и тем количеством влаги, которая задержалась в грунтах зоны аэрации и в зоне грунтовых вод.

Количество атмосферных осадков, задержавшихся в зоне аэрации, устанавливается методом отбора проб грунта в зоне до и после их выпадения и анализа влаги в них. По разности двух определений выводится искомая величина.

Влага, образованная атмосферными осадками в зоне грунтовых вод, высчитывается с помощью лизиметров-испарителей.

Общее накопление влаги в слое H от атмосферных осадков определяется из соотношения.

$$\Delta q = B_{1-n_1} - B_{0-n_1},$$

где Δq — накопление влаги в слое H от атмосферных осадков, $\text{м}^3/\text{га}$;

B_{1-n_1} — запас влаги в слое H после выпадения атмосферных осадков, $\text{м}^3/\text{га}$;

B_{0-n_1} — то же, до их выпадения, $\text{м}^3/\text{га}$.

По разности двух замеров уровня грунтовых вод до и после выпадения атмосферных осадков выясняется размер его подъема.

Величина подъема грунтовых вод от атмосферных осадков при отсутствии оттока в глубокие горизонты может быть выведена из уравнения

$$\Delta h_c = \frac{P_1 - (\Delta q + P_{n_1})}{\delta}, \quad (43)$$

где Δh_c — подъем грунтовых вод, м ;

P_1 — атмосферные осадки, замеренные дождемером, $\text{м}^3/\text{га}$;

Δq — влага от осадков, задержанная грунтами зоны аэрации до полевой влагоемкости, $\text{м}^3/\text{га}$;

P_{n_1} — испарение от атмосферных осадков до проникновения их в зону аэрации, $\text{м}^3/\text{га}$;

δ — водоотдача грунта, %.

Приток оросительной воды $\sum P_2$ (брутто) у границы контура ω определяется по формуле

$$\sum P_2 = \frac{1}{\omega} \sum Q t, \quad (44)$$

где $\sum Q$ — средние расходы всех каналов за время t , $\text{м}^3/\text{га}$;

ω — площадь массива, га ;

t — продолжительность работы каналов, сутки.

Оросительная вода внутри массива определяется из соотношения

$$\sum P_2 = M_t + S,$$

где M_t — оросительная вода по культурам (нетто), $\text{м}^3/\text{га}$;

S — фильтрация в каналах, $\text{м}^3/\text{га}$.

Вода, подаваемая на орошение поля за время t , устанавливается по А. Н. Костякову [16] таким образом:

$$M_t = \frac{\sum Q t}{\omega}, \quad (45)$$

где ω — орошаемая площадь, га ;

$\sum Q_t$ — оросительная вода (нетто), $\text{м}^3/\text{га}$.

За оросительный период средневзвешенное значение выводится так:

$$M_t = (\alpha M_1 + \beta M_2 + \gamma M_3 + \dots), \quad (46)$$

где α, β, γ — части орошаемой площади с оросительными нормами M_1, M_2, M_3 и т. д. ($\alpha + \beta + \gamma = 1$).

В такой же последовательности учитываются и промывные воды.

Следовательно, поверхностный приток оросительной воды P_2 вычисляется как в каждой производственной бригаде (раздельно по сельскохозяйственным культурам), так и на границе балансового района ω .

Потери оросительной воды на испарение с водной поверхности в бороздах и оросителях внутри контура ω (элемент $\sum P_2$) в связи с тем, что они не превышают 1%, не следует вводить в расчеты баланса.

В балансовом слое H вода, поступившая при поливе, распределяется так:

$$M_t = q_{1-M} + q_{2-M},$$

где q_{1-M} — вода в зоне аэрации до полевой влагоемкости, $\text{м}^3/\text{га}$;

q_{2-M} — вода в зоне грунтовых вод, $\text{м}^3/\text{га}$.

Величина подъема грунтовых вод от полива на части контура, занятой определенной сельскохозяйственной культурой, будет найдена таким образом:

$$\Delta h_M = \frac{q_{2-M}}{\delta}. \quad (47)$$

Элементы уравнений определяются методом анализа влаги в грунтах и замерами воды в испарителях.

Если существует поверхностный сброс (что бывает редко), он учитывается из формулы

$$V_0 = \frac{1}{\omega} \sum Q_{\text{сбр}} t, \quad (48)$$

где $Q_{\text{сбр}}$ — средние расходы сбросных каналов, $\text{м}^3/\text{сутки}$;

t — продолжительность работы каналов этими расходами, сутки;

ω — площадь массива, га.

Фильтрационные потери в оросительной сети S за балансовый период, отнесенный к единице площади, выводятся по А. Н. Костякову

$$S = \frac{36}{\omega_0} \left[\sum \delta_k, l_k Q_k, t_k + \sum \delta_p, l_p Q_p, t_p + \sum \delta_m, l_m Q_m, t_m \right], \quad (49)$$

где $\sum \delta_k, Q_k, t_k$ — сумма потерь за время t в картовых оросителях, $м^3/га$;

$\sum \delta_p, Q_p, t_p$ — то же, в распределителях, $м^3/га$;

$\sum \delta_m, Q_m, t_m$ — то же, в магистральных каналах, $м^3/га$;

$\delta_k, \delta_p, \delta_m$ — потери в каналах разного порядка на единицу их длины, %;

l_k, l_p, l_m — средние длины одновременно работающих за время t каналов (оросителей, распределителей и магистралей) на данном массиве ω ;

Q_k, Q_p, Q_m — средние рабочие расходы каналов, $м^3/сек$;

t_k, t_p, t_m — продолжительность работы каналов разного порядка (часы) в течение рассматриваемого периода.

В формуле (49) Q выражен в $м^3/сек$, а ω — в $га$.

Значения коэффициентов (в процентах) устанавливаются на основе непосредственных гидрометрических определений потерь в каналах разного порядка для данной системы опытных работ, а также эмпирических формул.

В табл. 9 (по В. Н. Шарашкину, 39) приводятся существующие формулы по учету потерь воды на фильтрацию из каналов мелкой ирригационной сети. Как подтвердилось опытными работами, для практических целей наиболее приемлемые результаты дают формулы, выведенные А. Н. Костяковым [16], В. Н. Шарашкиным [39] и САНИИРИ [4]. Они проверены на практике и довольно точно отражают потери из каналов в лессовых грунтах.

При определении фильтрационных потерь в каналах величину K следует брать так, как указано в табл. 10 [по А. Н. Костякову, 16] или табл. 11 [по М. М. Крылову, 18].

Некоторое представление о величине потерь воды в ирригационной сети дает табл. 12 [по А. Н. Костякову, 16].

Потери воды в оросителях различных назначений определяются просто замерами расходов воды по двум створам, расположенным на различном расстоянии друг от друга.

Автор формулы	Потери, % от головного расхода на 1 км	Примечание
А. Н. Костяков	$\delta = \frac{1,5K}{\sqrt{QV}} \left(\frac{\alpha + 2\sqrt{1+\varphi^2}}{\alpha + f} \right)$	Для условий установившейся фильтрации (непрерывная работа каналов) в далеких грунтовых водах. K выражено в м/сутки; Q — в м ³ /сек; V — м/сек, h в м; b (ширина канала по дну) — в м.
А. Н. Костяков	$\delta_t = \frac{1,5K_0}{t\sqrt{QV}} \left(\frac{\alpha + 2\sqrt{1+\varphi^2}}{\alpha + f} \right)$	Выведена с учетом периодической работы каналов. f — коэффициент откоса канала, $\alpha = \frac{b}{h}$, t — время работы канала.
А. Н. Костяков	$\delta = \frac{3,4}{Q^{0,5}}$	Для легких грунтов
А. Н. Костяков	$\delta = \frac{1,9}{Q^{0,4}}$	Для тяжелых
А. Н. Костяков	$\delta = \frac{0,7}{Q^{0,3}}$	" " "
Мориц	$\delta = \frac{1,157 K_0 R}{Q}$	Для равномерного движения фильтрующего потока
Мориц	$\delta = \frac{3,75K_0}{\sqrt{QV}}$	Для грунтов легких ($K_0=0,45$), средних ($K_0=0,27$), тяжелых ($K_0=0,12$)
Казени	$\delta = \frac{1,157 KB}{Q}$	K — коэффициент фильтрации, м/сутки; B — ширина зеркала воды, м. Для конусовидного и трапециевидного сечения.
Гончаров	$\delta = \frac{1,33 KP}{Q}$	P — смоченный периметр, м

Автор формулы	Потери, % от головного расхода на 1 км	Примечание
Фридрих	$S = 0,028 \left(\frac{a}{h} + b \right) \frac{1}{V}$	Применяется при глубине грунтовых вод 1 м. Для грунтов средних ($a=1,8$; $b=1,2$), мелких ($a=11,0$; $b=8,0$), тяжелых ($a=0,008$; $b=0,002$)
Пенджабский	$\delta = \frac{0,193 \sqrt{hB}}{Q}$	Для тяжелых грунтов. h — средняя глубина воды в канале, м; B — ширина зеркала воды, м
Бересфорда	$S = AL^x$	Применяется при условии фактического замера потерь. S — потери в канале на длине L ; A — потери в данном канале на первой миле от его головы; L — длина канала, мили; x — коэффициент, изменяющийся от 5—6 до 6—7
Канадская	$\delta = \frac{19 CBh}{Q}$	Для грунтов легких ($C=0,02$), средних ($C=0,017$), тяжелых ($C=0,015$). Q — расход, м ³ /га; C — коэффициент, зависящий от водных свойств грунта; h — глубина воды в канале, м; B — ширина зеркала воды, м
Девис и Уильсон	$\delta = C \sqrt[3]{h} \frac{45300PL}{(4000000 + 3620 \sqrt{V})Q}$	Для грунтов легких ($C=40$), средних ($C=20$) и тяжелых ($C=12$). h — средняя глубина воды в канале, м; P — смоченный периметр, м; L — длина канала, м; V — средняя скорость течения воды в канале, м/сек.

Автор формулы	Потери, % от головного расхода на 1 км	Примечание
Ведерников	$\delta = \frac{1,157 K_{\phi}}{Q} \left(B + \frac{2K}{K_1} H \right)$	K_{ϕ} — коэффициент фильтрации, м/сутки; B — ширина канала по верху, м; H — глубина канала (слой воды), м; K и K_1 — полные эллиптические интегралы первого рода при модуле K и дополнительном K_1
В. Н. Шарашкин	$\delta = \frac{2,85}{Q^{0,5}}$	Для легких грунтов при $Q=0,35-0,4$ м ³ /сек
"	$\delta = \frac{1,9}{Q^{0,4}}$	Для средних грунтов при $Q=0,35-0,4$ м ³ /сек
"	$\delta = \frac{1,3}{Q^{0,37}}$	Для тяжелых грунтов при $Q=0,35-0,4$ м ³ /сек
САНИИРИ	$\delta = \frac{0,7}{Q^{0,5}}$	Для магистральных каналов
"	$\delta = \frac{1,5}{Q^{0,5}}$	Для распределительной сети
"	$\delta = \frac{1,8}{Q^{0,5}}$	Для колхозных отводов
"	$\delta = \frac{2,3}{Q^{0,5}}$	Для групповых оросителей
"	$\delta = \frac{1,8 K_{\phi}}{Q}$	Для картковых оросителей сред $K_{\phi} = \frac{2,3}{T^{0,25}}$, м/сутки; T — время работы оросителя, часы

Автор формулы	Потери, % от головного расхода на 1 км	Примечание
"	$\eta = \frac{2,85}{\sqrt{Q}} \div \frac{3,5}{\sqrt{Q}}$	Для легких грунтов
"	$\eta = \frac{1,87}{\sqrt{Q}} \div \frac{2,3}{\sqrt{Q}}$	Для средних грунтов
"	$\eta = \frac{1,0}{\sqrt{Q}} \div \frac{1,3}{\sqrt{Q}}$	Для тяжелых грунтов

Таблица 10

Виды каналов	Грунты, м/сутки	
	суглинистые	песчаные
Длительно действующие распределители	0,05—0,08	0,15—0,20
Групповые распределители	0,10—0,20	0,35—0,45
Оросители	0,25—0,45	0,70—1,00

Таблица 11

Порода	Коэффициент фильтрации, мм/сек
Галечник	1,0—5,0
Разнородный гравелистый песок	0,1—1,0
Глинистый разнородный песок (содержание глины 5—10 %)	—
Чистый крупнозернистый песок (диаметр равен 0,5—1,0 мм)	0,5—3,0
Чистый среднезернистый песок (диаметр зерен 0,25—0,5 мм)	0,1—0,5
Чистый мелкозернистый песок (диаметр зерен 0,1—0,25 мм)	0,05—0,2
Супесь	0,01—0,05
Супесь со щебнем	—
Суглинок	0,001—0,02
Глина	0,00001—0,0005

Удельные потери воды на фильтрацию в водотоках находятся из формулы

$$\delta_1 = \frac{(q_1 - q_2 - q_3)}{L}, \quad (50)$$

где δ_1 — потери воды на фильтрацию на участке в 1 м, л/сек;

q_1 — расход воды по верхнему створу, л/сек;

q_2 — то же, по нижнему створу, л/сек;

q_3 — то же, на испарение с водной поверхности в оросителях между створами, л/сек;

L — длина оросителя между створами.

Таблица 12

Расход канала, м ³ /сек	Потери, % от расхода на 1 км	Расход канала, м ³ /сек	Потери, % от рас- хода на 1 км
0,03	16	2,00—3,00	2,5—1,8
0,03—0,10	16—12	3,00—5,00	1,8—1,1
0,10—0,15	12—11	5,00—10,00	1,1—0,6
0,15—0,20	11—9	10,0—20,0	0,6—0,5
0,20—0,30	9—7,5	20,0—30,0	0,5—0,32
0,30—0,50	7,5—6	30,0—50,0	0,32—0,20
0,50—1,00	6—4	50,0—100,0	0,20—0,15
1,00—1,50	4—3	100,0—200,0	0,15—0,05
1,50—2,00	3—2,5	200,0—300,0	0,05—0,02

Потери воды в оросителях на фильтрацию могут быть также установлены непосредственно лизиметром нашей конструкции и по нашей методике, которая изложена в приложении 7.

Удельные фильтрационные потери оросительной воды являются по формуле

$$\delta_1 = \frac{Q}{2}, \quad (51)$$

где δ_1 — фильтрационный расход оросителя с 1 м длины, л/сек;

Q — фильтрационный расход прибора, л/сек.

Помимо описанных приемов учета потерь воды из каналов, применяется метод В. В. Ведерникова [5], согласно которому фильтрационные трубы или цилиндры (в количестве 5—6) расставляются в 4—5 створах каждого канала.

Методом химического и изотопного анализов воды вычисляется объем просочившейся оросительной воды в грунтах под каналом (над грунтовыми водами).

Для выявления рабочих градиентов в каналах организуются наблюдательные створы из стационарных скважин.

В обе стороны от канала бурятся скважины на расстоянии 1, 3, 6, 10, 20, 50 и 100 м. Исследования ведутся в течение всего оросительного периода. При этом выясняется зависимость фильтрационных потерь в оросителях от расхода воды в каналах, слоя воды и фильтрационных свойств грунта. После проведения стационарных работ подекадно за каждый месяц или балансовый период подсчитывается длина оросителей разного назначения и суммарные потери воды во всей ирригационной сети на площади ω по формуле

$$\sum \delta L_i = t(q_1 L_1 + q_2 L_2 + q_3 L_3 + q_4 L_4), \quad (52)$$

где t — балансовый период (пятидневка, декада, месяц);

L_1, L_2, L_3, L_4 — длина каналов: магистрального, межколхозных, внутриколхозных, временно действующих, км;

q_1, q_2, q_3, q_4 — удельные фильтрационные расходы сети, % от головного водозабора на 1 км.

Общие потери воды на фильтрацию из каждого типа оросителей внутри контура ω за время t определяются по формуле

$$\delta_L = qLt, \quad (53)$$

где L — длина оросителя в пределах опытного участка, м;

q — удельный фильтрационный расход с 1 м канала, м³/сек;

t — время работы канала, сутки.

Относительное влияние фильтрационных вод каналов на подъем уровня грунтовых вод в контуре ω за время t находится из уравнения

$$\Delta h = \frac{\sum \delta L_i}{\omega}, \quad (54)$$

где Δh — подъем уровня грунтовых вод за время t , см;

$\sum \delta L$ — суммарные фильтрационные потери в оросительной сети внутри балансового гидрогеологического района контура ω , м³/сек;

ω — площадь балансового гидрогеологического района, га;

δ — удельная водоотдача грунта.

При подъеме и снижении уровня грунтовых вод значение δ в послеполивной период и вторую половину междуполивных периодов составило 0,2, весной в первую половину каждого междуполивного периода — 0,16.

Элемент P_7 определяется испарителем по каждой сельскохозяйственной культуре, а затем по сумме этих значений выводится общий приток снизу в контуре «балансового гидрогеологического участка».

В такой же последовательности уточняется и элемент $\sum P_i$. P_7 и P_i могут быть выведены из решения уравнения.

В целях нахождения P_h и P_T для каждой сельскохозяйственной культуры на типичных участках устанавливаются испарители той или иной конструкции. В качестве контрольных определений применяется метод, предложенный А. А. Скворцовым, метод „срезанных объектов“. Количество воды q_1 , которая испаряется из грунтов зоны аэрации и тратится на транспирацию, определяется влагомерами или методом отбора проб грунта и анализа влаги в них в начале времени t_0 и конце его t . Количество же влаги q_2 , расходуемой на эти же процессы с зоны грунтовых вод, замеряется испарителями. Размер снижения уровня грунтовых вод вследствие потерь влаги на процессы испарения и транспирацию растительного покрова выясняется из соотношения

$$\Delta h = \frac{q_2}{\gamma}.$$

Для ориентировочных подсчетов могут быть использованы и эмпирические уравнения.

Уравнения для определения испарения и транспирации. Испарение почвы в осенне-зимний период со всей площади орошаемого массива выводится из формулы, предложенной А. Н. Костяковым [16]

$$E_0 = 10f_1 \cdot 0,5d_1 \cdot (1 + 0,2V_1) \cdot t_1. \quad (55)$$

Испарение перелогов в оросительный период, отнесенное к единице орошаемой площади, вычисляется следующим образом:

$$E_0 = 10f_2 \cdot 0,5d_2 \cdot (1 + 0,2V_2) \cdot (1 - \mu) \cdot t_2. \quad (56)$$

Здесь d_1, d_2 — средние значения дефицита влажности воздуха невегетационного и вегетационного периодов, мм;

V_1, V_2 — средние скорости ветра тех же периодов, м/сек;

f_1, f_2 — коэффициенты невегетационного и вегетационного периодов;

t_1, t_2 — невегетационный и вегетационный периоды, сутки;

μ — коэффициент земельного использования (отношение орошаемой площади ко всей площади массива).

Испарение в осенне-зимний период с площадей, не занятых сельскохозяйственными культурами, выводится из формулы

$$E_0 = \alpha d (15 + 3V), \quad (57)$$

где d — среднемесячный дефицит влажности воздуха (без поправки), мм;

V — среднемесячная скорость ветра на высоте флюгера, м/сек;

α — коэффициент $= \beta r$; $\beta = 0,6-0,9$; r — редуционный коэффициент, равный $0,52-0,95$.

Испарение при отсутствии растительного покрова можно определить по А. Н. Костякову [16]:

$$E = dt \cdot \left(1 - \frac{Z}{100} \right), \quad (58)$$

или по И. А. Шарову [40]:

$$E = \sum (2t - 4), \quad (59)$$

$$N = \frac{1}{W_b} \sum \left[t(2 - Z) - 4 \right] W_a, \quad (60)$$

$$K = \frac{1}{W_b} \left[\sum (2t + 4) W_n + \sum (2t + 4) W_p \right], \quad (61)$$

или по Ф. Мейеру, Шатскому, Иванову и др.

В формуле, выведенной А. Н. Костяковым, E — испарение, мм, t — температура воздуха, °С, Z — относительная влажность воздуха, d — коэффициент, изменяющийся от 0,6 до 1,1; а у И. А. Шарова E — испарение в дни выпадения осадков; K — испарение и транспирация; N — испарение со свободных площадей в пределах влияния их на орошаемую территорию; t — среднесуточная температура воздуха; W_n — площадь орошения; W_p — площадь промывок; Z — глубина залегания грунтовых вод от поверхности, м; W_a — площади, сгруппированные по глубине залегания грунтовых вод; W_b — площадь района.

Суммарное испарение вычисляется таким образом:

$$H = K + E + N.$$

W_c (количество воды в зоне аэрации в конце балансового периода) ориентировочно определяется путем вычитания

из общего количества воды, поданной на систему за вегетационный период, суммарного количества сбросных вод и поступивших непосредственно на пополнение грунтовых вод.

$$W_c = M - V_0 + \delta \Delta H, \quad (62)$$

где M — оросительная вода, $\text{м}^3/\text{сек}$;
 V_0 — сток оросительной воды, м^3 .

Для выявления суммарного испарения с почв слоя L Л. Р. Струвер и Н. П. Русин [35] приводят уравнение водного баланса

$$E_w = (W_1^Z - W_2^Z + x - S - V), \quad (63)$$

где E_w — суммарное испарение за рассматриваемый период;

W_1^Z, W_2^Z — влагосодержание слоя почвы мощностью Z соответственно в начале и конце периода;

x — сумма осадков;

S — поверхностный сток;

V — влагообмен с нижележащими слоями почвы за тот же период.

Элементы выражены в $\text{м}^3/\text{га}$.

Для установления влагосодержания W_1^Z и W_2^Z в настоящее время практически применяется метод бурения почвы с отбором проб обычно через каждые 10 см. Пробы высушиваются, и по изменению их веса выводится количество влаги в них. Для пересчета этой величины на влагосодержание почвы необходимо предварительно узнать ее объемный вес.

В зоне недостаточного увлажнения и глубокого залегания грунтовых вод этим методом можно пользоваться, причем в качестве слоя активного влагообмена можно ограничиться слоем почвы мощностью 80—100 см.

Существует также уравнение турбулентной диффузии. Метод турбулентной диффузии основан на определении вертикального потока водяного пара в приземном слое атмосферы измерением градиентов метеорологических элементов в этом слое. Расчетная формула будет иметь вид:

$$E = aK\Delta l. \quad (64)$$

Здесь E — интенсивность испарения или поток водяного пара;
 Δl — разность между значениями абсолютной влажности на двух уровнях Z_1 и Z_2 ;

K — значение коэффициента турбулентного обмена на высоте 1 м;

a — коэффициент, зависящий от высот Z_1 и Z_2 и от размерностей Δl и K .

Для выведения коэффициента обмена K_1 Главной географической обсерваторией предложено несколько расчетных формул, сводка которых дана в работах ГГО.

Для вычисления испарения следует измерить скорость ветра на одном или двух уровнях, также разности температуры Δt и влажности воздуха Δl между двумя уровнями Z_1 и Z_2 . В случае, когда наблюдения производятся над подстилающей поверхностью с высоким травостоем, все высоты отсчитываются от верхней границы слоя вытеснения Z_b . Высота Z_b определяется путем наблюдений. Таким образом, для использования метода турбулентной диффузии на сельскохозяйственных полях необходимо измерять как минимум 6 величин: ΔH , Δt , Δl , Z_1 , Z_2 , Z_b .

Основным недостатком метода является ограниченность его использования при малых скоростях ветра и в случаях неоднородной подстилающей поверхности или сильно пересеченного рельефа, а также невозможность ведения градиентных наблюдений в районах с частыми осадками.

Неточность в измерении упомянутых выше шести параметров и естественная вариация их во времени и пространстве вызывает ошибки метода. Величина относительной ошибки в определении испарения возрастает с уменьшением периода, для которого оно вычисляется, и тем больше, чем меньше повторностей приборов, с помощью которых производятся градиентные наблюдения (т. е. чем меньше 10-минутных серий наблюдений в час).

Для снижения случайных ошибок до приемлемого на практике размера требуется не менее трех 10-минутных серий в срок (или трех повторностей приборов). Число необходимых повторностей резко увеличивается при установлении испарения за более короткие промежутки времени.

Помимо диффузионного метода, потери на испарение можно определять уравнением теплового баланса. Его расчетная формула имеет следующий вид:

$$E_b = \frac{(R - B) \Delta l}{\Delta t + b \Delta t}, \quad (65)$$

где R — радиационный баланс, $\text{кал/см}^2/\text{мин}$;

B — тепловой поток в почву, имеющий ту же размерность;

b — коэффициент, величина которого зависит от размерностей Δl (при Δt в градусе и Δl — в миллибарах $b = 0,64$).

В отличие от предыдущего метода здесь не учитывается коэффициент турбулентного перемешивания, а следовательно, и скорость ветра, однако уточняются данные радиационного баланса и теплообмена в почве. Опысываемый метод более трудоемкий и сложный, чем метод турбулентной диффузии, и используется не на всех балансовых работах.

При выявлении испарения методом теплового баланса, как и диффузионным, могут быть случайные ошибки.

Рассматриваемый метод считается наиболее теоретически обоснованным: расчетная формула не содержит эмпирических параметров. Технические осложнения при использовании метода вызваны необходимостью вводить в расчет величины, для нахождения которых требуется измерять температуру и влажность верхнего 20-сантиметрового слоя почвы. Существенный недостаток этого метода, как и предыдущего, — невозможность ведения наблюдения во время выпадения осадков.

Для установления испарения и транспирации на площади, занятой различными культурами, применяется формула, предложенная А. Н. Костяковым:

$$E_1 = (\alpha J_1 \varepsilon_1 + \beta J_2 \varepsilon_2 + \dots + n J_n \varepsilon_n), \quad (66)$$

где $\alpha, \beta, \dots, n$ — части орошаемой площади, имеющей различные культуры ($\alpha + \beta + \dots + n = 1$);

$J_1, J_2, \dots$ — урожай каждой культуры на 1 га, т;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$ — коэффициент водопотребления, м³/т урожая.

Модуль стока q_c устанавливается из формулы

$$q_c = \Sigma q_1 t_1, \quad (67)$$

где q_1 — модуль внутреннего стока с 1 га дренируемой площади, м³/сутки;

t_1 — продолжительность периода при значении модуля, равном q_1 , сутки.

Водоотдача от грунтов выводится по А. Н. Костякову:

$$\delta = (\beta_{\max} - \beta_0) \left[1 + \frac{H}{\Delta H} \cdot \frac{\beta_0 - \beta_{\text{нал}}}{\beta_{\max} - \beta_0} \right], \quad (68)$$

где β_0 — пористость грунта, об. %;
 β_{max} — максимальная молекулярная влагоемкость, %;
 $\beta_{\text{нал}}$ — наличная влажность грунта, %;
 H — мощность зоны аэрации, м;
 ΔH — высота подъема грунтовых вод, м.

БАЛАНСОВЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ БОЛЬШИХ ТЕРРИТОРИЙ

Для изучения баланса грунтовых вод в широких масштабах может быть использовано уравнение, введенное А. Н. Костяковым:

$$\delta \Delta H = (M + S) + P + (V - V_0) - \\ - (\varepsilon_1 + \varepsilon_0 - K) + (W - W_0) + (g - O_{\text{т}}), \quad (69)$$

здесь M — количество воды, поданной на орошаемые поля за время t ;

S — количество воды, поступающей из оросительных каналов путем фильтрации за время t ;

P — атмосферные осадки, проникающие в почву за время t (сюда же включается конденсация водяных паров);

V — избыточные поверхностные воды, поступающие в системы и задерживающиеся в них вследствие неурегулированного водозабора, затопления во время паводков, прорывов каналов и дамб, притока ливневых и талых вод, разлива сбросных вод за время t ;

V_0 — сток избыточных, не поглощаемых почвой поверхностных вод за пределы орошаемого массива и сброс воды за его пределы за время t ;

W — запас влаги в почвогрунте орошаемого массива выше уровня грунтовых вод в начале t ;

W_0 — запас влаги в той же толще почвогрунта, который удерживается без стекания в грунтовые воды;

g — подземный приток грунтовых вод в пределы площади извне: грунтовый поток, проходящий через массив или поступающий в него в силу общих гидрогеологических условий; приток фильтрационных вод с соседних затопленных земель (с рисовых полей, промываемых площадей и др.) за время t ;

От — отток грунтовых вод за пределы орошаемого массива в водоприемники или в сторону соседних неорошаемых земель путем бокового растекания или выравнивания вследствие гидродинамического давления за время t ;

ε_1 — влага, потребляемая растениями и древесной растительностью (транспирация) за время t ;

ε_0 — влага испаряемая почвой за время t ;

K — влага, поступающая в почву с поверхности грунтовых вод за время t при неглубоком их залегании;

δ — коэффициент свободной пористости грунта;

ΔH — изменение горизонта грунтовых вод, среднее на данном массиве за время t .

Все члены уравнения выражаются в $\text{м}^3/\text{га}$.

Коэффициент свободной пористости грунтов δ выводится на основании изучения влажности грунтов (весовой и объемной) в полевых условиях.

Изменение уровня грунтовых вод ΔH определяется как средневзвешенная величина колебания уровня в наблюдательных скважинах, заложенных на территории массива, или в наблюдательных колхозных колодцах; эта величина отражает в основном с достаточной для практики точностью то, что происходит в динамике и балансе грунтовых вод под массивом.

Подаваемая на орошаемые поля вода учитывается по данным балансовой гидрометрии оросительной системы или непосредственно на поле (приложение 3).

Количество воды, теряемой каналами на фильтрацию S , устанавливается на основании данных балансовой гидрометрии и КПД системы или путем непосредственных наблюдений в поле за потерями из каналов (приложение 7). При правильном учете разбора всей воды в головной части магистрального канала может быть подсчитан КПД системы, а тем самым определены потери воды на фильтрацию из оросительной сети.

Величина атмосферных осадков P берется по данным ближайшей метеорологической станции, но для баланса грунтовых вод представляет значение не общее количество атмосферных осадков, выпавших на территории массива, а главным образом то количество осадков, которое остается в поле за вычетом стока.

Величина транспирации выявляется различными методами. При помощи лизиметров можно суммарно вычислить ε_0 и ε_1 (приложение 6). K определяется лизиметрами, W и W_0 — влагомерами или методом отбора проб грунта и анализа влаги

в них, приток грунтовых вод извне q и отток их $O_{\text{т}}$ — по формулам или испарителями (приложение 5), V и V_0 — водомерами (приложение 3).

При прогнозировании режима грунтовых вод методом составления их баланса для массивов, орошаемых в будущем или подлежащих реконструкции, помимо элементов, входящих в уравнение баланса, необходимо учитывать величину кип и кпд по Н. Н. Фаворину [37].

Обозначая суммарное количество воды, расходуемой на транспирацию культурной растительности и испарение с почвы площади, занятой культурными растениями, через E_1 , испарение с почвы и транспирацию дикой растительности перелогов и неорошаемых площадей — через E_2 , общее выражение потерь на испарение со всей площади массива можно написать по Н. Н. Фаворину:

$$K_3 E_1 + (1 - K_3) E_2. \quad (70)$$

Тогда

$$K_3 E_1 + (1 - K_3) E_2 - [K_3 M - I_b - K_3 M (1 - K_2) - K_3 O_{\text{т}} + P(1 - K)] \quad (71)$$

составит количество воды, взятой растениями из грунтовых вод.

Величина, вызывающая изменение уровня грунтовых вод, находится из формулы

$$K_3 M (1 - K_D) - [K_3 E_1 + (1 - K_3) E_2 - [K_3 M - I_b - K_3 M (1 - K_D) - K_3 O_{\text{т}} + P(1 - K)]], \quad (72)$$

что равно

$$K_3 M - I_b + P(1 - K) - K_3 O_{\text{т}} - K_3 E_1 + K_3 E_2 - E_2. \quad (73)$$

Изменение уровня грунтовых вод, выраженное в мм/га, получится из уравнения

$$\frac{K_3 M - I_b + P(1 - K) - K_3 O_{\text{т}} - K_3 E_1 + K_3 E_2 - E_2}{10\,000\delta}, \quad (74)$$

где δ — коэффициент свободной пористости грунта;

K_3 — коэффициент использования площади;

M — количество оросительной воды, поданной на поле;

$O_{\text{т}}$ — отток грунтовых вод;

I_b — поверхностный сток и испарение оросительной воды;

- P — атмосферные осадки;
 K — коэффициент стока;
 K_D — коэффициент полезного действия;
 E_1 — суммарные потери на испарение и транспирацию со всего орошаемого массива;
 E_2 — суммарные потери влаги на испарение и транспирацию дикой растительностью перелогов и неорошаемых площадей.

При залегании грунтовых вод глубже 10 м для прогнозирования режима грунтовых вод в уравнении (74) целесообразно учесть величину $W - W_0$ изменения запаса влаги в зоне аэрации.

И. А. Шаров [40], решая вопрос о прогнозе подъема уровня грунтовых вод в разных природных районах Голодной степи, составил балансовое уравнение

$$\delta \Delta H = (P + M + M_1 + S) - (\varepsilon_2 + \varepsilon'_0 + \varepsilon''_0 + \varepsilon) - \text{От}. \quad (75)$$

Здесь P — поступление воды в район орошения от осадков;

M — поступление воды от поливных вод;

M_1 — то же, от промывных вод;

S — то же, из ирригационной сети;

ε_2 — расход воды на естественное испарение;

ε'_0 — то же, на испарение во время орошения;

ε''_0 — то же, на испарение во время пахоты;

ε — транспирация;

От — отток грунтовых вод;

$\delta \Delta H$ — изменение уровня грунтовых вод.

Элементы уравнения выражены в $\text{м}^3/\text{га}$.

В этом балансе не учитывается приток грунтовых вод извне для отдельных районов, расположенных внутри орошаемой территории, или для целинных массивов, а также испарение с водной поверхности каналов.

Основными элементами баланса грунтовых вод, по А. В. Лебедеву [20], являются 1) положительное питание грунтовых вод (W_1 , $\text{м}^3/\text{сутки}$): инфильтрация атмосферных осадков, конденсация водяных паров, просачивание поливных вод в ирригационных районах; 2) отрицательное питание — расход грунтовых вод на испарение и транспирацию растений (V , $\text{м}^3/\text{сутки}$); 3) подземный приток грунтовых вод, поступающих из соседних территорий (Q_1 , $\text{м}^3/\text{сутки}$); 4) подземный отток грунтовых вод из пределов выделенного уча-

стка (Q_2 , м³/сутки). Алгебраическая сумма данных элементов соответствует изменению запасов грунтовых вод за сутки, выраженному величиной

$$\frac{\delta \Delta H}{\Delta t},$$

где δ — водоотдача водоносных горизонтов при понижении уровня воды или недостаток насыщения грунта водой при повышении уровня;

ΔH — величина изменения уровня грунтовых вод за время Δt , м/сутки.

Обозначив площадь балансового участка через ω (м²), учитывая указанные размерности величин, А. В. Лебедев составил следующее уравнение баланса грунтовых вод:

$$\frac{\delta \Delta H}{\Delta t} = \frac{Q_1 - Q_2}{\omega} + W_1 - V. \quad (76)$$

Алгебраическую сумму величин положительного и отрицательного питания грунтовых вод в единицу времени часто обозначают через Δq . Уравнение (76) можно переписать в виде

$$\frac{\delta \Delta H}{\Delta t} = \frac{Q_1 - Q_2}{\omega} + W. \quad (77)$$

При рассмотрении плоского потока грунтовых вод вместо величин расходов воды Q_1 и Q_2 следует принимать значения единичных расходов q_1 и q_2 , отнесенные к единице ширины потока. Вместо площади балансового участка в данном случае достаточно учесть протяженность выделенного элемента потока грунтовых вод Δx .

Уравнение (77) будет иметь вид:

$$\frac{\delta \Delta H}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta x} + W, \quad (78)$$

где $\Delta q = q_1 - q_2$.

Уравнение баланса грунтовых вод (78) отражает непосредственную связь между режимом (колебанием уровня ΔH) грунтовых вод и элементами баланса. На основании этих уравнений, заранее зная изменения величин элементов баланса, можно вычислить предстоящее повышение или понижение уровня грунтовых вод.

Элементы баланса грунтовых вод непосредственно связаны с метеорологическими факторами.

Величина питания грунтовых вод может быть выражена уравнением

$$W = N - V + K + \frac{P_1 - P_2}{\omega} - (D_1 + D_2), \quad (79)$$

где N — количество выпавших осадков;
 V — суммарное испарение с поверхности земли;
 K — конденсация водяных паров на дневной поверхности и в зоне аэрации;
 P_1, P_2 — приток и отток поверхностных вод для данного района, объемные единицы измерения;
 D_1, D_2 — увеличение запасов воды на поверхности земли и в зоне аэрации (при уменьшении запасов влаги величины D_1 и D_2 являются отрицательными);
 ω — площадь балансового района.

Элементы уравнения — в $\text{м}^3/\text{сутки}$ на единицу площади.

В общем виде уравнение баланса грунтовых вод, предложенное Н. В. Роговской [31], имеет следующий вид:

$$\Delta W = \frac{\delta \Delta H}{\Delta t} = (A - E + K) + (З - С) + \frac{П - От}{\omega} + \frac{\Delta W_1}{\omega}. \quad (80)$$

Здесь ΔW — изменение запаса грунтовых вод на площади балансового участка за расчетный период времени, м^3 ;

ΔH — изменение уровня грунтовых вод, м ;

δ — водоотдача (при понижении уровня грунтовых вод) или недостаток насыщения (при повышении уровня);

$A - E + K$ — атмосферные осадки минус суммарное испарение плюс конденсация, $\text{м}^3/\text{сутки}$;

$З - С$ — поверхностный приток минус поверхностный сток (приток из каналов и рек, приток за счет поливных, фильтрационных, сбросных, паводковых вод), $\text{м}^3/\text{сутки}$;

$П - От$ — приток грунтовых вод минус их отток, $\text{м}^3/\text{сутки}$;

ΔW_1 — изменение запасов в зоне аэрации, $\text{м}^3/\text{сутки}$;

Δt — расчетный период времени, сутки;

ω — площадь балансового участка, м^2 ;

Элементы баланса определяются экспериментально, путем непосредственных замеров или с помощью имеющихся эмпирических зависимостей, для чего на изучаемой территории организуются гидрометрические, метеорологические и опытно-экспериментальные исследования.

Уравнение водного баланса орошаемого поля, представленное В. А. Смирновым, пишется таким образом:

$$W_n + A - B = W_k, \quad (81)$$

где W_n — начальная влага в почве;
 A — приходная часть баланса;
 B — расходная часть баланса;
 W_k — остаточная влага в почве в конце периода.

Элементы выражены в $m^3/га$.

В приходную часть водного баланса орошаемого поля входят осадки (O), поливная вода (P), вода, поступившая от конденсации водяного пара (K), и вода, поступившая из нижних слоев почвы (q).

$$A = O + P + K + q. \quad (82)$$

Расходная часть баланса составляется из испарения с почвы (E_n) и транспирации растений (E_r). Просачивание влаги в нижележащие слои почвы и поверхностный сток при правильно поставленном орошении исключаются.

$$B = E_n + E_r. \quad (83)$$

Следовательно, в развернутом виде баланс влаги орошаемого поля представляется так:

$$B_k = W_n + O + P + K + q - E_n - E_r. \quad (84)$$

Отсюда можно получить значение любой составляющей баланса, зная остальные его компоненты.

Сельскохозяйственные производственники обычно заинтересованы в информации о наличии запасов влаги в почве W_k . Удовлетворить эту потребность можно, регулярно определяя запасы влаги в почве путем взятия проб на влажность — буровым методом, хотя он очень трудоемок и недостаточно точен. Поэтому вполне естественно стремление мелнораторов получить сведения о запасах влаги в почве иными путями.

Одним из перспективных способов можно считать расчетный метод установления суммарного испарения по данным метеорологических наблюдений. Зная испарение и все остальные элементы водного баланса из уравнения (4), можно вычислить запасы влаги в почве.

Для баланса грунтовых вод любого отрезка времени М. М. Крылов [17] ввел уравнение

$$(B_m - B_n) \Delta h = x f + \frac{(f_k + f_n) + y_b}{10W} - (Z'_2 - \Sigma Z'_1) - (W_2 - W_1), \quad (85)$$

где $x f$ — атмосферные осадки, просочившиеся до грунтовых вод;
 f_n — просочившаяся до грунтовых вод часть поливных, промывных вод;
 Z'_2 — расходование грунтовых вод на испарение и транспирацию;
 $\Sigma Z'_1$ — поступление конденсационных вод;
 W_2 — отток подземных вод за пределы участка;
 W_1 — приток подземных вод в пределы участка;
 y_b — общее количество (расход) выклинивающихся грунтовых вод внутри участка;
 W — площадь участка, га;
 Δh — среднее изменение высоты положения уровня грунтовых вод в пределах рассматриваемого участка;
 B_m — полная влагоемкость грунта в зоне над уровнем грунтовых вод;
 B_n — полевая потенциальная влагоемкость в той же зоне;
 f_k — потери поверхностных вод на фильтрацию.

Элементы уравнения выражены в мм.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ГОРИЗОНТ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Опытные данные. Помимо динамики горизонта грунтовой воды, на опытных участках должно исследоваться влияние атмосферного давления как на истинный уровень, определяемый электродным и ртутным уровнемерами, так и на пьезометрический, записываемый лимниграфами или фиксируемый другими приборами.

М. А. Готальский [7], изучая влияние ветра и атмосферного давления на подземные воды в районе Гловских сланцевых рудников, установил, что, „кроме плавных и длительных колебаний дебита фонтанирующих скважин и источников, а также уровня воды в буровых скважинах и колодцах, связанных с атмосферными осадками и сезонами года, существуют еще более частые колебания уровня и дебита то в одну то в другую сторону, которые можно объяснить только изменением атмосферного давления“. Для проверки выдвинутого положения автор вел одновременные наблюдения за барометрическим давлением у устья скважины и за уровнем грунтовой воды в ней. В результате восьмисуточных наблюдений констатировано, что уменьшение атмосферного давления на 32 мм вызвало подъем воды в скважине на 15 см.

Аналогичные, но более длительные наблюдения осуществил и гидрогеолог А. А. Вейпус, выявивший эту же закономерность: при уменьшении атмосферного давления на 37 мм уровень воды в скважинах повысился на 18 и 19 см.

Согласно Н. И. Петрову [27], „повышение барометрического давления вызывает понижение пьезометрического уровня воды в скважинах, понижение барометрического давления — повышение уровня воды“. Подобное явление отмечено многими исследователями (М. А. Плотников, К. М. Макаров и др.).

Таким образом, в настоящее время точно установлено влияние барометрического давления на уровень напорных

вод в скважинах. Однако совершенно не выяснено, воздействует ли атмосферное давление на истинный и пьезометрический уровень грунтовой воды. Это можно разрешить путем организации наблюдений за атмосферным давлением, давлением почвенного воздуха и динамикой уровня грунтовой воды, как истинного, так и пьезометрического.

Атмосферное давление изучается барографом и ртутным чашечным барометром на опытном участке, давление воздуха в порах грунта, слагающего опытный участок,—подземным барографом на глубине 50, 100 и 200 см ниже поверхности земли (рис. 19).

Подземный барограф. Этот прибор, предложенный нами в 1938 г., представляет собой обычный барограф без часового механизма. На барабан наматывается катушка-реостат из никелиновой или другой проволоки высокого сопротивления диаметром 0,1 мм. Включая катушку в цепь и измеряя меняющееся сопротивление в ней, которое зависит от положения пера на барабане, можно с большой точностью определять давление воздуха в порах грунта в предусмотренных пунктах (на глубине 50, 100 и 200 см). Если катушка-реостат сделана из никелиновой проволоки сечением 0,1 мм, сопротивление одного витка составит 14,8 ом. Так как на 1 мм высоты катушки находится 10 витков, то положение ползунка можно фиксировать через каждые 0,1 мм длины барабана, что превышает точность замера, принятого на метеорологических станциях.

Воздействие гравитационных вод на механизм прибора устраняется сооружением небольшой камеры, сообщающейся с воздухом в порах грунта посредством отверстий, сделанных в дне камеры и ее боковых стенках. Влияние атмосферного давления на горизонт грунтовых вод отобразится коэффициентом, который определится по формуле

$$\mu = \frac{P}{n},$$

где P — изменение атмосферного давления, мм рт. ст. в единицу времени;

n — изменение уровня воды в скважине, мм.

ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

Опытные данные. На динамику уровня грунтовой воды в скважинах, кроме атмосферного давления, действует и температура воздуха.

Ф. Х. Кинг [12], анализируя таблицы двухсрочных измерений горизонта воды в колодцах и автограммы самопишу-

щих приборов, констатировал, что, кроме тех кривых, которые можно отнести за счет действия осадков и барометрического давления, фиксируются еще кривые, отражающие подъем воды в колодцах днем и опускание — ночью. Для установления влияния температуры воздуха он изготовил металлический бак высотой 172 см и диаметром 72 см и

Таблица 1

Время проведения опыта	Средняя температура почвы, °С		Колебания температуры, °С		Колебания уровня воды, см	
	до полудня	после полудня	до полудня	после полудня	до полудня	после полудня
Июнь	17,3	22,7	+5,4	—	+2,93	—
	22,7	18,3	—	-4,4	—	-2,81
	18,3	20,5	+2,2	—	+1,73	—
	20,5	17,4	—	-3,1	—	-2,10
	17,4	20,5	+3,1	—	+2,10	—
Июль	20,5	17,3	—	-3,2	—	-2,5
	19,4	26,3	+6,9	—	+4,8	—
	26,3	19,4	—	-6,9	—	-4,8
	19,4	23,5	+4,1	—	+4,3	—
	26,6	20,7	—	-2,8	—	-4,39

заполнил его землей. В центре бака была оставлена скважина, закрепленная гончарной трубой диаметром 12 см. В скважину наливалась вода до тех пор, пока она не заполнила поры песка и пока не образовался водоносный слой мощностью 28,8 см. Когда уровень в скважине установился, бак был выставлен в поле, где и следили за колебанием уровня воды и температурой грунта (табл. 1). В июне среднее колебание уровня воды в скважине равно 2,38 см, а в июле — 4,56 см. Но всегда — как при подъеме, так и при снижении уровня воды на 1 см — повышают или понижают температуру песка в баке в среднем на 1,4 — 1,5°. Чтобы окончательно убедиться во влиянии температуры на движение воды, в один из жарких дней цилиндр обливают холодной водой. Тотчас вода в скважине опускается и снова начинает подниматься после прекращения поливки. Через некоторое время опыт повторяется.

В результате опытов автор делает предположение, что расширение воздуха, содержащегося в капиллярных пространствах почти совершенно насыщенной водой почвы, из-за изменения объема при различной температуре может отчасти содействовать передвижениям воды в грунтах.

Опыт П. В. Отоцкого. П. В. Отоцкий [24] проводил работу по выяснению влияния температуры на пьезометри-

ческий уровень грунтовой воды в трубках. Большой сосуд он заполнил смесью из лесса и песка, а малый — песком. Температура грунтов определялась ртутными термометрами, вставленными в боковые стенки цилиндра.

Верх и низ каждого цилиндра на $1/3$ высоты обматывали резиновой трубкой. Температуру грунтов вверху цилиндров изменяли, пропуская горячую или холодную воду по верхним резиновым обмоткам, а в их основаниях — по нижним резиновым обмоткам, или просто погружая цилиндры в снег. Иногда температурные условия в грунтах цилиндров меняли путем охлаждения или нагрева воздуха помещения, где находились цилиндры.

Многочисленными опытами, проведенными в различных условиях, установлено, что подъем уровня воды в пьезометрах на 3 см при повышении температуры грунта на 1° объясняется возрастанием упругости почвенных газов, содержащихся в порах грунта, и наоборот, его падение — снижением давления этих газов.

Опыт в камере искусственного климата. Данный опыт мы проводили в термогигрокамере, сконструированной Ташкентской геофизической обсерваторией в 1937 г. Целью опыта было выяснение влияния температуры воздуха и упругости водяного пара на пьезометрический и истинный уровень грунтовой воды, определяемый электродным уровнемером, а также влияния температуры воздуха на динамику воды в порах песка.

В результате многочисленных исследований выявлено следующее.

1. На пьезометрический и истинный уровень грунтовой воды температура воздуха атмосферы в камере непосредственного влияния не оказывает.

2. Нагрев и охлаждение изученной среды (песка) сказывается на положении пьезометрического и истинного уровня грунтовой воды.

3. Повышение температуры испытуемой массы (песка) способствует росту упругости водяных паров в порах песка. Это добавочное порциональное давление водяных паров, выжимая из зоны капиллярного поднятия воду, содержащуюся в порах песка, наращивает зону грунтовой воды. Количественно данный процесс характеризуется увеличением упругости водяных паров в поясе расположения грунтовой воды (за счет капиллярного сброса в скважине) на 4,5 см и истинного, определяемого электродным уровнемером, — на 2 см.

4. Падение температуры песка в зоне расположения менисков на 9° уменьшило упругость водяных паров пор песка.

на 19 мм рт. ст., а это снизило уровень грунтовой воды в скважине на 4,5 см, а истинный — на 2 см.

5. Для подъема уровня грунтовой воды в скважине на 1 см требовалось увеличение упругости водяных паров пор песка на высоте расположения менисков на 4,4 мм рт. ст., и наоборот, для его снижения — уменьшение упругости на 4,2 мм. рт. ст. Чтобы поднять на 1 см истинный уровень грунтовой воды, необходимо увеличить упругость водяных паров в зоне расположения менисков на 9,5 мм, а чтобы снизить его — уменьшить упругость на столько же.

6. Возрастание упругости водяных паров воздуха на 19 (с 12 до 31) мм рт. ст. вызвало подъем уровня грунтовой воды в скважине на 9 мм. На истинном уровне грунтовой воды прирост порционного давления паров воды не сказался.

7. Снижение упругости водяных паров воздуха в камере на 12 (с 24 до 12) мм рт. ст. способствовало падению уровня грунтовой воды в скважине на 7 мм и не оказало влияния на истинный уровень.

Таким образом, для подъема или снижения уровня грунтовой воды в скважине на 1 см требовалось увеличение или уменьшение упругости водяных паров воздуха камеры на 20 мм рт. ст.

8. Температурная волна, которая возникла за счет увеличения температуры воздуха с 28,5 до 40°, распространялась в изучаемую среду со скоростью 4 см/час при влажности песка 3,5%, со скоростью 7 см/час — при влажности 5—6%; а та, которая возникла за счет снижения температуры воздуха с 40 до 37°, — со скоростью 2,6 мм/час при влажности песка 2—3%.

9. Потери воды из изучаемой среды за счет внутрипочвенного испарения при созданных метеорологических условиях составили 8 л/сутки с 1 м², при температурном градиенте в изучаемой среде 0,2°/10 см.

10. Накопления влаги за счет внутрипочвенной конденсации в изучаемой среде во время опыта не наблюдалось.

11. Общее количество испарившейся воды с площади 0,44 м² за время опыта равно 0,008 м³.

Цифры, полученные при опытах, подтверждают влияние температуры на грунтовые воды и на миграцию воды в зоне капиллярного увлажнения.

Воздействие температуры воздуха на горизонт грунтовых вод изучается путем организации наблюдения за тепловым режимом в приземном слое атмосферы, за температурой грунтов и грунтовых вод.

Вращающаяся стойка. В целях определения температуры и влажности воздуха в приземном слое атмосферы на стойке устанавливаются психрометры Асмана малой модели. Для того чтобы в период замера трубки психрометра становились против ветра, стойка делается вращающейся. Замеры температур и влажности воздуха производятся на следующих расстояниях (см) от пункта замера до поверхности земли.

<i>Пункт</i>	<i>Расстояние</i>
1	0
2	5
3	15
4	50
5	100
6	150
7	200

Установка АН-38. Динамика температурного градиента, как и градиента упругости водяных паров воздуха, может изучаться прибором нашей конструкции, предложенным в 1941 г.

Применение прибора в опытных работах позволит более точно фиксировать температурные градиенты и градиенты упругости водяных паров в приземном слое атмосферы. Прибор тщательно градуируется.

Для установки АН-38 пользуются дистанционными аспирационными психрометрами конструкции Коганова с полупроводниковыми термометрами сопротивления.

Дистанционные градиентные установки. В Главной геофизической обсерватории ГУГМС для определения градиентов температур и влажности воздуха в приземном слое атмосферы разработана дистанционная градиентная установка. Она состоит из дистанционного пульта, предназначенного для измерения температуры и влажности воздуха, с полупроводниковыми сопротивлениями на десять точек, датчиков температуры (ММ-4 на 2 ком), семи контактных анемометров с шеститочечными регистраторами, пяти защитных будок и других приспособлений.

В Агрофизическом институте ВАСХНИЛ запроектирована установка для непосредственной записи разности температур и влажности воздуха между двумя уровнями в приземном слое воздуха.

Оба прибора существенно облегчают градиентные наблюдения. Они могут с успехом применяться и в микроклиматических исследованиях.

Термометры для изучения температуры поверхности почв. Температуру поверхности грунта изучают ртутными термометрами и термопарами. Берут четыре ртутных термометра, оболочку каждого из них погружают наполовину в землю. В плане их ориентируют по странам света, обращая ртутные шарики к пункту замера. За температуру поверхности грунта принимают среднее показание из четырех отсчетов. Она измеряется термопарами по Пенкевичу или по Фомину и Б. А. Айзенштату.

Динамика температуры поверхности почв выявляется полупроводниковыми термометрами системы В. Г. Карманова.

Термометры для изучения температуры грунтов зон аэрации. Для определения температур верхнего слоя грунта (на глубину до 20 см) употребляются проверенные и внедренные в практику ртутные термопары системы Савинова. Термометры Шукевича используются для замера температур грунтов на глубине от 20 до 40 см ниже поверхности земли. На меньших глубинах они дают менее точные результаты, чем термопары Савинова. Поправка на выступающую часть термометра вводится по Хвольсону. Для взятия отсчетов по термометрам, вставленным в почву, применяются перископы, для изучения температур грунтов глубже 20—40 см — вытяжные термометры.

Вытяжные термометры опускаются в пластмассовые трубы, которые вставляются в скважины. Резервуар термометра, помещенного в оправу, окружен мелкими металлическими опилками, насыпанными через отверстие, которое потом замазывается воском. Опилки насыпают для сохранения достаточной температурной инерции термометра, необходимой для того, чтобы его температура не изменилась за то время, пока вытягивают его и производят отсчет.

Как выявлено испытаниями, при такой монтажке показания термометров изменяются на $0,1^{\circ}$ только по истечении 30—40 сек., что вполне достаточно для производства отсчетов.

При помощи винтов оправка с термометром прикрепляется к палке, на другой конец которой надевается колпачок с кольцом. Длина палки зависит от глубины, на которую устанавливается термометр.

Палка с укрепленной на ней оправой вставляется в пластмассовую трубку, имеющую на конце металлическую насадку — гильзу. Палка должна входить в трубку свободно. Необходимо следить за тем, чтобы термометр, опущенный на палке в пластмассовую трубку, обязательно слегка касался нижней металлической гильзы, так как только в этом

случае можно получить неискаженные данные о температуре почвы. Вся его тяжесть должна падать только на верхний колпачок с кольцом.

Пластмассовая труба покрывается масляной краской, причем та часть, которая погружается в землю, окрашивается обычно в зеленый цвет, а часть, выступающая над почвой, — в белый.

Трубы делаются из пластмассы: их плохая теплопроводность исключает возникновение большого теплообмена между верхними слоями почвы и термометром.

Электрические термометры. Для определения температуры грунтов на больших глубинах пользуются электрическими термометрами, работающими по термоэлектрическому принципу (или по принципу сопротивления). Они позволяют производить отсчеты, находясь даже на довольно значительном расстоянии от места измерения температур.

В случае применения термоэлектрических термометров на глубинах ниже 40 см или даже во всех пунктах измерения температур грунта термопары делаются из медной и константовой проволоки. Эта термопара дает термоэлектродвижущую силу, постоянно возрастающую с повышением температуры. Диаметр проволок верхних слоев равен 0,3 мм, а нижних — 0,5 мм. Для удобства замера электродвижущей силы по отдельным термопарам при минимальной затрате времени без учета величин сопротивления, введенных в измерительный контур, используется компенсационная измерительная схема, описанная Александровым и Куртеном, или схема, предложенная С. Линдеком.

Электрические термометры сопротивления изготавливаются из платиновой или железной проволоки диаметром от 0,05 до 0,1 мм. По практическим соображениям сопротивление термометра должно быть около 20—100 ом.

Путем рационального выбора важнейших элементов измерительной схемы устраняется влияние нагрева термометра током при зажиме контакта и сопротивления у подводящих проводов. При применении электрических термометров среда вокруг термоспая и термометров сопротивления не меняется и не сообщается непосредственно с наружным воздухом атмосферы, как это имело место при вытяжных термометрах. Грунт в пункте расположения термоспая и термометра сопротивления остается целостным, со всеми его особенностями, следовательно, тех расхождений в показаниях температур грунта, которые получаются при вытяжных и электрических термометрах, здесь быть не может. Дешевизна, простота и точность в показаниях температур — незаменимые свойства электротермометров.

Физическая сущность рассматриваемых приборов подробно описывается С. М. Кульбышем [19].

Электрические схемы установок для измерения температуры почвы приводятся на рис. 1. Термометры сопротивления (рис. 1, а) пояснений не требуют. Схема с термопарами (рис. 1, б) также достаточно проста, но в данном случае с помощью гальванометра поочередно определяется разность температуры холодного спая, которая устанавливается термометром, и температуры спаев.

Сопротивление цепей всех термопар должно быть равным, иначе чувствительность для разных термопар будет неодинаковой. Такого рода установки имеют ряд преимуществ по сравнению с вытяжными термометрами. Измерение температуры производят, не извлекая термометры, и при необходимости могут осуществлять на некотором расстоянии от установки. Однако следует помнить, что описанные приборы при эксплуатации требуют более внимательного и квалифицированного обслуживания, чем вытяжные термометры.

Электротермометры сопротивления или термопара на опытном участке располагаются на следующих расстояниях от пункта замера до поверхности земли, м.

Пункт	Расстояние
1	0
2	0,05
3	0,10
4	0,20
5	0,40
6	0,60
7	1,00
8	1,50
9	3,00
10	5,00

Для менее точных исследований температура грунтов может измеряться и вытяжными термометрами.

Полупроводниковые термометры [по М. А. Коганову и Б. М. Шлимович, 3]. В последние годы в Агрофизическом

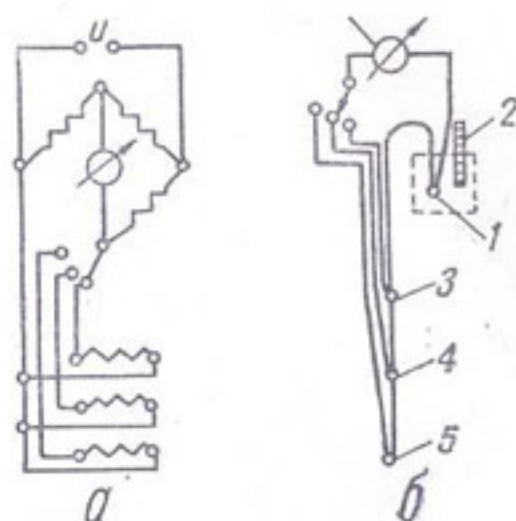


Рис. 1. Электрические схемы установок для измерения температуры почвы с помощью термометров сопротивления (а) и термопар (б) по В. Н. Кедровскому.
1—холодный спай, 2—термометр, 3, 4, 5—спай.

институте ВАСХНИЛ разработана аппаратура, основанная на применении новых чувствительных элементов — полупроводниковых термосопротивлений (ТС).

ТС отличаются тем, что находят зависимость электрического сопротивления от температуры, намного превышающей соответствующую характеристику всех известных металлических сопротивлений. Это позволило Институту широко использовать ТС не только в различных областях науки и техники, но и в агрономии для измерения температуры почв.

Во всех ТС применена схема неравновесного моста, удобная и простая.

Пахотный электротермометр предназначен для измерения температуры в пахотном слое почвы в диапазоне от 0 до 40° (с точностью до 0,5°).

В комплект прибора входят электротермометр, измерительный прибор, описание и паспорт.

Пахотный электротермометр состоит из рукоятки, полого металлического стержня, на наружной поверхности которого нанесены деления для определения глубины погружения термометра, наконечника из пластмассы и закрепленной на нем латунной конической трубки, внутри которой находится чувствительный элемент — ТС типа ММТ-6. С помощью выходящего из рукоятки электрического провода и штепсельной вилки термометр подключается к измерительному прибору.

Измерительный прибор представляет собой неравновесный мост, все детали которого смонтированы на эбонитовой панели круглой формы. Снаружи на панели находятся микроамперметр типа М-494 (на 50 мкА), шкала которого разделена на градусы температуры, рукоятка ключа, рукоятка регулировочного реостата и гнезда для включения штепсельной вилки термометра. Кожух прибора алюминиевый, цилиндрической формы. На внутренней стороне панели укреплены катушки сопротивления плеч моста. Батареи питания моста расположены внутри кожуха. В его дне имеется прямоугольное отверстие для замены батарей, закрытое выдвижной заслонкой.

При переноске и хранении измерительный прибор закрывается съемной крышкой. Диаметр измерительного прибора в закрытом состоянии равен 150 мм, высота — 70 мм, вес — около 1,1 кг.

Для измерения температуры пахотного слоя почвы следует:

1) снять крышку с измерительного прибора и убедиться, что стрелка микроамперметра совпадает с начальным делением шкалы, в случае необходимости поворотом корректора

при помощи отвертки установить стрелку против начального деления;

2) вставить штепсельную вилку термометра в гнезда на панели измерительного прибора;

3) ввести термометр в пахотный слой почвы на нужную глубину, которая определяется по делениям, нанесенным на наружной поверхности металлического стержня термометра;

4) проверить напряжение; для этого рукоятку ключа поставить в положение *K*; стрелку прибора установить против деления, в конце шкалы; вращением ручки потенциометра привести стрелку в нужное положение; в дальнейшем в процессе измерений периодически проверять и регулировать напряжение указанным способом;

5) установить рукоятку ключа в положении *И* и по истечение 2—3 мин. после погружения термометра в почву произвести отсчет температуры по шкале прибора;

6) по окончании измерений вывести термометр из почвы и выключить прибор; извлечь из гнезд прибора штепсельную вилку термометра;

7) если во время контроля напряжения поворотом рукоятки потенциометра не удастся довести стрелку прибора до начального деления шкалы, то сменить батареи;

8) оберегать прибор от ударов, толчков и тряски во избежание повреждения микроамперметра.

Почвенный точечный электротермометр. Прибор предназначен для дистанционного измерения температуры почвы или других сред в различных точках от -20° до $+40^{\circ}$. Точность варьирует в пределах $\pm 0,2^{\circ}$. Температуры устанавливаются стационарно на глубинах от 5 см до 5 м.

Прибор применяется для точного изучения теплового режима в летнее и зимнее время. В его комплект входят набор точечных электротермометров (до 20 шт.), измерительный агрегат, паспорт, сводные градуировочные листы, альбом.

Точечный электротермометр представляет собой полупроводниковый термометр сопротивления (ТС типа ММТ-4), смонтированный на конце резиновой трубки, сквозь которую проходят два провода к штепсельной вилке.

Агрегат состоит из неравновесного моста, заключенного в деревянный ящик, и распределительного устройства с переключателем на 10 или 20 позиций.

Неравновесный мост в отличие от моста для пахотного электротермометра имеет дополнительный ключ, служащий для изменения направления тока в цепи. Благодаря этому можно расширить интервал измеряемых значений сопротивлений и тем самым повысить точность прибора.

Почвенный штанговый электротермометр предназначен для дистанционного измерения температуры почвы на различных глубинах по одной вертикали. Диапазон определяемых температур — от -20 до $+40^{\circ}$. Точность измерений $\pm 0,2^{\circ}$. Термометр устанавливается стационарно. С его помощью выявляется профиль температур в почве до глубины 1 м в летнее и зимнее время.

В комплект устройства для измерения температуры почвы входят 2 почвенных штанговых электротермометра, измерительный агрегат, бур и паспорт.

Термометр состоит из свинченных между собой пластмассовых трубок наружным диаметром 20 мм, 5 соединительных пластмассовых втулок, на которых укреплены латунные кольца. Внутри них закреплены ТС типа ММТ-4. Концы соединительных муфт имеют заглушки. На нижнем конце стержня расположен заостренный эбонитовый наконечник. Верхняя часть стержня заканчивается металлической накладной фасонной гайкой с трубкой, служащей для вывода из стержня резинового шланга с проводами от ТС. Провода заканчиваются штепсельными вилками, необходимыми для подключения ТС к измерительному агрегату. Материал стержня обладает низкой теплопроводностью, и поэтому термометр не вносит искажений в естественное распределение температуры по глубине почвы. Для предотвращения конвекции внутри стержня отверстия в заглушках, разделяющих внутреннюю полость стержня на ряд переборок, заливаются парафином. Надежный тепловой контакт ТС с окружающей почвой обеспечивают латунные трубки, которые, в свою очередь, припаяны к кольцам. Всего в стержне имеется 5 ТС, расположенных на расстояниях, соответствующих фиксированным глубинам измерения (5, 10, 20, 50 и 100 см).

В агрегат входят неравновесный мост, заключенный в деревянный ящик, и распределительное устройство с переключателем на 10 позиций. Обе эти части используются в качестве измерительной схемы так же, как мост и распределительное устройство точечного электротермометра.

Электротермометры опускают в скважину, пробуренную на нужную глубину. Для обеспечения надежного теплового контакта между поверхностью металлических колец прибора и почвой желательно, чтобы после установки термометра до начала измерений прошел период времени, достаточный для естественной осадки почвы.

Микроэлектротермометр. Прибор предназначен для дистанционного измерения температуры с помощью полупро-

водникового термометра сопротивления (микротермосопротивления МТ-54) конструкции В. Г. Карманова.

Диапазон измеряемых температур от -5° до $+45^{\circ}$. Точность измерения $\pm 0,2^{\circ}$.

В комплекте прибора имеется 2 микроэлектротермометра, измерительный агрегат и паспорт.

Приборы для изучения упругости водяных паров в порах грунта. До глубины 50 см ниже поверхности земли влажность почвенного воздуха изучается гигрографом, предложенным А. Ф. Лебедевым и несколько видоизмененным нами.

Волосок гигрографа помещается в грунт, а записывающий аппарат — на поверхность земли. Изменение длины волоска передается на барабан механизма так же, как и в гигрографах Ришара, с тем лишь отличием, что волосок соединяется с рычагом аппарата посредством металлической нити, сделанной из инвара (металла с незначительным температурным коэффициентом удлинения), протянутого в стеклянной барометрической трубке. Волосок гигрографа помещается в кабинке (сверху сплошной, а снизу дырчатой), предохраняющей его от влияния гравитационных вод. Для устранения воздействия атмосферного давления на подземную часть прибора в конце трубки у поверхности земли устанавливается сосуд с маслом и воздушным колоколом.

Влажность воздуха в порах песка на глубине более 50 см определяется электрогигрографом. Подземная его часть представляет кабинку, которая, как и у почвенного гигрографа, соединяется со сплошной камерой, фиксирующей изменение длины волоска. Высота камеры 5—6 см, длина 10 см и ширина 3—5 см. Изменение длины волоска влечет за собой передвижение ползунка по реостату, сделанному из тонкой никелиновой проволоки, и колебание электрического сопротивления цепи, в которую включен реостат. Замеряя это меняющееся в системе сопротивление, можно с достаточной для практических целей точностью определить влажность воздуха в порах песка на любой глубине ниже поверхности земли.

Широкое применение для изучения упругости водяных паров в порах грунта зоны аэрации, вероятно, найдут психрометры с полупроводниковыми термометрами сопротивления.

Приложение 2

ПОЧВЕННЫЙ ДОЖДЕМЕР

Почвенный дождемер (рис. 2), предложенный нами в 1936 г., представляет собой раздвигающуюся по оси

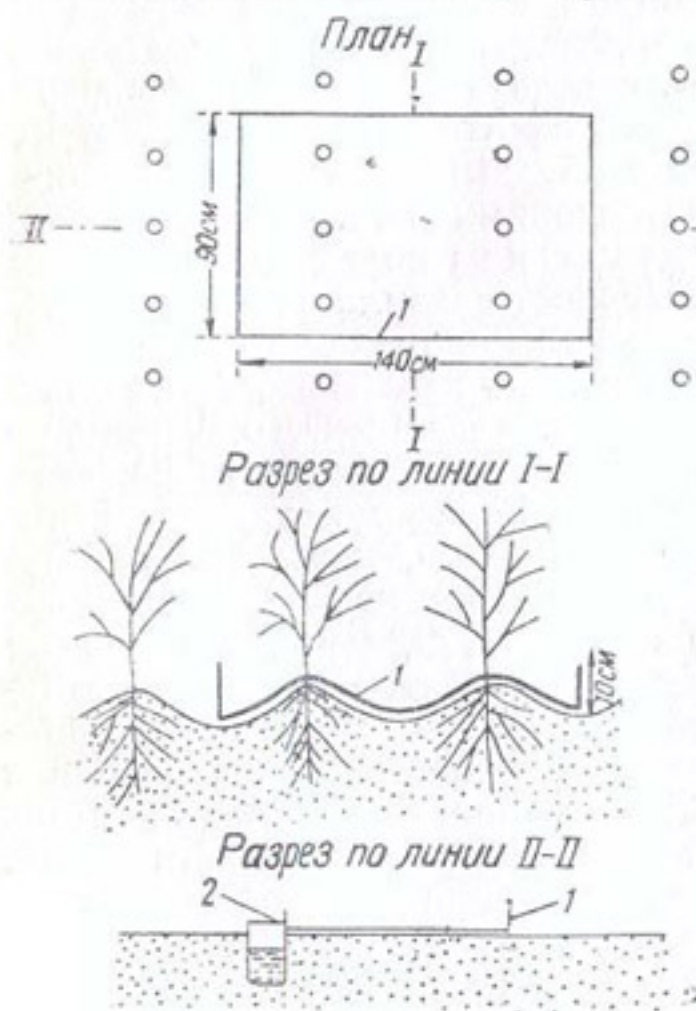


Рис. 2. Почвенный дождемер.
1—коробка, 2—дождемерный стакан.

каждого валика коробку с низкими (10 см) бортами и волнистым дном, плотно прилегающим к поверхности почвы хлопкового поля. Атмосферные осадки, которые попадают в этот испаритель, замеряются дождемерным стаканом, подставляемым под отводную трубку испарителя. Делается почвенный дождемер из белой тонкой жести. Им определяется та часть атмосферной влаги, которая задерживается растительным покровом. Площадь дождемера 1, 26 м².

ПРИБОРЫ ДЛЯ УЧЕТА ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Насадки [по М. В. Бутырину, 2]. Для учета оросительной воды в ирригационной сети при малых уклонах поверхности земли широко пользуются насадками системы М. В. Бутырина прямоугольного (рис. 3, *а*), круглого (рис. 3, *б*), квадратного (рис. 3, *в*) сечений. Они применяются на ирригационных каналах с расходами до 500 л/сек. При разработке их стандартных размеров (табл. 2) принимаются следующие соотношения и формулы:

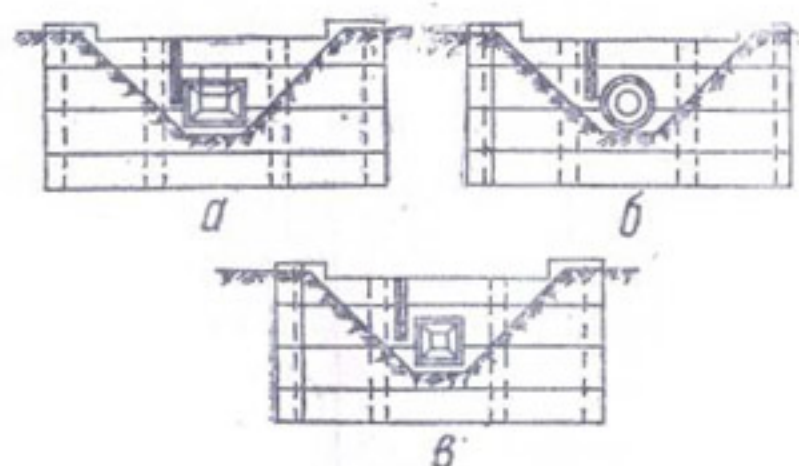


Рис. 3. Насадки конструкции М. В. Бутырина.
а—прямоугольный, *б*—круглый, *в*—квадратный

для круглого и квадратного насадков

$$D = 1,92d; \quad l = 2d;$$

где d — диаметр или сторона квадрата выходного сечения;
 D — то же, входного сечения;
 l — длина;
 для прямоугольного

$$b = 2a; A = a + 0,3;$$

$$l = 3a; B = a + 0,3;$$

где a — высота выходного сечения;
 b — его ширина;
 A — высота входного сечения;
 B — его ширина.

Формула расхода для круглого сечения

$$Q = 3,3 d^2 \sqrt{Z},$$

Т а б л и ц а 2

Диаметр, см		Длина насадок, см	Макси- мальный перепад	Пропуск- ная спо- собность, л/сек
выходной	входной			

Круглый насадок

10	20	20	20	15
15	29	30	20	35
20	38	40	25	70
25	48	50	25	100
30	57	60	25	150
35	67	70	25	200
40	76	80	25	300

Квадратный насадок

10	20	20	20	20
15	29	30	20	45
20	38	40	25	85
25	48	50	25	130
30	57	60	25	190
35	67	70	25	260
40	76	80	25	330

Прямоугольный насадок

10	20	19	20	37
15	30	29	20	82
20	40	38	25	165
25	50	47	25	250
30	60	57	25	370
35	70	66	25	500

для квадратного и прямоугольного

$$Q = 4,1 W \sqrt{Z},$$

где W — площадь выходного сечения;

Z — разность уровней.

В формулах размерность выражена в m .

Конструкции водомерных насадков состоят из щита, сколоченного из досок, и из вделанного в него сходящегося насадка круглого, квадратного или прямоугольного сечения. Круглый насадок изготавливается из железа толщиной 1—2 мм, а квадратный и прямоугольный — из трех-пятисантиметровых досок.

Размеры щита выбираются в зависимости от размеров канала, с тем чтобы щит врезался в дно и откосы для предотвращения фильтраций и подмыва водой. Со стороны верхнего и нижнего бьефа к нему прикрепляются рейки (с 2-миллиметровыми делениями) для отсчетов уровней воды.

Насадок вделывается в щит перпендикулярно. Над ним делается вырез на всю ширину для сбрасывания воды в случае закупорки отверстия большим плавающим телом.

Для изготовления водомерных насадков употребляется не только дерево, но и другие материалы.

Предел применения насадков увеличится, если смонтировать на щите 2—3 насадка, причем их оси должны находиться на одной горизонтальной плоскости. Расстояние между осями не менее двух входных диаметров.

Установка насадков. Выбирается прямой участок канала и в его середине вырывается траншея, в которой строго вертикально по отвесу и нормально к направлению течения воды в канале устанавливается щит насадка. Он должен быть заделан с забивкой плотной глины в дно и откосы канала на глубину 30—50 см.

Для правильной работы насадка необходимо:

1) затопить его отверстия. При измерении расхода горизонт воды перед насадком и за ним должен быть выше соответствующих верхних кромок входного и выходного отверстий на 5 см (рис. 4);

2) установить щит насадка перпендикулярно к оси потока и дну канала, чтобы ось потока совпадала в плане с осью насадка;

3) для обеспечения достаточного затопления отверстий насадка плавно понизить дно канала, согласно рис. 4;

4) добиваться соответствия пропускной способности насадка и канала. Нельзя выбирать размер насадка ориентировочно;

5) ввиду того что действующие напоры Z обычно сравнительно невелики, горизонты воды отсчитывать с точностью до 0,001 м. При расчете размера насадка следует исходить из того, чтобы при учете минимальных расходов канала

(при неавтоматизированном учете) величина Z была не меньше 3—4 см.

При выборе размеров насадка максимальный напор должен составить 0,30 м. Его форма зависит от размера сечения канала. Если местные условия допускают лишь незначительный подпор, то наиболее подходящими будут насадки прямоугольного сечения.

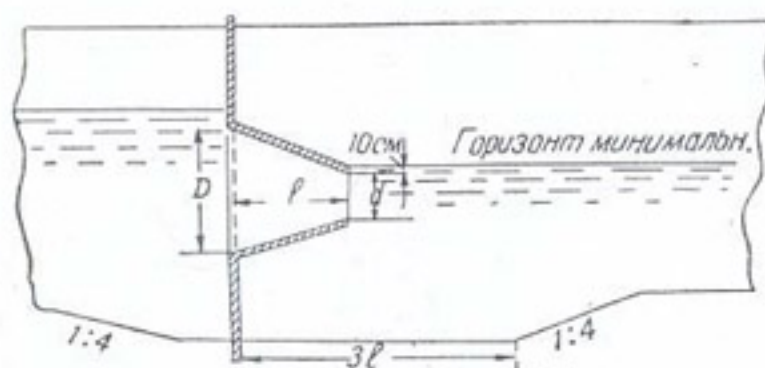


Рис. 4. Положение насадка в оросителе.

В некоторых случаях, если позволяет ширина русла участка, более выгодно пользоваться сдвоенными насадками (на одном щите) квадратного или круглого сечения. Подобный измеритель, не создавая больших подпоров при закрытии одного из отверстий, даст возможность учесть сравнительно малые расходы без перестановки сооружений.

Сдвоенные насадки следует располагать строго на одинаковой высоте с таким расчетом, чтобы между боковыми соседними краями отверстий расстояние было равно высоте входного отверстия.

Рейки водомерные. Для учета воды насадком со стороны верхнего и нижнего бьефов прикрепляют рейки. Чтобы по разности отсчетов выявить действующий напор, нули реек располагают строго на одном уровне.

Определив действующий напор по соответствующей таблице, находят расход по наблюдаемому напору.

Расход воды учитывается из разности показаний между верхней и нижней рейками ($H_1 - H_2 = Z$) по формуле

$$Q = 4,1 W \sqrt{Z}$$

или по таблицам зависимости $Q = f(Z)$ для квадратного (табл. 3), прямоугольного (табл. 4) и круглого (табл. 5) насадков.

Вилка конструкции А. П. Вавилова [см. работу М. В. Бутырина, 2], Для наблюдений за уровнями пользуются специальной измерительной линейкой, которой непосредствен-

но отсчитывают напор. Она состоит из вилки, один конец которой имеет шкалу с делениями, позволяющими производить отсчеты с точностью до 0,1 см, а другой — отметку,

Т а б л и ц а 3

На- пор, см	Расход воды, л/сек						
	a-10	a-15	a-20	a-25	a-30	a-35	a-40
1	4,10	9,2	16,4	25,6	36,9	50,2	65,6
2	5,80	10,3	23,45	36,6	52,8	71,8	93,8
3	7,10	16,0	28,37	44,3	63,3	86,9	113,5
4	8,20	18,45	32,8	51,3	73,8	100,5	131,2
5	9,20	20,7	36,74	57,4	82,7	112,5	146,9
6	10,04	22,7	40,18	62,8	90,4	123,1	169,7
7	10,93	24,4	43,3	67,7	97,4	132,6	173,2
8	11,60	26,1	46,4	72,5	104,4	142,1	185,6
9	12,30	27,68	49,2	76,9	100,7	150,7	196,8
10	13,0	29,15	51,8	80,98	116,6	158,7	207,3
11	13,6	30,6	54,5	85,1	122,5	166,7	217,8
12	14,2	31,92	56,7	88,7	127,7	173,8	227,0
13	14,8	32,21	59,0	92,3	132,8	180,8	236,2
14	15,3	34,5	61,34	95,8	138,0	187,0	245,3
15	15,9	35,7	63,5	99,3	142,8	194,4	253,9
16	16,4	36,9	65,6	102,5	147,6	200,9	262,6
17	16,9	38,0	67,0	105,6	152,0	206,9	270,3
18	17,4	39,11	69,5	108,7	156,5	213,0	278,1
19	17,9	40,13	71,5	111,7	160,9	219,0	286,0
20	18,4	41,23	73,7	114,5	164,5	224,5	293,2
21	18,8	42,2	75,1	117,4	169,0	230,0	300,4
22	19,3	48,17	76,9	120,2	171,1	235,5	307,7
23	19,7	44,1	78,7	123,0	177,1	241,1	314,0
24	20,10	45,2	80,4	125,6	180,1	246,1	321,4
25	20,50	46,12	82,0	128,1	184,5	251,1	328,0
26	20,90	47,0	83,6	130,7	188,2	256,1	334,6
27	21,30	47,97	85,3	133,3	191,9	261,2	341,1
28	21,70	48,8	86,8	135,6	195,2	255,7	347,0
29	22,10	49,6	88,2	137,9	198,5	270,2	352,9
30	22,45	50,46	89,8	140,4	201,8	274,8	358,9

Примечание. a—сторона выходного сечения насадка, см.

совпадающую с нулем шкалы первого конца. Вилку опускают таким образом, чтобы градуированный конец располагался с верхней стороны щита насадка, а конец с отметкой — с нижней. Установив этот конец отвесно на уровень воды в нижнем бьефе, по другому концу вилки производят отсчет деления, находящегося вровень с водой.

Двойной лимнископ САНИИРИ (по В. Н. Ярцеву). Прибор (рис. 5) имеет полую ось, на конце которой находится вращающийся шкив с поплавком и противовесом нижнего бьефа, и вращающаяся ось, помещенную внутри полой.

Таблица 4

Напор, см	Расходы воды, л/сек					
	$a \times b =$ 10 × 20	$a \times b =$ 15 × 30	$a \times b =$ 20 × 40	$a \times b =$ 25 × 50	$a \times b =$ 30 × 60	$a \times b =$ 36 × 70
1	8,20	18,4	32,8	51,2	74,0	100,4
2	11,55	26,1	46,4	72,2	104,5	141,5
3	14,2	32,0	56,7	83,7	123,0	173,4
4	16,4	36,9	65,6	102,5	148,0	200,0
5	18,4	41,5	73,5	115,0	165,0	224,0
6	20,1	45,2	80,3	125,5	181,0	246,0
7	21,7	48,8	86,7	135,0	195,0	266,0
8	23,2	52,2	93,0	149,0	209,0	284,0
9	24,6	55,4	98,4	159,0	222,0	301,0
10	26,0	58,3	104,0	162,0	232,0	317,0
11	27,2	61,2	109,0	170,0	245,0	338,0
12	28,4	64,0	114,0	177,0	256,0	347,0
13	29,5	66,5	118,0	185,0	267,0	362,0
14	30,6	69,0	123,0	191,6	277,0	375,0
15	31,8	71,5	127,0	197,5	287,0	390,0
16	32,8	75,9	131,0	205,0	295,0	402,0
17	33,7	76,1	135,0	211,0	305,0	413,0
18	34,9	78,5	139,5	217,5	313,0	426,0
19	35,8	80,5	142,0	223,0	322,0	437,0
20	36,7	82,5	146,5	229,0	331,0	448,0
21	37,6	84,5	150,3	235,0	339,0	460,0
22	38,5	86,8	154,0	241,0	347,0	471,0
23	39,4	88,8	157,5	246,0	355,0	482,0
24	40,2	90,6	161,0	251,0	363,0	492,0
25	41,0	92,3	164,0	256,0	370,0	502,0
26	41,8	91,2	167,5	261,0	377,0	512,0
27	42,6	96,0	170,5	266,0	385,0	522,0
28	43,3	97,8	173,5	271,0	391,0	530,0
29	44,0	99,2	176,5	276,0	398,0	540,0
30	45,0	101,0	179,5	281,0	405,0	550,0

Примечание. a , b —стороны выходного сечения, см.

На одном конце последней помещен шкив, на другом — стрелка. Через шкив оси перекинут тросик с поплавком и противовесом верхнего бьефа.

При понижении уровней в обоих бьефах на одинаковую высоту шкив с нанесенными делениями и стрелкой поворачивается одновременно в одну сторону и на один угол. Очевид-

Двойной лимнископ САНИИРИ (по В. Н. Ярцеву). Прибор (рис. 5) имеет полую ось, на конце которой находится вращающийся шкив с поплавком и противовесом нижнего бьефа, и вращающуюся ось, помещенную внутри полой.

Таблица 4

Напор, см	Расходы воды, л/сек					
	$a \times b =$ 10 × 20	$a \times b =$ 15 × 30	$a \times b =$ 20 × 40	$a \times b =$ 25 × 50	$a \times b =$ 30 × 60	$a \times b =$ 36 × 70
1	8,20	18,4	32,8	51,2	74,0	100,4
2	11,55	26,1	46,4	72,2	104,5	141,5
3	14,2	32,0	56,7	83,7	123,0	173,4
4	16,4	36,9	65,6	102,5	148,0	200,0
5	18,4	41,5	73,5	115,0	165,0	224,0
6	20,1	45,2	80,3	125,5	181,0	246,0
7	21,7	48,8	86,7	135,0	195,0	266,0
8	23,2	52,2	93,0	149,0	209,0	284,0
9	24,6	55,4	98,4	159,0	222,0	301,0
10	26,0	58,3	104,0	162,0	232,0	317,0
11	27,2	61,2	109,0	170,0	245,0	338,0
12	28,4	64,0	114,0	177,0	256,0	347,0
13	29,5	66,5	118,0	185,0	267,0	362,0
14	30,6	69,0	123,0	191,6	277,0	375,0
15	31,8	71,5	127,0	197,5	287,0	390,0
16	32,8	75,9	131,0	205,0	295,0	402,0
17	33,7	76,1	135,0	211,0	305,0	413,0
18	34,9	78,5	139,5	217,5	313,0	426,0
19	35,8	80,5	142,0	223,0	322,0	437,0
20	36,7	82,5	146,5	229,0	331,0	448,0
21	37,6	84,5	150,3	235,0	339,0	460,0
22	38,5	86,8	154,0	241,0	347,0	471,0
23	39,4	88,8	157,5	246,0	355,0	482,0
24	40,2	90,6	161,0	251,0	363,0	492,0
25	41,0	92,3	164,0	256,0	370,0	502,0
26	41,8	91,2	167,5	261,0	377,0	512,0
27	42,6	96,0	170,5	266,0	385,0	522,0
28	43,3	97,8	173,5	271,0	391,0	530,0
29	44,0	99,2	176,5	276,0	398,0	540,0
30	45,0	101,0	179,5	281,0	405,0	550,0

Примечание. a , b — стороны выходного сечения, см.

На одном конце последней помещен шкив, на другом — стрелка. Через шкив оси перекинут тросик с поплавком и противовесом верхнего бьефа.

При понижении уровней в обоих бьефах на одинаковую высоту шкив с нанесенными делениями и стрелкой поворачивается одновременно в одну сторону и на один угол. Очевид-

Над остовом расположены барабан с часовым механизмом суточного вращения (берется от термографа или гигрографа системы Ришара) и две стойки. Длина барабана и стоек 30—40 см. Стойки де-

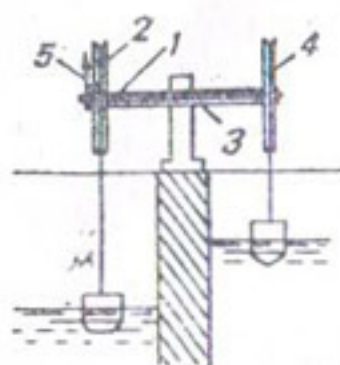


Рис. 5. Двойной лимнископ САНИИРИ

1—полая ось, 2, 4—с поплавком и противовесом нижнего бьефа, 3—вращающаяся ось, 5—стрелка.

лаются плоскими или имеют продольные прорезы. Снизу к остову привинчиваются две трубки, внизу дырчатые. Длина трубок 40—46 см. Внутри каждой из них находится поплавок. В его верхнюю центральную часть ввинчиваются круглые или плоские стойки, которые проходят через соответствующие отверстия в остоу. К верхним концам стоек привинчиваются перья. Лимниграф ставится на щит насадки и крепится к нему болтом. Фиксируется соотношение 1:1.

Пользование прибором. К извлеченному из футляра механизму прикрепляются трубки; прибор устанавливается на щит насадки и болтом крепится к нему. Поплавки опускаются на воду, проверяется их работа.

Заводят часовой механизм барабана и надевают ленту из 1-миллиметровой бумаги так, чтобы она плотно охватила барабан, а нижний ее обрез вплотную подходил до выступа внизу барабана (рис. 6). Барабан надевают на ось. Перья заливают чернилами и проверяют их работу. На ленте отмечают против каждого пера время начала записи. Установив перья и убедившись, что на ленте получается запись, закрывают лимниграф крышкой. До снятия ленты на ней делают вторую засечку и ставят дату, час и т. д.

Записи уровней воды в верхнем и нижнем бьефах смещены на половину окружности. При положении дырчатых трубок (рис. 6) ближе к щиту насадка и удлинении перьев можно привести записи к единому вре-

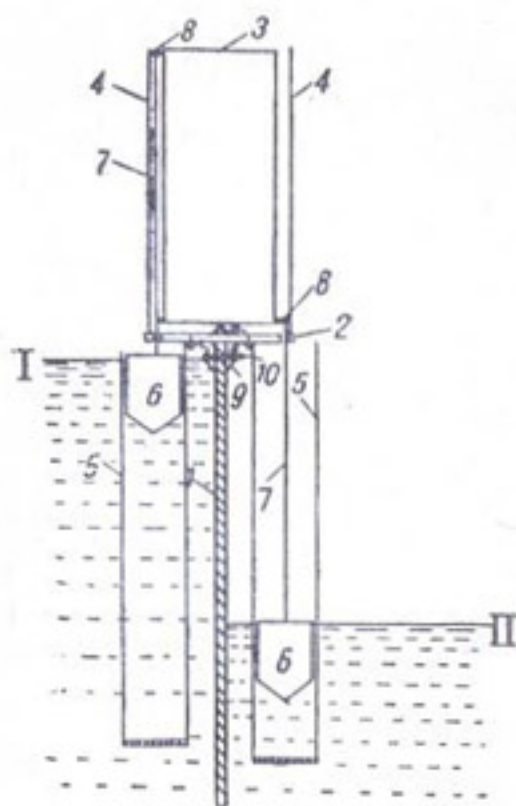


Рис. 6. Лимниграф-расходомер конструкции А. Ф. Сляднева

1—верхний и II—нижний бьефы, 1—щит насадки, 2—остов лимниграфа, 3—барабан с часовым механизмом, 4—стойки, 5—трубы дырчатые, 6—поплавки, 7—держатели, 8—перья, 9—угольники, 10—болт.

мени, поместив перья одно над другим. Точность замера уровня воды лимниграфом — 0,2 — 0,3 мм. Прибор регистрирует разность напоров в 30 — 40 см и может быть с успехом применен в таких районах, как Голодная степь, Хорезм и др. При усилении движущего механизма и удлинении барабана могут замеряться разности уровней в 50 — 60 см и более. Отличительная черта прибора в том, что он позволяет замерять средний уровень воды в нижнем бьефе, колеблющийся в пределах ± 2 см.

Водомер поплавковый конструкции Глубшева (ВПГ-54). Этот прибор, устанавливаемый на конусном насадке типа САНИИРИ, предназначен для учета расхода воды, подаваемой через трубчатые регулируемые водовыпуски в оросительные каналы [6].

Водомер можно эксплуатировать на водовыпусках с внутренними диаметрами 482; 672; 768; 864 и 960 мм, причем разность уровней воды верхнего и нижнего бьефов оросительной системы не должна превышать 0,5 м. Его можно использовать также на каналах, где отсутствует водовыпуск. Для этого его с насадком САНИИРИ вставляют непосредственно в русло канала с отдельным звеном трубы, втопленным в подпорную стенку.

Принцип действия. Работа прибора основана на воздействии двух поплавков, находящихся в двух пьезометрических трубах водомера. Одна из пьезометрических труб, располагаемая на цилиндрической части конусного насадка САНИИРИ, фиксирует динамический уровень воды верхнего бьефа, а вторая, заглубленная непосредственно в канал, — статический уровень нижнего бьефа.

Посредством гибких тросиков и роликов один поплавок связан с поворотной шкалой, а другой — со стрелкой прибора. Положение стрелки относительно шкалы указывает на расход воды (сек.) в момент наблюдения.

Количество воды, прошедшей через насадок САНИИРИ за какой-либо отрезок времени, определяется произведением секундного расхода воды (λ) на заданное время (сек.).

Конструкция (рис. 7). Водомер состоит из следующих основных узлов:

- а) двух пьезометрических труб с одним общим фланцем;
- б) двух поплавков, могущих вертикально перемещаться внутри пьезометрических труб и уравновешенных двумя противовесами, расположенными внутри двух коротких трубок корпуса прибора;

- в) указывающего механизма, регулирующего изменение разности динамического и статического уровней воды в пьезометрических трубках верхнего и нижнего бьефов. С

помощью поворотной шкалы и стрелки механизма он фиксирует по этой разности величину давления ($см$) и секундный расход ($л$) воды.

На ролике посредством тросика, связанного с поплавком пьезометрической трубы верхнего бьефа, крепится поворотная шкала. Относительно

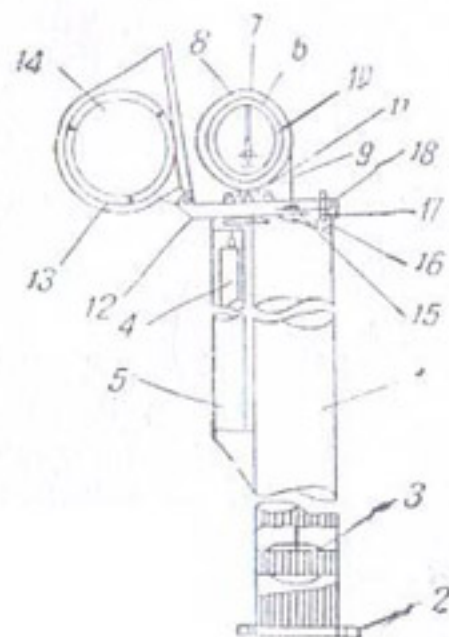


Рис. 7. Водомер поплавковый ВПГ-54

1—пьезометрическая труба, 2—фланец, 3—поплавок, 4—противовес, 5—трубка, 6—шкала, 7—стрелка, 8—ролик, 9—тросик, 10—второй ролик, 11—кронштейн, 12—основания прибора, 13—контакт, 14—смотровое стекло, 15—круглый уровень, 16—гнездо замка, 17—трехгранный ключ, 18—прокладки.

стрелки механизма она будет поворачиваться при любом изменении динамического уровня воды в пьезометре верхнего бьефа по сравнению со статическим уровнем воды в пьезометре нижнего бьефа.

Второй ролик с закрепленной на его оси стрелкой тросиком связан с поплавком пьезометрической трубы нижнего бьефа. Изменение статического уровня воды по сравнению с динамическим уровнем в пьезометре верхнего бьефа вызовет поворот стрелки относительно поворотной шкалы. Ролик неподвижно укреплен на оси стрелки, которая вращается на двух шарикоподшипниках, установленных в кронштейне. Ролик с поворотной шкалой смонтирован на той же оси не непосредственно, а при помощи двух шарикоподшипников, что позволяет вращению независимо друг от друга обоих роликов, а следовательно, и шкалы со стрелкой.

Если из-за неправильной регулировки оросительной системы разность уровней воды в пьезометрах верхнего и нижнего бьефов водомера превысит расчетную величину и составит $0,5 м$, то шкала прибора совершит более чем один полный оборот. Во избежание заниженного отсчета расхода воды при нарушении нормального режима работы водомера на шкале у нулевой отметки располагают упор, вызывающий изгиб ножевого конца стрелки при повороте шкалы более чем на один полный оборот. Поэтому при изгибе ножевого конца стрелки отсчеты расхода воды производить нельзя: режим работы водомера нарушен.

Технические данные. Водомер позволяет измерить расход воды при разности динамического уровня в пьезометре верхнего бьефа и статического уровня нижнего бьефа

от 0,02 до 0,5 м. Измерение величины расхода воды находится в зависимости от величины сечения водовыпуска и диаметра конусного насадка САНИИРИ. Так, для насадка, соответствующего водовыпуску диаметром 482 мм, максимальный расход воды составит 350 л/сек, на что и рассчитана первая шкала водомера. Вторая шкала водомера рассчитана на 580 л/сек, что совпадает с пропускной способностью водовыпуска и насадка с внутренним диаметром 672 мм, третья — на 880 л/сек (водовыпуск и насадок с внутренним диаметром 768 мм), четвертая — на 1120 л/сек, что соответствует диаметру 864 мм, и, наконец, пятая — на 1330 л/сек для диаметра 960 мм. Погрешность измерения напоров воды (без насадка) не превышает ± 5 мм.

Установка и демонтаж. Перед установкой водомера на фланец патрубка конусного насадка САНИИРИ с помощью нивелира или точного уровня необходимо убедиться в строго горизонтальном положении фланца.

Следует иметь в виду, что для обеспечения правильных показаний прибора внутренний диаметр конусного насадка должен соответствовать внутреннему диаметру водовыпуска, а длина трубы регулируемого водовыпуска — длине семи ее диаметров.

В том случае, когда водомер ВПГ-54 располагается непосредственно в русле канала, где отсутствует регулируемый водовыпуск, длина отрезка трубы, заглубляемого в подпорную стенку, должна быть не менее трех ее диаметров. Это нужно для того, чтобы струи потока воды внутри трубы при подходе к насадку были прямолинейными и не вызывали искажения давления воды в пьезометрической трубе верхнего бьефа водомера.

При установке на фланец насадка водомер надо поворачивать циферблатом к оголовку сооружения. Между фланцем водомера и фланцем насадка располагают резиновую прокладку. Водомер прикрепляют к фланцу насадка четырьмя болтами, обеспечивая герметичность соединения и строго вертикальное положение его пьезометрических труб, что проверяют по круглому уровню типа УК-60 (ГОСТ 4957-49) прибора при откинутах колпаке.

Трубчатый водовыпуск должен иметь необходимое заглубление ко дну канала и обязательно работать с затопленным истечением воды из насадка.

Рабочая амплитуда колебания уровня воды в нижнем бьефе водовыпуска не должна превышать 110 см, причем нижний горизонт уровня воды должен быть выше торца фланца пьезометрических труб водомера на 5 см.

Водомер ВПГ-54 на место установки поступает упакованным в специальном тарном ящике завода-изготовителя, в котором он находится в расчлененном виде. Сборка прибора сводится к несложным операциям. Вначале при помощи четырех болтов и резиновой уплотняющей прокладки на фланце насадка устанавливают узел пьезометрических труб водомера и производят предварительную затяжку болтов с возможно более точным обеспечением вертикального положения пьезометрических труб. Следует учитывать, что до полного окончания сборки и установки водомера ни в коем случае нельзя заполнять эти трубы водой.

На решетчатое дно каждой пьезометрической трубы на тросиках осторожно опускают поплавки в короткие трубки—противовесы, которые не допускают образования петель, барашков, заломов и других повреждений тросиков. Все четыре тросика удерживают в некотором натяжении до присоединения их свободных концов к роликам указывающего механизма. Для закрепления тросиков на роликах открывают и откидывают колпак прибора и, отвернув глухую гайку крепления стрелки, снимают стрелку с оси указывающего механизма: на узел пьезометрических труб надевают основание водомера, не закрывая колпак. После этого на узел пьезометрических труб надевают основание водомера с колпаком, находящимся в разомкнутом и откинутом на шарнире положении.

При сборе все четыре тросика от поплавков и противовесов пропускают в соответствующие четыре отверстия прибора, чтобы соединить их с роликами указывающего механизма.

Сначала присоединяют и укладывают концы тросиков на обоих роликах. Концы тросиков, снабженных узелками, закрепляют при помощи специальных прорезей в каждом ручье. Затем обоим роликам дают по три оборота для подъема противовесов в крайнее верхнее положение. Удерживая ролики в данном положении, аналогичным путем производят закрепление и укладку тросиков обоих поплавков на ручьях большого диаметра роликов. Надо проверить, не набегают ли ветви тросиков друг на друга при вращении роликов в обе стороны. По окончании проверки основание привинчивают к узлу пьезометрических труб. По натяжению тросиков следует убедиться в том, что поплавки опущены на решетчатые днища обеих пьезометрических труб.

На ось надевают стрелку, ее устанавливают на нулевую отметку поворотной шкалы и закрепляют глухой гайкой. Не закрывая колпак прибора, подтягивают четыре болта у фланца водомера для достижения герметичности соединения,

контролируя при этом вертикальное положение пьезометрических труб прибора по круглому уровню типа УК-60.

При демонтировании прибора с насадка все основные операции производят в обратном порядке. Прибор расчлениают на те же основные узлы и для транспортировки и последующего его хранения, укладывают в упаковочный ящик завода-изготовителя. Перед сдачей на хранение прибор очищают от грязи и пыли, тщательно промывают, просушивают и все его трущиеся части, а также тросики консервируют надежным слоем бескислотной смазки. Шарикоподшипники оси, внутреннюю полость кронштейна и оба ролика, стрелку втулок и гайки указывающего механизма можно промывать только в чистом авиационном бензине как перед консервацией, так и при удалении консервирующей смазки.

Наблюдение и уход. Периодичность наблюдения для снятия показаний расхода воды по водомеру ВПГ-54 зависит от степени и частоты колебания расходов воды на трубчатом водовыпуске, где установлен водомер. Если эти колебания не велики по времени и происходят по плавной кривой, то контрольные отсчеты по водомеру достаточно производить три раза в сутки (7, 13 и 19 час.).

Во всех случаях, когда режим расхода воды на водовыпуске изменяют преднамеренно, осуществляют внесрочные наблюдения по водомеру за расходом и напором воды, как до, так и после изменения режима.

Снятие показаний заключается в отсчете расходов и давлений по положению стрелки относительно поворотной шкалы прибора с точностью до половины деления.

При снятии отсчетов глаз наблюдателя должен находиться на уровне конца стрелки.

Бесперебойность работы водомера ВПГ-54 и продолжительность срока его службы обеспечиваются соблюдением следующих правил ухода за ним в процессе эксплуатации.

1. Перед очередной установкой водомера на водовыпуске надо тщательно осмотреть все элементы прибора и при необходимости произвести его ремонт с окраской поверхности, подверженной воздействию воды и осадков при эксплуатации; раскрыть все законсервированные элементы конструкции, промыть их в чистом авиационном бензине, просушить и смазать тонкой пленкой бескислотной смазки, применяя для подшипников смазку ГОИ-54 (ГОСТ 3276-46); проверить отсутствие течи в поплавках водомера, погрузив их в воду, подогретую до 50—60°. Если при этом не выделяются пузырьки воздуха, поплавки считаются пригодными к дальнейшей эксплуатации.

2. Один — два раза в сезон, в зависимости от степени загрязненности воды, необходимо производить текущий осмотр поплавковой системы водомера: снять основание (совместно с указывающим механизмом) с пьезометрических труб прибора, не разъединяя поплавков и противовесов, очистить поплавки и внутреннюю полость пьезометрических труб от осадков ила, слизи и прочих наносов.

3. Колпак водомера должен быть всегда плотно закрыт и опломбирован для предохранения указывающего механизма от пыли, грязи и воды.

4. Один раз в 5—10 дней нужно проверять чувствительность всей поплавковой системы и указывающего механизма путем резкого изменения щитовыми затворами водовыпуска уровней воды в пьезометрических трубах, снимая отсчеты показаний водомера. Если водомер не реагирует на такое резкое изменение уровней воды в пьезометрических трубах, прибор следует демонтировать с водовыпуска для отправки на лабораторную проверку.

5. В случае отрыва тросика или отдельных его проволок, образования петель, узлов и барашков, обнаруженных при очередном осмотре, поврежденный тросик подлежит замене.

6. На зимний период при длительном прекращении поливов водомер должен быть снят с водовыпуска, расчленен на основные узлы, очищен от пыли и грязи, промыт, просушен, законсервирован, упакован в тарный ящик завода-изготовителя и отправлен на склад для хранения.

Расходограф САНИИРИ (по А. В. Соколову). Прибор предназначен для непрерывной записи уровней или расходов воды на гидростоях в водомерных сооружениях ирригационной сети. Он применяется в том случае, когда расход воды может быть определен по глубине сечения (в русле) или по напору (в сооружении).

Расходограф-лимниграф САНИИРИ по конструкции и схеме действия подобен обычным лимниграфам с горизонтальным барабаном, где передвижение пера-указателя осуществляется с помощью червячной нарезки на горизонтальном валу, вращающемся через шкивы под влиянием перемещения поплавка. От подобных приборов он отличается устройством червяка-пружины, закрепленной на валу винтами, перестановка которых допускает изменение размера шага червяка по желанию.

Автоматические телеизмерительные приборы-самописцы (по И. А. Шарову). Московским институтом инженеров водного хозяйства разработана новая система приборов диспетчерского контроля, позволяющая автоматически получать на

ленте показания расходов целой группы оперативных точек на каналах. Эта телеизмерительная система состоит из приборов трех видов: а) датчиков показаний измерения; б) узловых автоматов, передающих на расстояние показания датчиков; в) приемных самопишущих аппаратов, регистрирующих показания датчиков. Последние аппараты предназначены для управления в диспетчерских пунктах.

Датчики связаны с объектом измерения механическим приспособлением. Так, в датчике уровней колебания горизонтов воды воспроизводятся поплавком, соединенным с потенциометром гибким тросиком.

Показания измеряют, включив потенциометр в электрическую сеть и сняв электрический потенциал с движка датчика. Включение датчиков, съем электрического потенциала, передача его на конденсатор и ноль-индикатор осуществляются с помощью коммутатора датчиков.

Приемный узловой автомат состоит из блока передатчика и блока автоматики. Автомат работает после замыкания контактов, производимого электрическими часами (ЭЧ), включающими пусковое реле передатчика (ПРП). После включения пускового реле ток попадает на канал передатчика и через тепловое реле (ТР) — в блок автоматики. Приборы для автоматических дальнеизмерителей сконструированы таким образом, что дают возможность применять между передающими и приемными автоматами проводочную и беспроводную связь. При проводочной связи передатчик выключается. На одной и той же линии может быть организована установка до четырех передающих и одного приемного автомата. Для исключения помех используются импульсы тока, различные по величине и направлению.

Приемный самопишущий аппарат имеет блок приемника и блок самописца. Импульсы, посылаемые узловым автоматом, принимаются кварцевым приемником. На выходе приемника поставлено поляризованное реле самописца.

Импульсы самописец фиксирует на ленте в виде цифр, указывающих очередное показание датчика в единой системе. Датчик и узловые приборы питаются энергией щелочных аккумуляторов и сухих анодных батарей. Приемная станция на диспетчерском пункте получает электроэнергию от общей сети через выпрямители.

УЧЕТ ПОТЕРЬ ВЛАГИ НА ИСПАРЕНИЕ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Испарение с водной поверхности в бороздах, ок-арыках и оросителях определяется стеклянными дождемерными стаканами.

1. Для выявления испарения с водной поверхности в бороздках при рядковом поливе три дождемерных стакана устанавливают таким образом, чтобы края их возвышались над уровнем воды на 5 мм. Вода в них поддерживается на уровне воды в борозде. По величине снижения уровня в стаканах или по уменьшению их веса определяют потери на испарение с водной поверхности в пересчете на 1 м².

2. В ок-арыках дождемерные стаканы располагают также, как и в бороздах. Уровни воды в стаканах и ок-арыке на протяжении всего эксперимента должны находиться на одной высоте, а верхние края стакана должны возвышаться над поверхностью воды на 4 мм. Вследствие медленного течения вода в ок-арыках (ее скорость не превышает 0,3 м/сек) в стаканы заплескиваться не будет. Замеры по стаканам делаются через каждые 4 часа.

3. Испарение с водной поверхности в оросителях устанавливается в следующей последовательности. В дно оросителя вбивается металлический шест с площадкой на верхнем его конце. На площадку ставится дождемерный стакан, который удерживается резиновой муфтой. Вода в нем поддерживается на высоте уровня воды в оросителе. Верхние борта стакана нужно поднимать над уровнем воды в оросителе на меньшую высоту, чтобы полностью не устранять влияния ветра. Взвешиванием стакана или отсчетом по его шкале определяется испарение с водной поверхности в оросителе. Замеры в стаканах (их располагают по 3—4) делаются через каждые 4 часа.

ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ

ИСПАРЕНИЕ С ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ ПОЧВЫ

Потери влаги из верхней части зоны аэрации, в поверхностном слое изучаются испарителями системы Ф. Доранта, М. А. Рыкачева [32], В. П. Попова [28, 29] и др.

Испаритель конструкции Ф. Доранта. Одним из наиболее старых почвенных испарителей, применяющихся в СССР был почвенный испаритель Ф. Доранта, впервые использованный им в Нукусе в 1874 — 1875 гг. Испаритель представлял собой круглый металлический сосуд глубиной 35 см, с испаряющей поверхностью 1000 см²; он до краев зарывался в почву. На его дно укладывался битый кирпич, сверху него — грубое полотно, на которое насыпалась глина или песок. Содержимое в сосуде пропитывалось водой, подаваемой снизу системой трубок. Величина испарения учитывалась измерением расхода воды в питающем испарителе. Вследствие того что в процессе работы прибора грунт в нем был насыщен до предела, а условия опыта не отражали естественный процесс, прибор и методы определений испарения не нашли практического применения.

Испаритель конструкции М. А. Рыкачева. Впервые этот испаритель был предложен в 1896 г. Он состоит из двух четырехугольных жестяных ящиков, вкладываемых один в другой. Площадь внутреннего ящика 1000 см² (25 × 40) и глубина 35 см, внизу он дырчатый. Для изучения испарений в грунте выкапывают яму, в которую закладывают заподлицо с поверхностью земли наружный ящик. Грунт погружают во внутренний ящик без нарушения его естественной структуры. Количество испарившейся из грунта воды измеряют, взвешивая внутренний ящик.

Основной недостаток испарителя — почвенный монолит в нем совершенно изолирован от окружающей его почвы. Сплошное металлическое дно и стенки прибора целиком

нарушают как вертикальное, так и горизонтальное перемещение и циркуляцию почвенной влаги во всех ее состояниях. Меняются и физико-механические структурные свойства почвы вследствие нарушений, создаваемых при укладывании ее в испаритель.

Сплошное дно и стенки, а также воздушный промежуток между доньями и стаканами чрезвычайно искажают теплообмен с подстилающими породами.

В засушливые годы и месяцы почвенные монолиты в испарителях Рыкачева пересыхают, отдача влаги в атмосферу прекращается, в то время как с естественных поверхностей испарение продолжается за счет подъема воды из нижележащих слоев почвогрунта. В такие периоды при редкой сетке почвенных образцов искажается сам процесс, растительность, если она имеется в приборе, вянет и погибает, а на естественной поверхности почвы продолжает развиваться. В дождливые годы, наоборот, осадки, выпавшие на естественную поверхность, частью стекают, частью пополняют запасы грунтовых вод. С поверхности же почвы, находящейся в испарителях Рыкачева, сток отсутствует, фильтрация в более глубокие слои горизонта почвы не происходит. В результате испаритель, будучи сильно переувлажненным, показывает преувеличенное испарение или, наоборот, отражает приращение в весе. Наличие посаженной капиллярной воды в приборе, которая образуется благодаря присутствию грунта и воздуха, усугубляет искажение в опыте. Данные, полученные в подобной обстановке, совершенно не отражают истинной картины процесса испарения влаги из верхнего слоя зоны аэрации.

ИСПАРЕНИЕ С ГОРИЗОНТА ГРУНТОВЫХ ВОД

Испаритель конструкции Б. Аполова и М. Лукашина [1]. Для учета потерь влаги на испарение с поверхности грунтовых вод Б. Аполлов и М. Лукашин [1] предложили два прибора (рис. 8, а, б). Первый изготавливается из железобетона, второй — из оцинкованного железа. В этих устройствах сосуд с почвой сообщается внизу с камерой, наполненной водой. Камера пополняется по мере убывания воды из сосуда Мариотта.

Испаритель-лизиметр конструкции Нифантова (рис. 9). Прибор состоит из бака круглого или квадратного сечения, воронки с трубкой, устанавливаемой в смотровом колодце, и трубки (диаметром 2—3 см), соединяющей бак с воронкой. Постоянные горизонты воды в испарителе поддерживаются на соответствующих делениях, отмеченных в смотровом

колодце. Учет воды ведется вне прибора до ее подачи в воронку для поддержания постоянного горизонта.

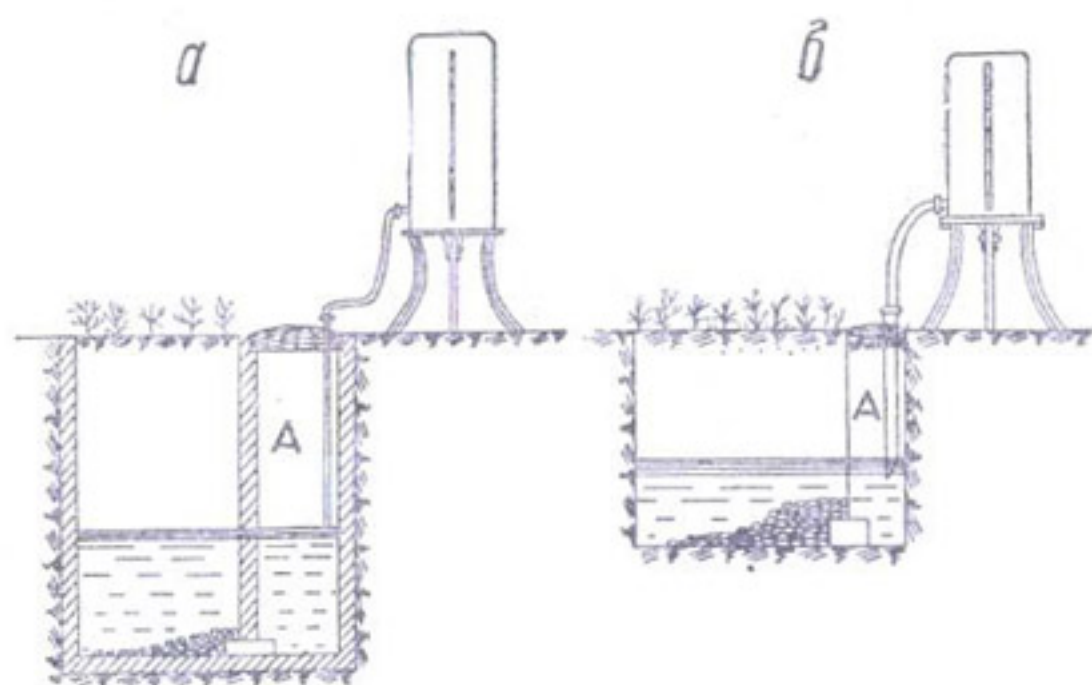


Рис. 8. Испарители конструкций В. Аполова (а) и М. Лукашина (б)
А—камера.

Испаритель АН-36. Этот прибор, предложенный нами в 1936 г., представляет собой бак круглого или квадратного сечения, изготовленный из полукотельного железа. Его высота 2,30—3,5 м, диаметр 80—100 см и более. Для установки такого испарителя в неструктурных породах отрывают шурф, в котором располагают бак (рис. 10, а). На его дно, ближе к стенке, ставят наблюдательную трубку, которую до высоты 10 см обсыпают гравием. Остальная часть дна бака покрывается 5—7-сантиметровым слоем гравия. Затем шурф и бак засыпают извлеченным из выработки грунтом в том порядке, в каком он доставался.

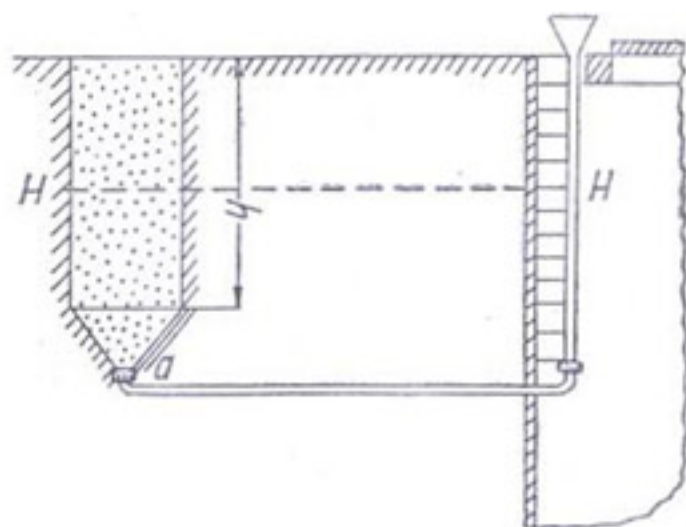
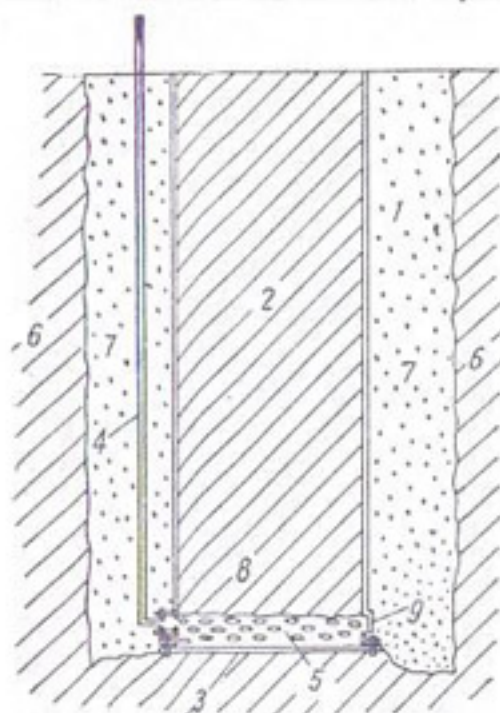
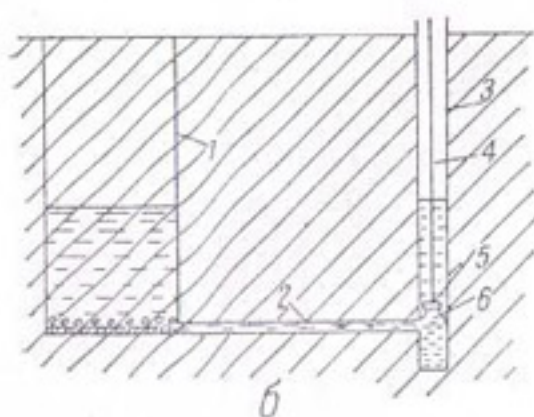


Рис. 9. Лизиметр, предложенный Нифонтовым.
Справа—смотровой колодец.

При укладке грунт уплотняется до естественной плотности, а после засыпки проводится двух-трехкратное затопление оросительной водой.



а



б

Рис. 10. Испарители, предложенные в 1936 (а) и 1937 (б) гг.

а. 1—бак, 2—монолит, 3—дно, 4—питательная трубка, 5—гравий, 6—материк, 7—насыпной грунт, 8, 9—окна; б. 1—бак, 2—трубка, 3—измерительная трубка, 4—штанга, 5—резиновый клапан, 6—патрубок.

Чтобы изучить испарение с уровня грунтовых вод в структурных породах, бак заряжают монолитом следующим образом. Бак (рис. 10, а) без дна ставят на поверхность земли. По периметру бака с его внешней стороны вначале лопатой, а затем почвенным стругом обтачивают монолит, на который плотно надевают кожух испарителя. Такая посадка делается на всю длину испарителя. Пустоты между внешней стенкой монолита и внутренней поверхностью бака, если они существуют, заливаются. Расплавленный битум наливают в пустоты, а через стенку прогревают паяльной лампой. При этом битум проходит даже в тонкие щелки по всему периметру монолита и заполняет отдельные макропоры. После заливки битума шурф вокруг монолита вкапывается еще на 30 см. Затем под нижние края бака вбиваются угольники или два прямых лома. Под урез нижних кромок бака по направляющим ломам или угольникам вдавливается квадратное или круглое дно бака, изготовленное из полукотельного железа.

Оно подгоняется к фланцу ударами кувалды и прикрепляется к нему болтами. Между фланцем и дном прокладывается асбестовый канат, проваренный в сурике. После взбалтывания зазоры между дном и фланцем шпаклюются. Через окно ниша роется наполовину площади монолита и засыпается гравием. Через другое окно гравий подводится под остальную часть монолита. К окну болтами прикрепляются измерительная и питательная трубки. После монтажа

шурф засыпается грунтом, трамбуется до уплотнения и заливается. Уровень воды в приборе поддерживается на заданной глубине, а учет ведется при подаче ее в трубку.

Испаритель АН-37 (рис. 10, б). Прибор, предложенный нами в 1937 г., состоит из бака определенной длины и поперечного сечения, соединительной и измерительной трубок, штанги с резиновым клапаном и патрубка. Бак заполняется монолитом или грунтом. Под грунт насыпается мелкий гравий слоем 10—15 см. Для наблюдения за уровнем грунтовых вод в бак вставляют 1—1,5-сантиметровую трубку. Наблюдения за уровнем воды в трубке ведут электроиглой.

Прибор предназначен для изучения испарения с поверхности грунтовых вод на заданной глубине. Расход воды, подаваемой в бак, учитывается в трубке за мерами до и после подачи.

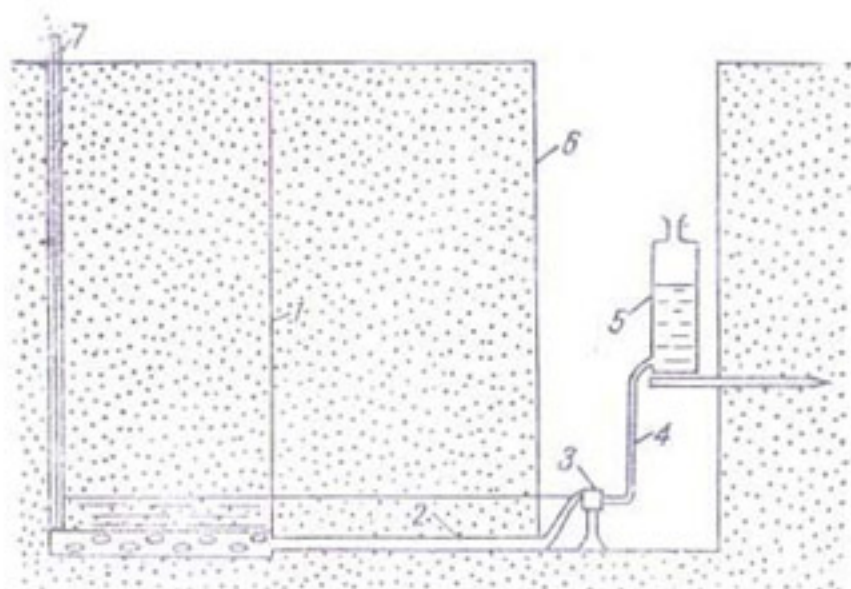


Рис. 11. Испаритель конструкции Кзыл-Ординской экспедиции.

1—бак, 2, 4—трубки, 3—карбюратор от автомашины, 5—сосуд, 6—смотровой шурф, 7—смотровая трубка.

Испаритель, предложенный Кзыл-Ординской экспедицией (рис. 11). Бак заполняется монолитом или грунтом. Снизу насыпан гравий; у одной из стенок находится трубка для наблюдения за горизонтом воды. Рядом с прибором расположен смотровой шурф. В нем на глубине, на которой необходимо поддерживать горизонт грунтовых вод в испарителе, крепится карбюратор от автомашины. С помощью трубок он соединяется с баком и водомерным сосудом. Малейшее снижение уровня воды в баке вызовет движение воды из сосуда в бак. Так в приборе поддерживается заданный горизонт воды. Учет воды ведется по водомерному цилиндру.

Испаритель конструкции М. М. Крылова [18]. Испаритель представляет собой прямоугольный лизиметр, состоящий из железобетонных стенок, дна, ненарушенного и несмещенного монолита суглинистого почвогрунта. Его прямоугольное сечение $2,0 \times 1,0$ м, высота 1—2,5 м.

Установка. Первоначально вдоль длинных сторон будущего лизиметра, предварительно очерченного, с поверхности вырываются две траншеи глубиной, несколько большей проектной высоты монолита, и шириной, достаточной для свободной работы (около 1 м). Затем на глубине, соответствующей проектной высоте монолита, с краев прорываются две сквозные штольны шириной около 0,6 м и высотой около 0,25—0,30 м. Их потолки тщательно выравниваются ножом таким образом, чтобы оба они лежали в одной строго горизонтальной плоскости.

Из сосновых досок сколачивают настил с обочинами вдоль коротких сторон. Доски густо просмаливают битумом. На настил насыпают чистый крупнозернистый песок слоем 6—7 см, удерживаемый со стороны длинных сторон пола металлической сеткой. В таком виде пол подводят под потолок штольны и плотно прижимают к нему деревянными брусчатыми распорками; вслед за этим все свободное пространство штольны под напором заполняют железобетоном. Через 5—6 дней после того, как железобетон нацело схватится, средняя штольня, под потолок которой подводится такой же пол, проходится аналогично первым двум. Затем средний просвет бетонируется, и на этом заканчивается работа по возведению железобетонного, достаточно прочного основания.

Отделенный от окружающего грунта монолит с боков предварительно покрывается битумом полусантиметрового слоя, особенно тщательно и более густо по углам, образованным вертикальными обочинами с бетонным основанием монолита. При помощи деревянной формовки возводятся одновременно все четыре стенки лизиметра.

Что касается устройства лизиметра с нарушенной структурой грунта, то в этом случае сколачивается деревянный ящик требуемой емкости, который густо просмаливается битумом, опускается в специально подготовленный котлован верхними краями в уровень с земной поверхностью и засыпается открытым размельченным грунтом. Последний слегка трамбуется (ногами) по слоям 15—20 см.

После сооружения лизиметры испытываются на водонепроницаемость стенок и дна. Окружающие их выемки засыпаются грунтом.

Для наблюдения за испарением воды оборудуются две полутораймовые скважины. Одна из них доводится до песчано-гравелистого слоя и является питающей, другая — наблюдательная — проводится с таким расчетом, чтобы ее дно отстояло от поверхности песчано-гравелистой подстилки на 6—7 см. В нижней части обсадной трубы наблюдательной скважины в шахматном порядке делаются трехмиллиметровые круглые отверстия для свободного доступа воды извне.

Вода в питающие скважины подается по резиновым трубкам из градуированных жестяных баков емкостью 50 л, устанавливаемых у каждого лизиметра на деревянных стойках.

Попадающая через скважину в песчано-гравелистую подстилку лизиметра вода быстро распределяется под некоторым напором по всей площади основания, в дальнейшем более или менее равномерно питая искусственный водоносный горизонт воды в суглинке. Постоянство высоты уровня воды контролируется в наблюдательной скважине. По количеству воды, поданной в лизиметры за определенный промежуток времени (например, за сутки), можно будет судить об испарении с поверхности почвы при различных залеганиях уровня грунтовых вод.

Испаритель конструкции В. М. Легостаева [22]. Испаритель представляет собой бак прямоугольного сечения высотой от 2 до 3 м и площадью сечения $0,8 \times 1,2$ м, изготавливаемый из полукотельного железа. Для установки прибора копается шурф соответствующей глубины, в который погружается испарительный бак. Верхние края его остаются на 5—6 см выше поверхности земли, на дно слоем 10—15 см насыпается гравий и ставятся две трубки (скважины): одна для подачи воды, другая — для замера горизонта грунтовых вод.

Бак заполняется сыпучим грунтом. Для изучения потерь влаги на испарение с грунтовых вод при различной их глубине залегания устанавливается серия испарителей соответствующей глубины. Количественный учет воды, необходимой для поддержания в испарителе уровня грунтовых вод на той или иной глубине, определяется при подаче ее в питающую трубку.

Испаритель 38-АБМ нашей конструкции. Этот прибор представляет собой металлический бак, изготовленный из полукотельного железа. Для изучения только потерь влаги на процесс испарения бак делается сечением $0,7 \times 1,20$ м, а для учета суммарных потерь (потери на испарение и процесс транспирации) — сечением $1,2 \times 1,4$ м. Фланцем, шай-

бой, тремя соединительными болтами и трубой он соединяется с измерительной трубой (рис. 12).

Измерительная труба имеет два дна: нижнее — глухое и верхнее с отводным патрубком и приемной трубкой. Патрубок и приемная трубка закрываются резиновыми клапанами посредством штанг. (Чтобы достичь полной герметичности,

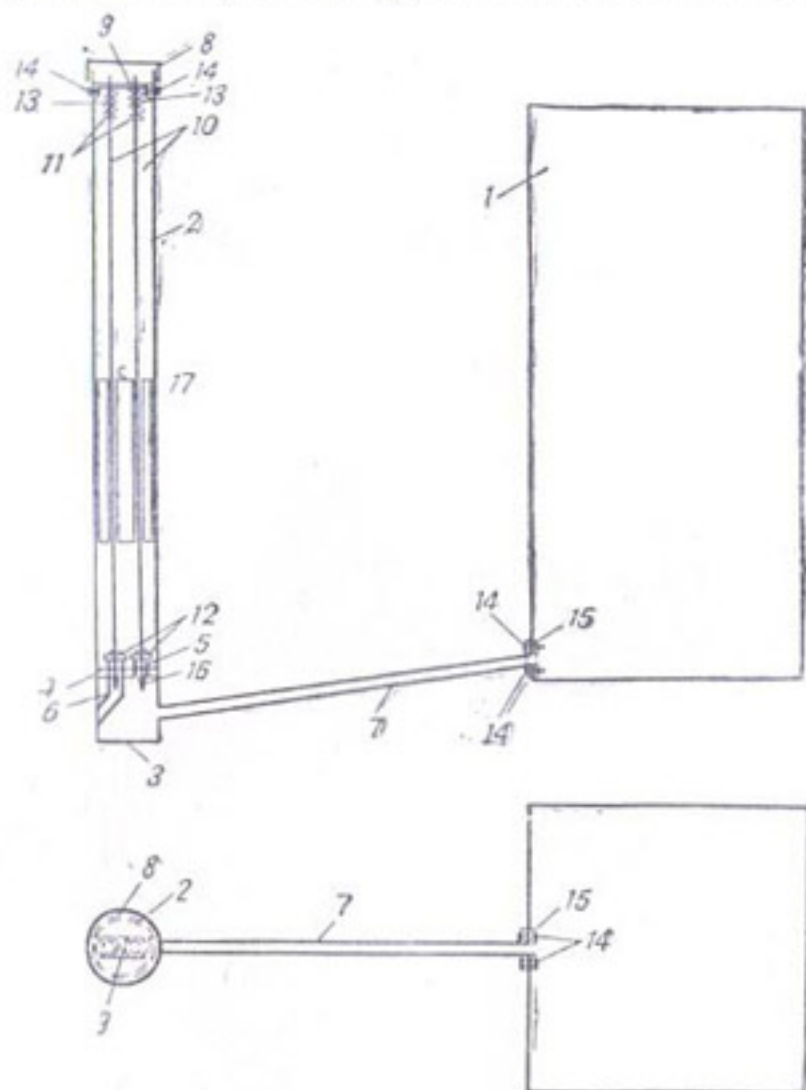


Рис. 12. Испарители конструкции
А. Ф. Сляднева

1—бак испарителя, 2—трубка измерительная, 3—нижнее дно трубы, 4—верхнее дно трубы, 5—патрубок отводной, 6—трубка приемная, 7—трубка соединительная, 8—крышка трубы, 9—перемычка, 10—штанги к клапанам, 11—шайбы, 12—клапаны резиновые, 13—пружина, 14—болты соединительные, 15—шайба, 16—воронки направляющие, 17—поплавок.

верхние концы патрубков оттачиваются с внешней поверхности по всему периметру на конус. При такой конструкции взвешенные в воде частицы грунта при осаждении не задерживаются на патрубках). Резиновые клапаны и шайбы неподвижно закрепляются на штангах. Верхние концы последних проходят в круглые отверстия железной перемыч-

ки. Вверху на штангах, между перемычкой и верхними шайбами, находятся пружины, которые плотно прижимают резиновые клапаны к верхним обреза патрубков и приемной трубки, закрывая их проходы. Под резиновыми клапанами помещены направляющие воронки. Перемычка закрепляется в измерительной трубе двумя болтами. Внутри измерительной трубки имеется пустотелый жестяной поплавок длиной 100 см, диаметром, на 2—3 см меньшим, чем внутренний диаметр измерительной трубы. Для прохода штанг впаиваются две трубки в поплавок, диаметр которого на 1 см больше диаметра штанг. Сверху измерительная труба закрывается крышкой.

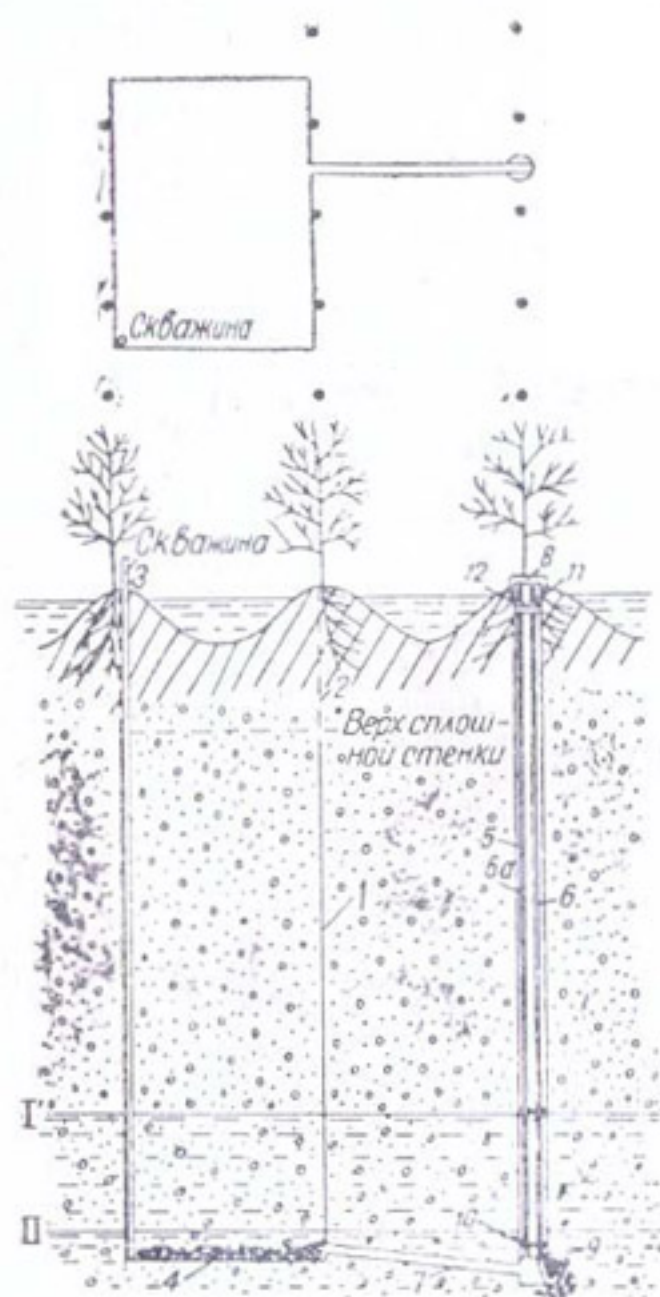


Рис. 15. Испаритель на опытном поле.

1—горизонт грунтовой воды, II—то же, минимальный. 1—бак, 2—ребристо-дырчатая заслонка, 3—скважина, 4—гравий, 5—измерительная труба, 6—приемный клапан, 6а—питательный клапан, 7—соединительная труба, 8—крышка измерительной трубы, 9—приемный патрубок, 10—питательный патрубок, 11—шайбы, 12—перемычки.

вается на высоте естественного, замеряемого в скважине, которая располагается в непосредственной близости.

Испаритель работает в следующей последовательности. Во время действия прибора питательная труба закрыта клапаном, а приемный патрубок открыт. При таком положении

направляющие воронки. Перемычка закрепляется в измерительной трубе двумя болтами. Внутри измерительной трубки имеется пустотелый жестяной поплавок длиной 100 см, диаметром, на 2—3 см меньшим, чем внутренний диаметр измерительной трубы. Для прохода штанг впаиваются две трубки в поплавок, диаметр которого на 1 см больше диаметра штанг. Сверху измерительная труба закрывается крышкой.

Рабочий чертеж испарителя приводится на рис. 13, монтажная схема — на рис. 14, положение прибора на опытном участке — на рис. 15.

Чтобы устранить перегонку жидкой и паробразной влаги из грунта, заключенного в бак, в окружающий его грунт и, наоборот, из окружающего грунта — в бак, уровень грунтовых вод в приборе, как и в период конструкции, за время эксперимента поддержи-

клапанов изолированная грунтовая вода в баке расходуется только на испарение, а запасы воды в измерительной трубе пополняются до максимума, который наступит, как только горизонт воды в трубе достигнет уровня грунтовых вод, замеренного вне прибора.

При различных уровнях в баке и вне его патрубок закрывается клапаном, замеряется горизонт воды в трубе и открывается клапан. Вода по трубке движется в бак. Когда ее уровень в баке поднимется до естественного, клапан закрывается, а вода в трубе снова замеряется.

По разности двух замеров в трубе судят о количестве поданной в бак воды. Процесс подачи воды в бак из трубы ускоряется созданием избыточного давления в трубе посредством поплавка.

Ежедневно в 8, 12 и 20 час., а иногда и чаще, замеряется уровень воды в приборе и вне его. Учитывается добавленная в прибор вода, которая необходима для поддержания уровня на соответствующей высоте. Примерно через 5—6 дней (по балансовым периодам) делаются промеры для выявления содержания влаги в грунтах зоны аэрации. По данным этих замеров с учетом поданной воды в прибор и определяются потери влаги на испарение с балансового слоя.

Испаритель, предложенный нами в 1939 г. Он представляет собой металлический бак сечением 120×140 см, и высотой, на 70—80 см большей, чем амплитуды колебания уровня грунтовых вод. Верх бака возвышается над максимальным горизонтом грунтовых вод на 35—40 см, а низ погружается на такое же расстояние под минимальный горизонт (рис. 16). На расстоянии 1 м устанавливается измерительная труба, которая слева трубкой соединяется с баком, а справа оканчивается фильтром. В измерительной трубе расположена конусная муфта, которая закрывается запором испарителя. Он заделан на конус и имеет круглое отверстие, диаметр которого равен внутреннему диаметру трубки. Внутри отверстия запора находятся мерные трубки, ориентированные одна в сторону бака, другая — к фильтру. Их вторые концы помещены в трубку, которая привинчивается к запору с верхней стороны. При открытом запоре и отсутствии движения в трубке горизонты воды в мерных трубках будут находиться на одной высоте, равной отметке уровня грунтовых вод. При движении грунтовых вод по трубке, в сторону бака или фильтра, будет фиксироваться разность уровней воды в мерных трубках. Замерив эту разность перископом с освещением от батареи (рис. 17), определив направление течения воды в трубке и предвари-

тельно проградуировав мерные трубки в запоре, можно легко найти расход воды, пройденной в одном или другом направлении через отверстие запора. (Конструкция измери-

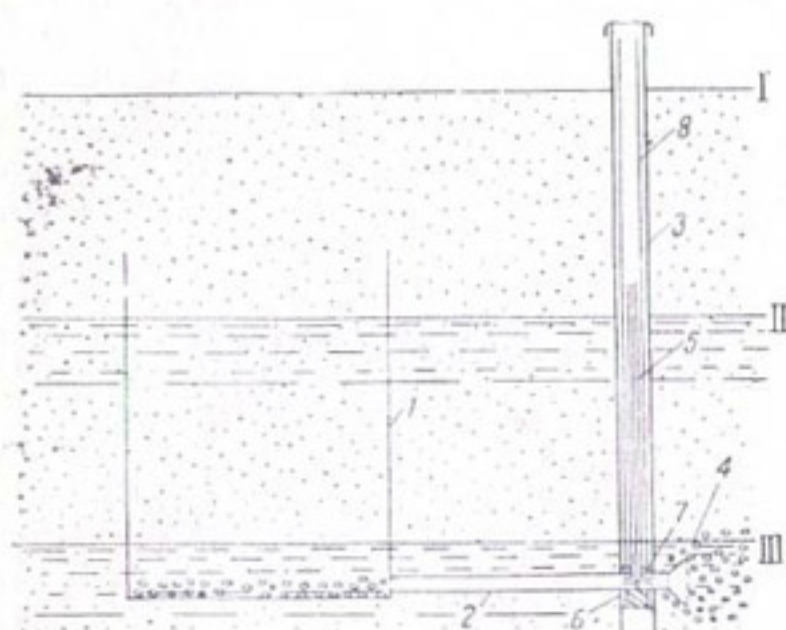


Рис. 16. Испаритель конструкции А. Ф. Сляднева (1939 г.).

I—поверхность земли, II—максимальный и III—минимальный горизонты грунтовой воды. 1—бак испарителя, 2—трубка соединительная, 3—трубка измерительная, 4—фильтр, 5—трубка Пито, 6—муфта конусная, 7—запор испарителя, 8—трубка запора.

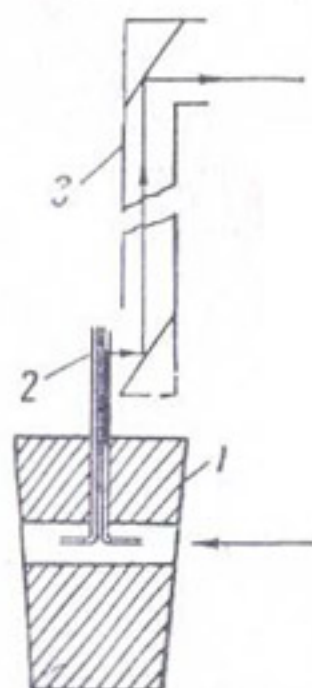


Рис. 17. Запор испарителя с трубкой Пито

1—запор, 2—трубка Пито, 3—телескоп.

тельных трубок может быть и иного вида; рис. 18). Работа мерных трубок контролируется по мере надобности. В

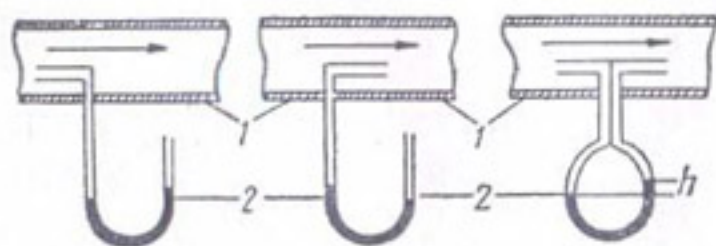


Рис. 18. Положение пьезометров в трубке. 1—трубка, 2—пьезометр.

другом случае расход воды, пройденной через отверстие в запоре, может быть замерен чувствительным водомером (рис. 19). Двухстороннее движение воды записывается на электромагнитный самописец.

Испаритель устанавливается так же, как и предыдущие две модели.

Испаритель предложенный в 1954 г. Прибор состоит из бака, питающей трубки, муфты сцепления, резиновой трубки, жестяного бачка, проволоки, самописца. Дно бака погружается под минимальный горизонт грунтовых вод (рис. 20), а верхние края располагаются на 1 м выше максимального уровня. Посредством узкой траншеи к колодцу проклады-

вается трубка. Плавающий бачок с муфтой соединяется резиновой трубкой, свернутой в спираль. Бачок тягой соединяется с самописцем.

Принцип работы. Испарение грунтовых вод учитывается при естественном режиме уровня грунтовых вод, который регулируется динамикой горизонта воды в шурфе. Вода в бачок подается с помощью сосуда Мариотта или измерительной установкой иной системы. Может быть также использован автоматический регулятор конструкции Е. В. Симонова.

Установка. В песках, супесях и легких неустойчивых суглинках (типа голодностепских) испарители заполняются насыпными грунтами, а в структурных — монолитами.

В неструктурных породах (песках, супесях и легких суглинках) роется шахта с заглублением под минимальный горизонт грунтовых вод на 80—90 см. Шахта крепится деревянным шпунтовым креплением и проходится с водоотливом. Извлеченный грунт укладывается в определенной последовательности. После проходки до заданной глубины в шахту опускается бак и измерительная труба, которая затем крепится к баку. Низ бака и шахты засыпается тем грунтом, который был взят с нижней части, середина — грунтом с средней части углубления и т. д. Делается это для того, чтобы избежать значительного изменения в химизме как подземных вод, так и среды, окружающей углубления. При заполнении бака и шахты грунт уплотняется с таким расчетом, чтобы вся извлеченная порода полностью уложилась в шахте и баке. Вырытая и засыпанная шахта, а также бак наполняется водой для уплотнения грунта. После осадки последнего в шахту и бак снова подсыпается грунт до уровня поверхности земли. Затем на опытной площадке высевается хлопчатник.

В структурных породах испаритель устанавливается в следующей последовательности. До посева хлопчатника, после того как будут нарезаны борозды, на балансовом участке между двумя рядками хлопчатника выбирается площадка, с внешней стороны которой роются продольные ямы.

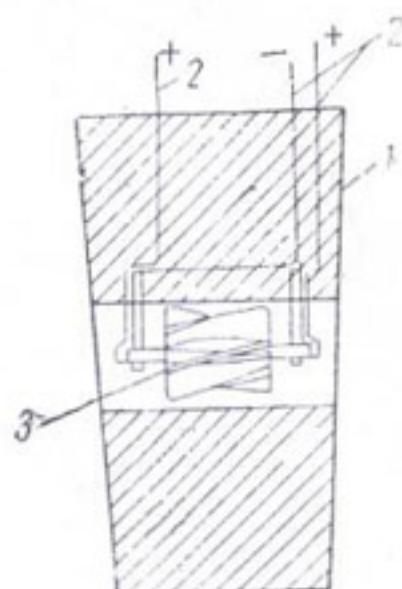


Рис. 19. Запор испарителя с водомером Вольмана.

1—запор, 2—электропровода, 3—водомер.

Размеры углублений: длина 160 см, ширина 30—40 см, глубина 2—3 м¹. После изготовления боковых продольных углублений с обеих сторон подрываются ниши. На нижнюю поверхность одной из них укладывается дно бака испарителя,

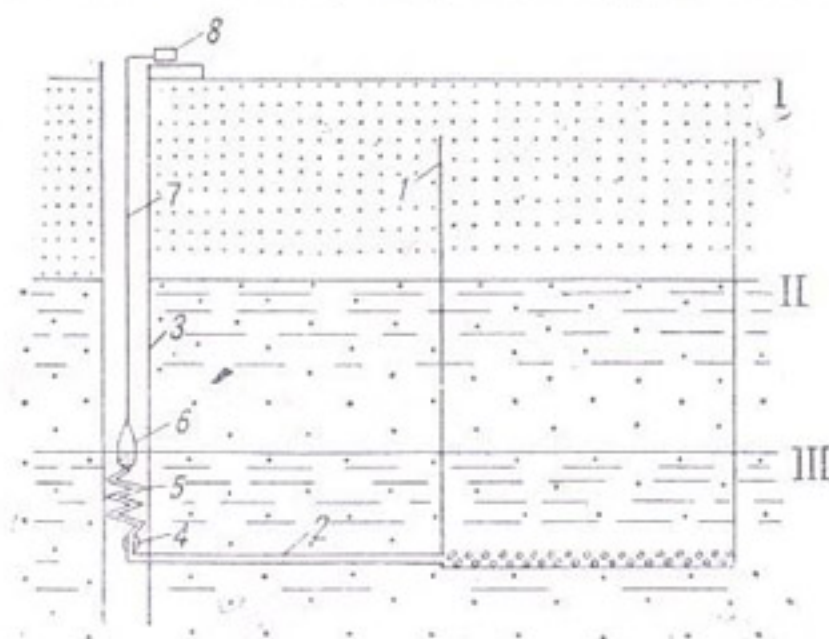


Рис. 20. Испаритель с плавающим баком.

I—поверхность земли, II—максимальный и III—минимальный горизонты грунтовых вод.
1—испаритель, 2—трубка, 3—скважина, 4—муфта сцепления,
5—резиновая трубка, 6—жестяной бак, 7—тяга,
8—самописец.

сделанное из трехмиллиметрового железа. Пространство между дном бака и монолитом заполняется песком, который трамбуется и сжимается домкратами. Это не позволяет монолиту переместиться вниз относительно материка после соединения углублений проходами. После заполнения ниши песком ко дну ящика привинчиваются продольные и боковые стенки, причем продольные плотно прижимаются домкратами или деревянными распорками. После изготовления ниши, засыпки ее песком и закрепления боковых стенок делаются вторые, малые углубления, которые соединяются с уже готовыми и в которые укладываются поперечные стенки ящика испарителя. В углублениях ставятся распорки. Стенки ящика по углам скрепляются болтами, а щели между ними запаиваются или забиваются асбестом с суриком. Помимо болтового скрепления стенок ко дну ящика, произ-

¹ Глубина шахты зависит от положения минимального горизонта грунтовых вод. Размеры углублений даются для хлопчатника с междурядьями 70 см; для квадратно-гнездового посева они определяются схемой размещения растений.

водится спайка или чеканка кромок стенок с дном испарителя.

По окончании пайки щелей распорки снимаются. Это необходимо для того, чтобы в следующий этап работы — при заливке пластмассой свободного пространства между внутренней поверхностью бака и монолитом — не осталось пустот. Для установки регистрирующей трубы и всей системы на расстоянии одного — двух рядков хлопчатника от испарителя роется шурф сечением 80×50 см. У дна шурфа в направлении испарителя пробивается наклонная штольня. Если удобно, ее можно пробивать и с углубления со стороны испарителя. Все вырытые углубления заполняются в такой же последовательности, как в случае установки испарителя в неструктурных породах.

УЧЕТ ПОТЕРЬ ВЛАГИ НА ТРАНСПИРАЦИЮ

Метод просасывания. Для собирания и учета выделенного водяного пара растение помещают в стеклянный колпак, а затем посредством гигроскопических веществ (хлористого кальция, фосфорного ангидрида или серной кислоты) улавливают выделяющуюся парообразную влагу из объекта исследования. Стеклянный сосуд употребляют для того, чтобы не устранять света, играющего очень существенную роль в процессе транспирации. Чтобы условия опыта были близки к естественным, через сосуд, в котором находится растение, пропускают ток воздуха той или иной скорости.

Преимущество способа определения транспирации просасыванием, точнее поглощением, выделенных водяных паров заключается в том, что исследуемая часть растения остается неразрывно связанной со всем растением. Этот способ является почти единственным приемом, позволяющим учитывать транспирацию растений в условиях их естественного произрастания. Однако он создает искусственные условия в цилиндре, где ход транспирации, несомненно, иной, чем в окружающей установке среде.

Потометрический метод. Для учета транспирации по количеству воды, всосанной растением, пользуются различного рода потометрами, т. е. измерителями всасывания. Потометр по своей конструкции очень прост. Обычно он состоит из сосуда той или иной формы и размера, вмещающего корневую систему опытного растения, и ряда вспомогательных приборов.

Из сосуда выкачивают воздух и затем до предела заполняют его водой или раствором определенной концентрации.

С помощью бокового отверстия вода в сосуде непосредственно сообщается с водой в длинной капиллярной трубке, установленной строго горизонтально. Изготавливается она из

барометрических трубок. Диаметр капиллярных трубок подбирается в зависимости от чувствительности установки. При малейшем уменьшении объема воды конец водной нити в капилляре смещается в сторону сосуда. Мерилем всасывающей деятельности корневой системы является уменьшение объема соприкасающейся с корнями воды в сосуде, которое вызовет движение концевого мениска в трубке в сторону сосуда. Замерив время, необходимое для прохождения концевого мениска нити в капилляре от одной метки до другой, потерю воды на транспирацию растением определяют по формуле.

$$Tr = \frac{n}{t} V,$$

где Tr — транспирация, $см^3/сек$;

n — число делений на капилляре, пройденных за время t ;

t — время, сек;

V — объем внутреннего просвета капилляра между двумя метками (в одном делении), $см^3$.

Метки наносятся через интервалы в 3—5 см. Отсчеты времени ведутся по секундомеру.

Лабораторно-вегетационный метод. Расход воды на транспирацию может быть замерен взвешиванием растения вместе с тем субстратом (влажная почва), в котором оно произрастает. Для этой цели растение выращивают в вегетационных стеклянных или стальных сосудах, защищенных крышкой от испарения воды с почвы. Отверстия в крышках сосудов для посадки растения обычно делают значительно шире, чем стебель, и пространство, остающееся между краем отверстия и стеблем, заполняется изолирующим веществом, не допускающим потери воды на испарение с поверхности почвы. Н. А. Максимов рекомендует замазку, представляющую собой смесь толченого мела с неочищенным касторовым маслом. Она хорошо пристает как к металлу, так и к стеблю растения, не плавится на солнце, не разбухает в воде, пластична и не препятствует росту растения.

Для лучшей аэрации грунта Н. А. Максимов предлагал следующее: непосредственно под крышкой вегетационного сосуда в землю вкапывается небольшой стаканчик из необожженной глины с небольшими отверстиями по сторонам. Сосудик служит для подачи воды. В крышке делается небольшое отверстие, закрываемое пробкой. При такой montировке вода подается по очереди: сверху — через описанный сосудик и снизу — через доходящую до дренажа трубку. Учет транспирации производится взвешиванием сосуда на рычажных весах Беранже. После того как будет известен вес сосуда

с растением, потерю воды растением (транспирацию) находят по формуле

$$Tp = \frac{P_1 - P_2}{t},$$

где P_1 — вес сосуда в начале времени t , г;

P_2 — то же, в конце t , г;

t — время, часы.

Для непрерывного учета хода транспирационного процесса применяются самопишущие приборы — так называемые транспираторы. Из них наиболее распространен эвапорометр Ришара. Он состоит из весов, к одному коромыслу которых прикрепляется перо для записи по окружности цилиндра, вращаемого часовым механизмом.

Полевой вегетационный метод. Этот способ учета транспирации очень прост. Берут два испарителя (конструкции Рыкачева или системы Попова) одинакового поперечного сечения и глубины. В один из них погружают монолит с растениями, транспирацию которых желают определить, в другой — монолит без растений. Оба монолита взвешивают одновременно. Потерю воды на испарение всеми растениями, которые произрастают в испарителе, выводят из формулы

$$Tp = \frac{(P_1 - P_3) - (P_2 - P_4)}{t},$$

где P_1 — вес испарителя с растениями в начале времени t , г;

P_3 — то же, в конце времени t , г;

P_2 — вес испарителя без растений в начале времени t , г;

P_4 — то же, в конце времени t , г;

t — время, часы.

Транспирацию одного растения в опыте вычисляют по формуле

$$Tp = \frac{(P_1 - P_3) - (P_2 - P_4)}{tn},$$

где n — количество растений.

Транспирацию с единицы площади сосуда устанавливают по формуле

$$Tp = \frac{(P_1 - P_3) - (P_2 - P_4)}{Wt}$$

где W — площадь испарения, $см^2$.

Полевой объемный метод. Более точные результаты по определению потерь воды на испарение растением получают при применении объемного полевого метода. Для этого берут два водонепроницаемых ящика-лизиметра (деревянных или металлических) одинакового поперечного сечения и глубины (не менее 100 см). При опыте в структурных породах их заполняют монолитами, а в неструктурных — просто грунтом. Края каждого лизиметра располагают вровень с поверхностью земли или на 5—8 см выше ее. У оснований ящиков на желаемой глубине от поверхности земли создают горизонт грунтовой воды. За ним наблюдают через скважины, сделанные в центре или в одном из углов прибора. С их же помощью пополняют запас грунтовой воды, расходуемой на испарение в атмосферу. Воду, проходящую через скважину, учитывают до ее подачи. (В одном лизиметре имеются растения, транспирацию которых желают определить). Потерю воды на транспирацию с одного растения находят по формуле

$$Tp = \frac{V_1 - V_2}{nt},$$

где V_1 — количество воды, поданной на восстановление первичного запаса в лизиметре с растительностью, см³;

V_2 — количество воды, поданной в лизиметр без растительности, см³;

n — количество растений в лизиметре;

t — время, часы.

Метод среза. Многие исследователи транспирацию растений определяли методом среза листьев, веток или целых кустов, не погружая их в воду. Впервые изучение транспирации на срезанных и не поставленных в воду листьях дуба в 1870 г. провел Пфафф [см. работу Р. Р. Шредера, 43].

В 1914 г. методом среза Кеммерлинг [43] установил транспирацию тропических растений. Решительным сторонником метода работы со срезанными объектами без применения воды был Боле [43]. Он предлагал сразу же после среза части растения повторно взвешивать ее или целые растения, причем помещать их на весы в том же положении, в каком они находились до среза.

Келлер (1921 г.), изучив процесс транспирации методом срезанных объектов, пришел к выводу, что в первые минуты „высыхание“ (отдача воды срезанными растениями) и интенсивность транспирации близки друг к другу. По Келлеру, метод наблюдения за „высыханием“ (транспирацией) срезанных растений и их частей может быть с успехом

применен для изучения транспирационной деятельности растений, выросших в естественной обстановке. „Но при опытах с сильно транспирирующими растениями, — пишет Келлер, — конечно, надо поторопиться определять транспирацию в первые минуты после срезаний“ [43].

Такой же точки зрения придерживается Р. Р. Шредер [43]. Наблюдение транспирации срезанных растений и их частей в первые минуты по срезании он называет верным путем исследования потерь испарения в открытой природе.

Какой должна быть методика выявления транспирации данным способом? Принцип ее очень прост. Однако проведению наблюдений могут помешать и погода, и затруднения в выборе индивидуальных объектов.

В поле непосредственно у растения, транспирацию которого желают определить, располагают рычажные весы чувствительностью 0,001 г. Тарелки весов ставят на высоте среза объекта. Для установки стеблей веток и отдельных кустов в вертикальном положении одну чашку весов заменяют цилиндром (стеклянным или металлическим), прикрепленным к весам проволокой или специальными зажимами.

Срезанные объекты помещают в цилиндр, укрепленный на весах, в том положении, в каком они находились в поле.

Наиболее точные данные можно получить в том случае, если растения взвешивать тотчас после срезания, повторять взвешивание через возможно более короткие промежутки времени (1—2 мин.) и проводить опыты в естественных условиях. Срезание лучше производить под расплавленным парафином, чтобы не допустить входа воздуха в сосуды и засыхания поверхности среза.

Численные значения транспирации растения за время t определяются по формуле

$$Tr = \frac{P_1 - P_2}{n},$$

где Tr — транспирация, пересчитанная на 100 г живого веса пластинок, %;

P_1 — вес растения в начале единицы времени, г;

P_2 — то же, в конце единицы времени, г;

n — живой вес пластинок, г.

Вес пластинок находят по методу Шредера. После нескольких минут транспирации удаляют с растений пластинки (оставляя черешки) и взвешивают обезлиственный объект. Затем этот вес высчитывают из начального веса растения и получают начальный живой вес пластинок, к которому и относят транспирацию.

В другом случае транспирация может быть выявлена по формуле

$$Tr = \frac{P_1 - P_2}{mt},$$

где P_1 — вес растения или группы растений в начале единицы времени, г;

P_2 — то же, в конце единицы времени, г;

m — количество отдельных растений.

Для того чтобы более точно определить транспирацию за декаду, месяц и т. д., необходимо учитывать потерю воды растением как в ясные, так и пасмурные дни. Зная количество ясных и пасмурных дней, суммарную транспирацию высчитывают по формуле

$$Tr = Tr' n_1 + Tr^* n_2,$$

где Tr — транспирация растения за месяц, г;

Tr' — величина транспирации растения за сутки при ясном дне, г;

Tr^* — то же, при пасмурном дне, г;

n_1 — количество суток с ясными днями;

n_2 — то же, с пасмурными днями.

При выборе объектов транспирации для той или иной серии наблюдений надо следить за их однородностью, равномерностью густоты стояния как всего растения, так и его листьев и т. д., ибо отдельно стоящие растения, сильно подвергающиеся действию ветра, температуры и солнечной радиации, испаряют больше воды.

В наших опытах при определении транспирации метод срезанных объектов применялся как контрольный. На среднеурожайном фоне хлопчатника рядом с испарителями выбирали опытные площадки. На них через каждые 15—20 дней производили срез куста хлопчатника из 2—3 растений и изучали динамику их роста. Хлопчатник срезали под расплавленным парафином в картонной воронке, окаймляющей каждый стебель на уровне поверхности земли. Рычажные весы с сеткой устанавливали на место среза хлопчатника. Взвешивание производили через каждую минуту и полученные данные наносили на график. Величину расхода влаги на транспирацию мы находили по потерям веса в первые 3—4 мин. в пересчете на 1 г сухой массы хлопчатника. Растения хлопчатника на протяжении суток срезали через каждые 2—4 часа, а результаты суточных определений представляли в виде суточных кривых за весь период вегетации (рис. 21). Снимая с них средние значения расхода влаги на транспирацию за каждый час или каждые два

часа и слагая их, выявляли суммарные потери за сутки. По данным этих же замеров строили кривую среднесуточных

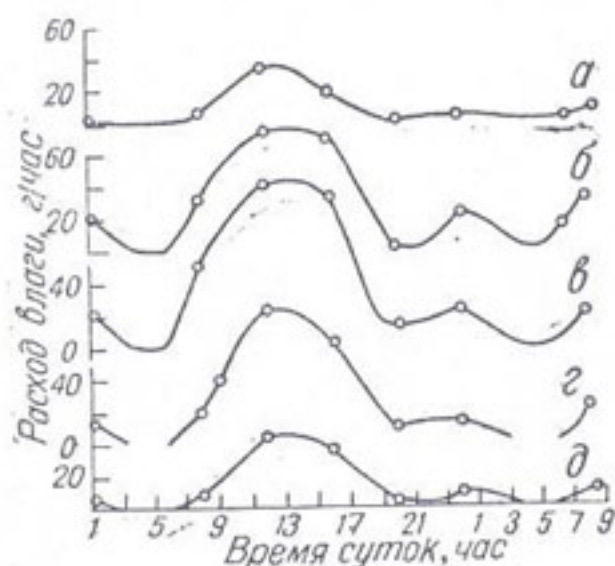


Рис. 21. Суточные расходы влаги на транспирацию одним растением хлопчатника.

а—0/VI 1948 г., б—23/VII, в—14/VIII, г—14/IX, д—15/X.

ст. Собанино Московской области Д. И. Шашко [42] провел вегетационный опыт посевом в три срока (через 15 дней). В качестве объекта исследования была взята пшеница Лютеценс 062.

Выявив суточные транспирационные коэффициенты¹ для различных серий и сроков посевов, вычислив суточные значения диффузного гидромодуля транспирации² и определив зависимость диффузного гидромодуля транспирации от возраста растений, весь сум-

марные потери за сутки. По данным этих же замеров строили кривую среднесуточных потерь влаги на транспирацию хлопчатника за весь период вегетации (рис. 22). Обобщая среднедекадные значения величин расхода по кривой, определяли потери влаги на процесс транспирации за период вегетации.

Метод, предложенный Д. И. Шашко. Первая попытка выразить процесс транспирации математической формулой принадлежит Д. И. Шашко. Для выражения математической зависимости процесса транспирации, вполне пригодной для целей практического использования, в 1936 г. на

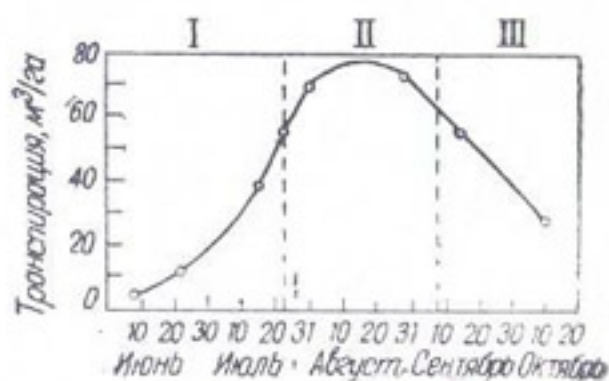


Рис. 22. Среднесуточное испарение воды хлопчатником за 1948 г.

I—до цветения, II—цветение и созревание, III—созревание.

¹ Суточный транспирационный коэффициент был найден по формуле

$$Tr = \frac{D}{n},$$

где D — суточная транспирация;
 n — абсолютно сухая масса, накопленная к данным суткам.

² Суточные значения диффузного гидромодуля транспирации вычислены делением суточных транспирационных коэффициентов на среднесуточный дефицит влажности.

марный процесс транспирации автор представил в таком виде:

$$Tr = \mu(E - e) m,$$

где Tr — суточная транспирация;
 μ — величина диффузного гидромодуля транспирации, определяемая для данных суток по формуле

$$\mu = a \times b;$$

$E - e$ — среднесуточный дефицит влажности, %;

m — абсолютно сухая растительная масса, накопленная в данные сутки;

a и b — постоянные величины.

Постоянные величины находятся по способу наименьших квадратов из логарифмических уравнений. Для упомянутой пшеницы (увлажнение почвы 60% от полной влагоемкости с внесением N, P, K) диффузионный гидромодуль транспирации получил значение $\mu = 10^{3,5929 \times 1,9031}$

Для установления суммарной транспирации за отдельные части вегетационного периода или за весь вегетационный период вычисленные за каждые сутки величины следует сложить. С несколько меньшей точностью суммарная транспирация за отдельные части вегетационного периода (декаду, межфазовый период) может быть выведена по формуле

$$Tr = \frac{\mu_{xi} + \mu_{xn}}{2} (E - e) mn,$$

где Tr — транспирация за отдельный период;

μ_{xi} — диффузный гидромодуль транспирации в начале периода;

μ_{xn} — то же, в конце периода;

$E - e$ — средний дефицит влажности, %;

m — средняя абсолютная сухая растительная масса;

n — количество дней.

На основании собственных наблюдений Д. И. Шашко [42] пришел к выводу, что количество транспирируемой растениями воды зависит от накопления растительной массы, от систематически понижающейся с ростом растения транспирационной способности, отображаемой значениями диффузного гидромодуля транспирации, от метеорологических факторов (главным образом $E - e$).

Определение испарителями. Для выявления транспирации рядковых культур (P_T) на балансовом участке распо-

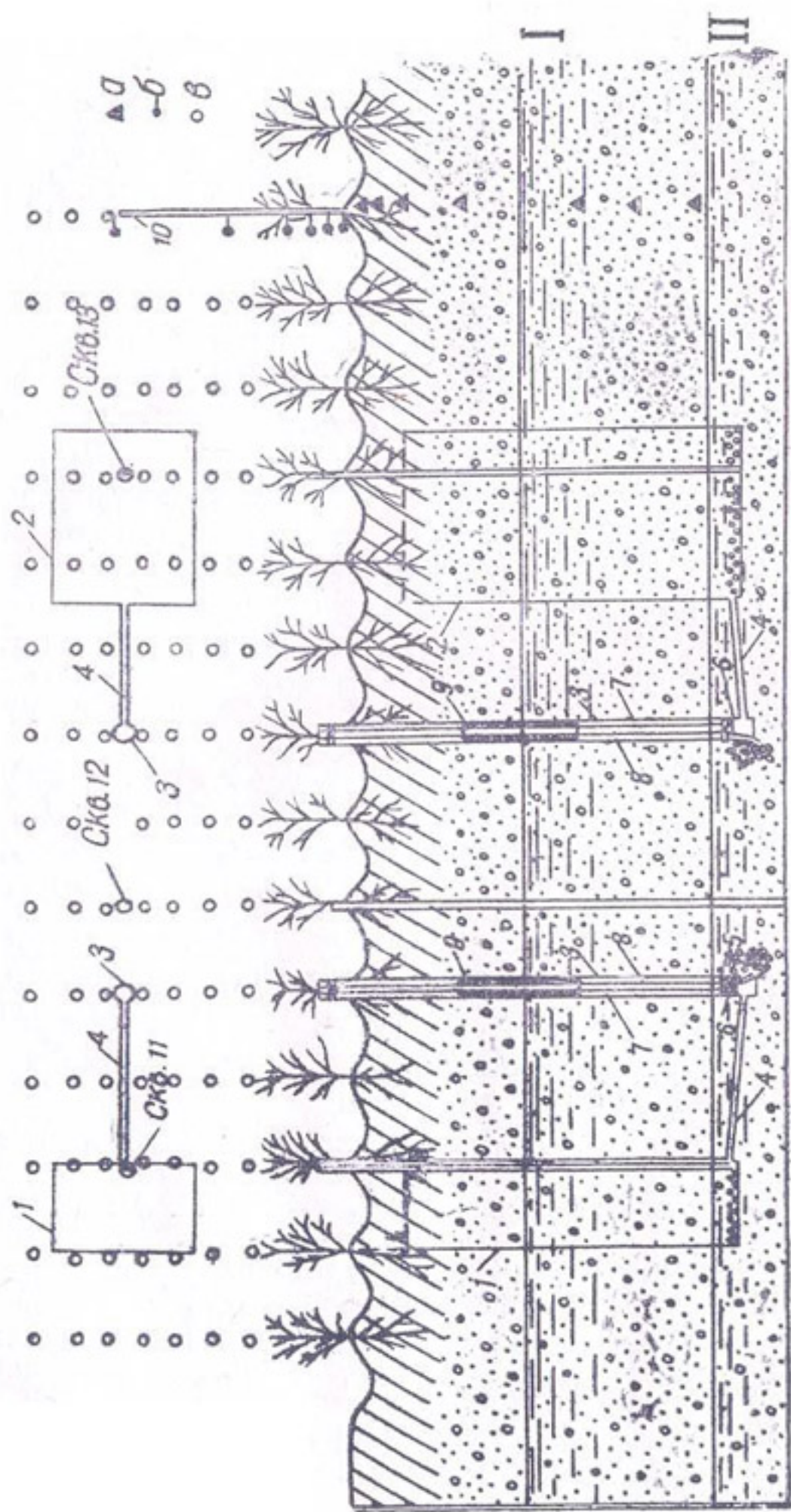


Рис. 23. Расположение испарительных приборов на участке.

1—максимальный к П—минимальный горизонты грунтовых вод. 1—2—испарители, 3—измерительные трубы, 4—соединительные трубы, 5—пат-рубки, 6—патрубки выходные, 7, 8—штабги, 9—ползунки, 10—стойка; а—пункт замера температуры воздуха, б—кусты хлопчатника

лагают два испарителя: в правом растет хлопчатник в шести гнездах (восемнадцать кустов), в левом растений нет (рис. 23).

Края испарителей не доходят до поверхности земли на 30—40 см, их кромка (обрез) по всему периметру помещается на уровне основания пахотного горизонта.

Для того чтобы во второй испаритель не проникли корни, его продольные края надстраиваются дырчатыми стенками.

В левом и правом испарителях в пунктах замера температуры и влажности воздуха ведут наблюдения за пьезометрическим и истинным горизонтами грунтовой воды. Во все время опыта уровень грунтовой воды поддерживается на высоте, соответствующей ее положению вне приборов.

Для определения транспирации растений, произрастающих в правом лизиметре, необходимо отдельно найти суточные потери в обоих приборах. По их разности выводят суточную транспирацию растений в приборе. Транспирацию одного растения вычисляют по формуле

$$Tr = \frac{q_1 - q_2}{n},$$

где q_1 — суточные потери на испарение и транспирацию в лизиметре с растением, л;

q_2 — суточные потери на испарение в лизиметре без растений, л;

n — количество растений.

Помножив Tr на количество растений, произрастающих на одном гектаре, можно получить величину потерь влаги на транспирацию с той же площади. Если на всей площади опытного участка произведен сплошной посев люцерны, ячменя, пшеницы, и т. д., транспирацию устанавливают одним из методов, описанных в приложении 5.

Наблюдения за радиационным балансом, скоростью ветра, влажностью и температурой почвы и воздуха дадут возможность выявить влияние этих элементов на процесс транспирации. Метод среза и метод, предложенный А. А. Скворцовым, применяются как контрольные.

УЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Потери воды на фильтрацию из ирригационных каналов составляют иногда 50% расхода, забираемого головными сооружениями систем из источника орошения. Эти потери требуют дополнительных средств на постройку ирригационной сети с пропускной способностью, намного превышающей то, что достаточно лишь для полезных расходов. Фильтрация из оросительной сети нередко в два раза уменьшает площадь земель, которая могла бы быть орошена запасами воды при источнике.

Просачивающаяся вода часто значительно повышает уровень грунтовых вод и вызывает заболачивание и засоление орошаемых земель.

А. Н. Костяков отмечает, что потери воды в каналах „являются одним из главных источников повышения уровня грунтовых вод на орошаемой площади, так как основная часть потерь происходит за счет фильтрации воды в грунт“ [16, стр. 123]. На такую же причинную связь фильтрационных потерь с грунтовыми водами указывает С. П. Трамбачев [36], И. А. Шаров [40] и др. Б. С. Коньков пишет: „Общеизвестно, что потери в оросительных системах составляют до 50—60% поступающей в них воды. Следовательно, 50—60% всей оросительной воды в республиках Средней Азии расходуется бесполезно, пополняя грунтовые воды и вызывая засоление почв“ [15, стр. 148].

Согласно М. М. Крылову, „если принять все количество воды, идущее на питание грунтовых вод за 100%, то просачивающиеся в почву воды ирригационных каналов составят 65—70%, поливные воды орошаемых полей — 20—25%“ [17].

По данным Кировского ирригационно-системного управления, потери во всей ирригационной сети Голодной степи

равны 52% всего водозабора, полученного через головное сооружение.

Касаясь вопроса влияния поливов на запасы грунтовых вод, В. А. Ковда указывал, что „не следует недооценивать фильтрацию на полях вследствие нарушения правил водопользования и переполивов“ [13]. В. А. Шаумян же подчеркивает, что „потери воды из каналов на фильтрацию..., как правило, не являются главной причиной подъема грунтовых вод“ и что „для борьбы с этими потерями не обязательно мероприятия капитального порядка, а достаточно пользоваться общедоступными средствами“. Далее автор утверждает, что „потери воды на глубокое просачивание в среднем составляют не менее 30% от поданной на поливное поле оросительной воды“ [41, стр. 226, 230]. По мнению В. А. Шаумяна, основной источник питания грунтовых вод — фильтрационные воды не оросительных систем, а полей орошения.

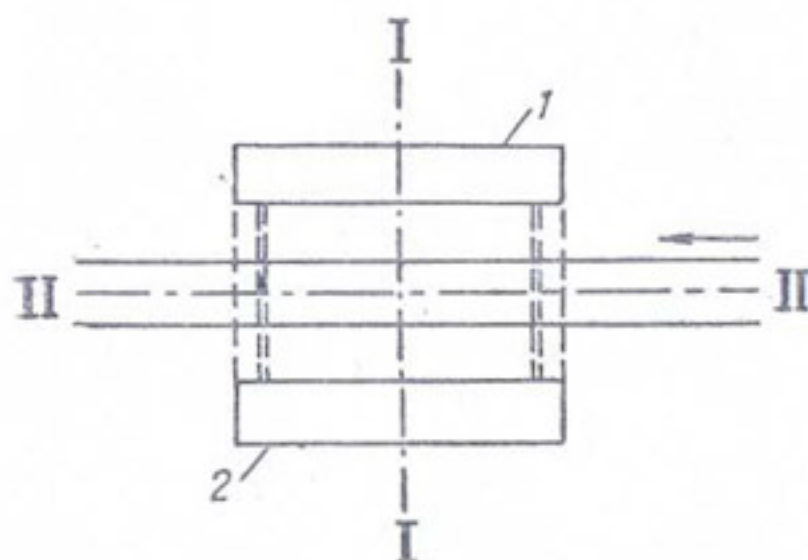


Рис. 24. План закладки траншей.

1, 2—траншеи.

При балансовых работах учет фильтрационных потерь в каналах надо производить по эмпирическим формулам, применяя гидрометрические приемы и лизиметры различных конструкций.

Ниже описываются лизиметрические приемы определения этих потерь по А. Ф. Слядневу и В. В. Ведерникову.

По А. Ф. Слядневу, пополнение запаса грунтовых вод на участке и запаса влаги в зоне аэрации за счет потерь из оросителей находится в следующей последовательности. На типичном участке оросителя роются две траншеи сечением 200×60 см, глубиной 260 см (рис. 24). Их плановое распо-

ложение по отношению к оросителю показано на рис. 25. В основном они соединяются нишей, на дно которой укладывается лизиметр, изготовленный из 2—3-миллиметрового листового железа. Остальная

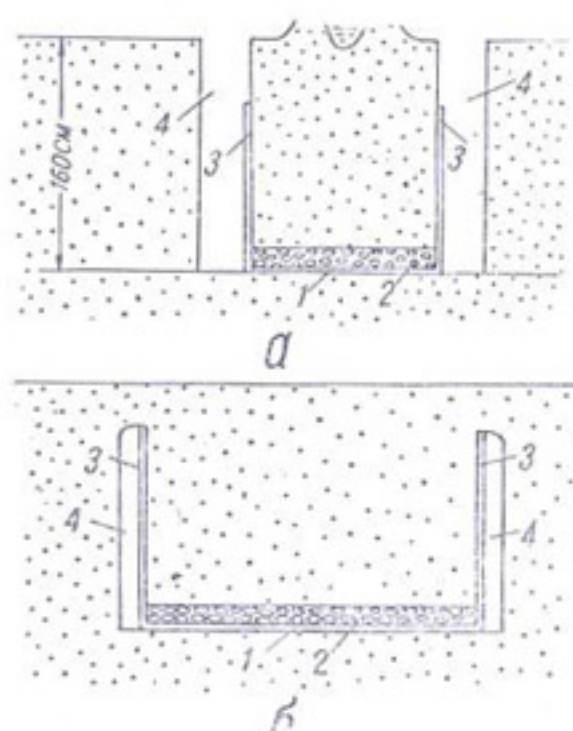


Рис. 25. Положение лизиметра в траншее.

a—разрез по линии I—I, *б*—по линии II—II
1—дно лизиметра, 2—песок, 3—стенки лизиметра, 4—траншея.

часть ниши плотно забивается песком. Ко дну лизиметра присоединяются продольные стенки, сделанные из того же железа, после чего пробиваются поперечные глухие траншеи. В них ставятся поперечные стенки лизиметра, которые ко дну прибора прикрепляются так же, как и продольные.

Верхние кромки боковых стенок лизиметра оканчиваются на глубине 50 см ниже поверхности земли. Пустоты между монолитом в приборе и металлическими стенками заливаются пластмассой, а все траншеи плотно забиваются извлеченным грунтом. Гравитационная

вода, двигаясь по порам грунта вниз, попадает в лизиметр и из него по трубке проходит в сосуд, где и замеряется. За уровнем грунтовой воды в приборе и вне его ведется наблюдение по скважинам 1, 2 и 3 (рис. 26).

Посредством ряда пробок сосуда уровень грунтовой воды в лизиметре за все время работы поддерживается на высоте естественного. Во избежание засорения камера закрывается крышкой. Ширина гравитационного потока определяется эпизодически и контролируется бурением скважины и исследованием влажности грунтов по линии, перпендикулярной к оросителю. Замерив прибором фильтрационный расход воды, удельные потери с 1 пог. м оросителя вычисляют по формуле

$$q = \frac{Q}{2},$$

где q — фильтрационный расход оросителя с длины 1 м, л/сек;

Q — фильтрационный расход оросителя, замеренный прибором, л/сек.

Общие потери воды на фильтрацию из оросителя находят по формуле

$$q_L = qL,$$

где L — длина оросителя в пределах опытного участка, м.

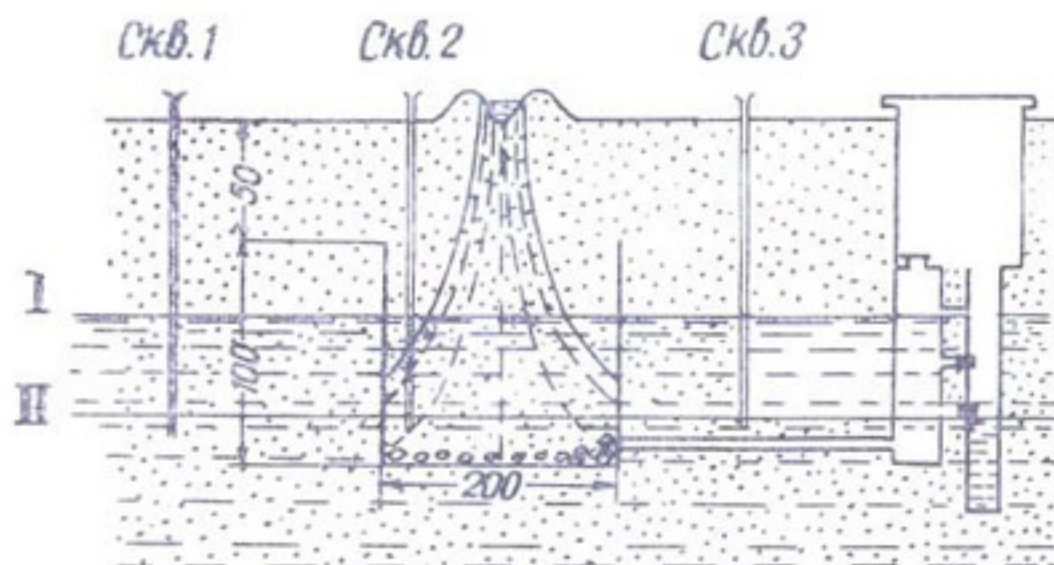


Рис. 26. Положение лизиметра на участке (разрез по линии I—I). Размеры в см.

I—максимальный и II—минимальный горизонты грунтовых вод.

В. В. Ведерников [5] предложил весьма оригинальный метод учета определения скоростей фильтрации, направления и очертания с водной поверхности фильтрационного потока из каналов. По этому методу в отдельных точках по периметру канала трубки устанавливают так, чтобы они входили в грунт на достаточную, но небольшую глубину. Количество трубок зависит от размеров канала. Доливая или постоянно снабжая их водой из пловучих баков с помощью резиновых трубочек, в трубах поддерживают такой же уровень воды, как в канале. При поступлении воды из пловучих баков верх трубок должен быть ниже, чем горизонт воды в канале.

Пловучие баки изготавливаются с таким расчетом, чтобы горизонт воды в них (с некоторым колебанием) немного отличался от уровня в канале. Зная площадь поперечного сечения входящего в грунт канала конца трубок и расход воды в баках за определенное время, можно установить скорость фильтрации в данной точке периметра канала. Во избежание заиливания поверхности грунта в трубках наливаемая в них вода должна быть по возможности чиста от взвешенных наносов. Во время опытов горизонт воды в канале

постоянно поддерживают. На рис. 27 показано некоторое изменение установки трубок. Трубки делают небольшими (достаточными только для заглубления их на необходимую глубину в грунт канала и присоединения к ним резиновой трубки), что позволяет уменьшать стеснение живого сечения канала и предохраняет трубки от подмыва. От них по

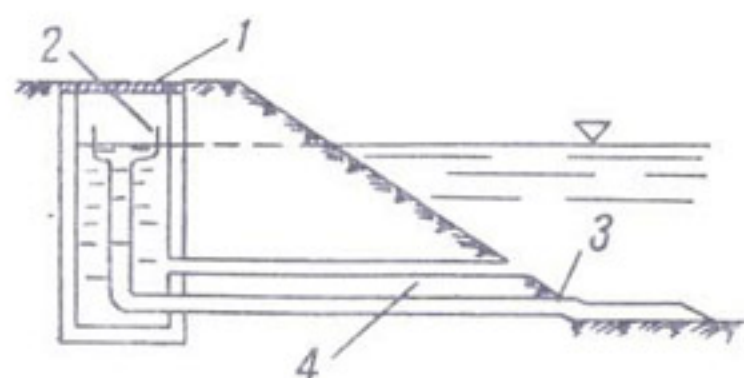


Рис. 27. Смотровой колодец на берегу канала.

1—смотровой колодец, 2—плавучий бачок, 3—резиновая трубка, 4—трубка для выравнивания уровней воды в колодце и канале.

параметру канала отходят резиновые или металлические трубки (они могут быть зарыты в грунт) в общий сборный бетонный колодец. В нем горизонт воды с помощью трубы поддерживается на том же уровне, что и в канале. В колодце к каждой трубке присоединяется плавучий бачок. Это дает возможность вести стационарное наблюдение за скоростями фильтрации, их изменениями в зависимости от «устранения» канала и колебаний горизонтов воды в нем.

Для выявления очертаний линии токов фильтрационной воды, влияния капиллярного поднятия на их направление в эти трубки и бачки наливают раствор краски. Наблюдая в течение определенного времени за расходом краски, можно установить скорости фильтрации по периметру канала. Прорыв поперек канала (после удаления из него воды) соответствующим образом траншее, фиксируют движение воды по окрашенным линиям тока на стенке траншеи. Время проведения опыта должно быть достаточно длительным. Методом окрашивания линий токов можно выяснить тип фильтрации (с подпором или без него), характер смыкания фильтрационного потока с грунтовыми водами (очевидно, при первоначальном спуске канала фильтрационные воды будут «выдавливать» грунтовые воды в стороны от канала).

Приборы с плоским дном и боковым отверстием располагают в профиле канала. В этом же профиле по дну канала протягивают шланг или трубу диаметром 3—4 см, которая врезается в берег канала и оканчивается воронкой (по В. В. Ведерникову). Уровень воды на высоте уреза в канале поддерживают воронками В. В. Ведерникова, как наиболее оригинальными водомерами, в которых ведется учет фильтрующейся воды сразу по группе приборов или по каждой установке в отдельности.

ПРИБОР ДЛЯ ОТБОРА ПРОБ ГРУНТОВЫХ ВОД

Пробы грунтовых вод для химического анализа отбираются щупом (рис. 28), состоящим из железной или стальной трубки диаметром 0,5 дюйма, стального или железного

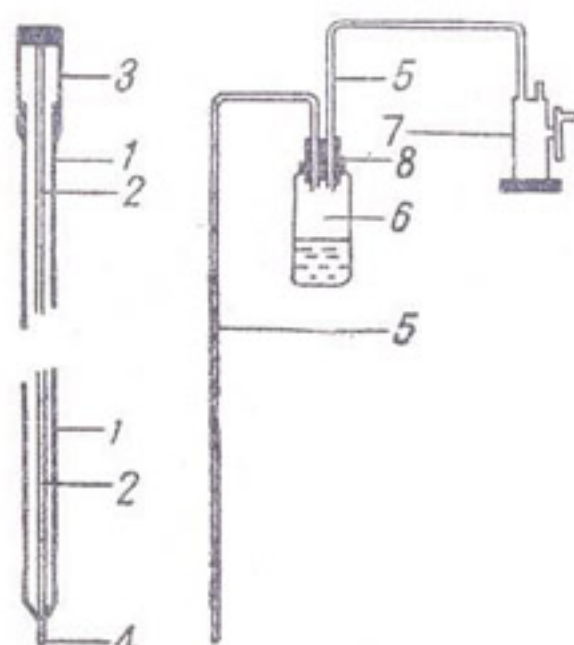


Рис. 28. Прибор для отбора проб воды в грунтах.

1—железная трубка, 2—стержень, 3—пробка металлическая, 4—отверстие, 5—резиновая трубка, 6—сосуд, 7—вакуумный насос, 8—пробка резиновая.

стержня, пробки или муфты с дном. Трубка и стержень внизу заточены на конус, благодаря чему стержень плотно закрывает нижнее отверстие в трубке.

Метод отбора проб. В исследуемом пункте роют шурф или бурят скважину до грунтовых вод. Пробу грунтовых вод из шурфа берут кружкой, а из скважины — щупом. Из забоя скважины или шурфа щуп в собранном виде вдавливают в породу на глубину, с которой нужно брать образец воды. (Щуп монтируют в такой последовательности: в трубку вставляют стержень с таким расчетом, чтобы он плотно за-

крывал отверстие. Стержень прижимают к концу трубы пробкой, которая навинчивается на трубку). Затем отвинчивают пробку и вынимают стержень. При таком положении прибора в грунте грунтовая вода через отверстие поступает в трубу. Для извлечения воды из нее применяют несложное устройство из резиновых или медных трубок и стеклян-

ной банки с резиновой пробкой, вакуумного насоса системы Комовского или ручного насоса системы Шанца.

Вакуум, созданный посредством насоса после погружения резиновой трубки в трубу, способствует поступлению воды в сосуд. После взятия образца стержень снова вставляют в трубу, прижимают пробкой и, не извлекая из скважины, вдавливают до нужной глубины. После 3—4-кратного водоотлива из трубы берут образец воды, а агрегат снова вдавливают в грунт для отбора следующей пробы. Максимальная глубина отбора проб воды из скважины должна быть на 9—9,5 м ниже поверхности земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. А н о л о в Б., Л у к а ш и н М. Гидрометрия, Тбилиси, 1934.
2. Б у т ы р и н М. В. Водомеры для колхозной и межколхозной ирригационной сети, Ташкент, Узгосиздат, 1941.
3. Б ю л л е т е н ь научно-технической информации по агрономической физике, Л., 1956, № 2.
4. В а с и л ь П. И. Потери в каналах и формулы их учета, Москва—Ташкент, Саогиз, 1933.
5. В е д е р н и к о в В. В. Фильтрация из каналов, М., 1934.
6. Г л у б ш е в К. С. Водомер поплавковый, М., Гидрометиздат, 1953.
7. Г о т а л ь с к и й М. А. Влияние ветра и атмосферного давления на подземные воды, „Разведка недр“, 1937, № 24.
8. З о н и С. В. О роли почвообразования и орошения в формировании химического состава грунтовых вод, ДАН СССР, 1945.
9. З о н и С. В. Ход потери влаги в почве под лесом и степью, ДАН СССР, т. X, 1949.
10. К е д р о л и в а н с к и й В. Н. Метеорологические приборы, М., 1946.
11. К е н е с а р и н Н. А. Формирование режима грунтовых вод орошаемых районов, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1959.
12. К и н г Ф. Х. Наблюдения и опыты над колебанием уровня и скорости движения грунтовых вод на сельскохозяйственной станции штата Висконсин, Бюллетень США, 1892.
13. К о в д а В. А. Солончаки и солонцы, М., Изд-во АН СССР, 1937.
14. К о н ь к о в Б. С. Испарение грунтовых вод на различной глубине залегания, „Социалистическая наука и техника“, 1938, № 9—10.
15. К о н ь к о в Б. С. и П е т р о в Н. И. К изучению режима грунтовых вод в Голодной степи, Труды Среднеазиатского опытно-исследовательского института водного хозяйства, 1929.
16. К о с т я к о в А. Н. Основы мелиорации, М., Сельхозиздат, 1956.
17. К р ы л о в М. М. Основы мелиоративной гидрогеологии Узбекистана, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1959.
18. К р ы л о в М. М. О режиме и балансе грунтовых вод Голодной степи, Ташкент, Изд-во комитета наук СНК УзССР, 1936.
19. К у л ь б ы ш С. М. Электрические пирометры, М., Техиздат, 1935.
20. Л е б е д е в А. В. Прогноз изменения уровня грунтовых вод на орошаемых территориях, М., Госгеолиздат, 1957.
21. Л е г о с т а е в В. М. Гидро модульное районирование хлопкового пояса Средней Азии и Южного Казахстана, Ташкент, изд. СоюзНИХИ, 1935.

22. Л е г о с т а е в В. М. Мелиорация засоленных земель, Ташкент, Госиздат УзССР, 1959.
 23. М е й е р Ф. Изменение испарений, „Метеорология и гидрология“, 1937, № 5.
 24. О т о ц к и й П. В. Режим грунтовых вод, „Почвоведение“, 1915, № 3.
 25. П о л я к о в Н. В. Основы мелиоративного грунтоведения, М.—Л., Сельхозиздат, 1933.
 26. П е н к е в и ч. Опыт определения температуры поверхности почвы с помощью безинерционных термометров, Известия ГГО, 1930, № 2.
 27. П е т р о в Н. И. О наблюдениях над испарением без испарителей, „Метеорология и гидрология“, 1941, № 6.
 28. П о п о в В. П. Почвенные испарители и лизиметры, Труды Млеевской опытной станции, вып. 20, 1929.
 29. П о п о в В. П. Руководство к почвенному испарителю, М., 1936.
 30. Р а ч и н с к и й А. А. Потери воды в хозяйственной оросительной системе и меры борьбы с ними, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1956.
 31. Р о г о в с к а я Н. В. Методика гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на массивах орошения, М., Госгеоллиздат, 1951.
 32. Р ы к а ч е в М. А. Новый испаритель для наблюдения над испарением, „Записки Академии наук“, серия 8, т. 8, 1898.
 33. С к в о р ц о в А. А. Об испарении и обмене в приземном слое атмосферы, Труды Института энергетики АН УзССР, 1947, № 1.
 34. С п р а в о ч н и к по инженерной геологии, М., 1939.
 35. С т р у в е р Л. Р. и Р у с и н Н. П. Сравнение различных методов определения испарения, Труды ГГИ, вып. 57, 1956.
 36. Т р а м б а ч е в С. П. Осушение и орошение, М., Сельхозиздат, 1938.
 37. Ф а в о р и н Н. Н. Оросительные каналы и грунтовые воды, М., Изд-во АН СССР, 1954.
 38. Ф р и д р и х В. Испарение с поверхности почвы, покрытой и не покрытой растительностью, „Метеорология и гидрология“, 1937, № 7.
 39. Ш а р а ш к и н В. Н. Фильтрация в мелкой оросительной сети, Ташкент, изд. САНИИРИ, 1938.
 40. Ш а р о в И. А. Эксплуатация ирригационных систем, М., Сельхозиздат, 1952.
 41. Ш а у м я н В. А. Научные основы орошения и оросительных сооружений, М., Сельхозиздат, 1948.
 42. Ш а ш к о Д. И. К вопросу о методике количественного учета транспирации, „Метеорология и гидрология“, 1938, № 1.
 43. Ш р е д е р Р. Р. Наблюдения транспирации растений в полевой обстановке, „Вестник ирригации“, 1925, № 4.
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Состав, состояние и свойства грунтов	6
Состав грунтов	6
Состояние грунтов	7
Свойства грунтов	11
Режим грунтовых вод	17
Балансовое уравнение хлопкового поля	18
Элементы балансового уравнения	19
Уравнение для балансового гидрогеологического участка	41
Балансовые уравнения для больших территорий	57
Приложение 1. Приборы для изучения влияния давления, температуры и влажности воздуха на горизонт подземных вод	65
Атмосферное давление	65
Температура воздуха	66
Температура грунтов	71
Приложение 2. Почвенный дождемер	78
Приложение 3. Приборы для учета оросительной воды	79
Приложение 4. Учет потерь влаги на испарение с водной поверхности	94
Приложение 5. Описание некоторых испарителей	95
Испарение с верхних горизонтов почвы	95
Испарение с горизонта грунтовых вод	96
Приложение 6. Учет потерь влаги на транспирацию	110
Приложение 7. Учет фильтрационных потерь в оросительной сети	120
Приложение 8. Прибор для отбора проб грунтовых вод	126
Литература	128

Саяднєв А. Ф.

Методы изучения баланса грунтовых вод. Отв. ред. д-р г.-м. наук
М. М. Крылов. Т., Изд-во Акад. наук УзССР, 1961.

131 стр. (Акад. наук УзССР. Ин-т гидрогеологии и инж. геологии).
551.49

Редактор *А. Р. Мансуров*

Художник *Н. В. Козолупов*

Технический редактор *Х. У. Карабаева*

Корректор *В. Ф. Улан*

Р04286 Сдано в набор 24/VII-1961 г. Подписано к печати 28/VIII-1961 г.
Бумага $60 \times 92 \frac{1}{16} = 4,13$. бум. л. 8,25 печ. л. 8,0 Изд. № 2963
Тираж 1000 Цена 67 к. Переплёт 20 к.

Типография Издательства АН УзССР, Ташкент, Хорезмская, 9. Заказ 667
Адрес Издательства: Ташкент, ул. Куйбышева, 15.