

Мелиорация и рекультивация, экология

УДК 502/504:631.67

А. И. Голованов, доктор техн. наук, профессор

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

ТЕОРИЯ ОАЗИСНОГО ОРОШЕНИЯ

Предложены теоретические зависимости для расчета глубин грунтовых вод (ГГВ) на небольших орошаемых участках (оазисах), примерно оценены их размеры в бессточных полупустынных районах Северного Прикаспия.

The theoretical dependencies are proposed for estimation of ground water depths (GWD) on small irrigated sites (oases), their sizes are approximately estimated in drainless semi-desert regions of the North Prikaspje.

Рассмотрим случай, когда орошаемые участки имеют небольшую площадь и равномерно распределены на значительной территории. Примыкающие к орошаемым богарные земли могут выполнять роль «сухого дренажа», т. е. инфильтрационные воды с орошаемых участков растекаются под неорошаемыми и там расходуются на испарение. Такая ситуация возможна на обширных равнинах, плохо обеспеченных естественным дренажем. Как не раз показала практика, орошение здесь больших массивов, порядка нескольких тысяч гектаров, приводит к повсеместному подъему уровня грунтовых вод, а строительство дренажа сопряжено с большими затратами, труд-

ностями отвода значительного количества минерализованных дренажных вод. Примером является Палласовская оросительно-обводнительная система в бессточном Северном Прикаспии, где за несколько лет эксплуатации практически все орошаемые земли подвергались подтоплению и засолению (рис. 1).

Теоретически круговороты воды и солей описаны автором статьи и Н. И. Сотневой с помощью радиально-осевых моделей транспорта воды и солей [1]. С хорошей точностью удалось воспроизвести оросительные нормы и глубины грунтовых вод при сплошном (тотальном) орошении на Палласовской оросительно-обводнительной системе за 30 лет ее эксплуатации (1970–2001).

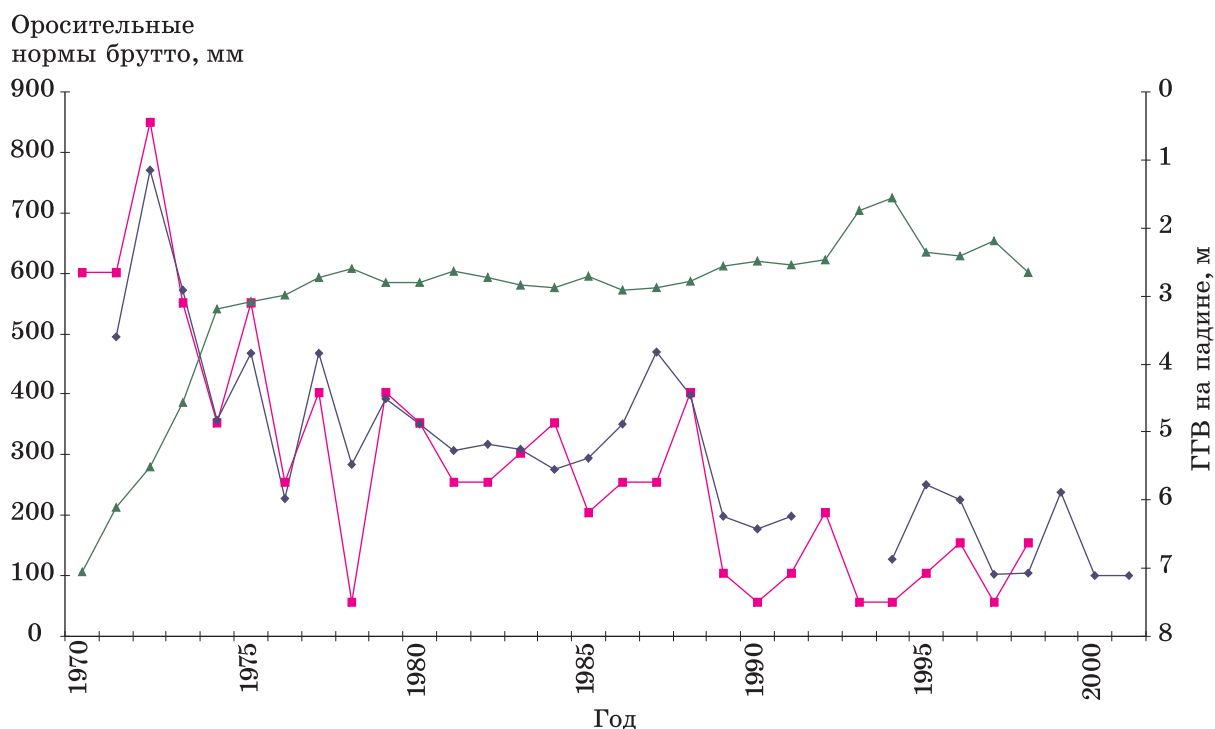


Рис. 1. Оросительные нормы и глубины грунтовых вод при сплошном орошении земель Палласовской системы: —■— рассчитанные оросительные нормы брутто, мм; —◆— фактические оросительные нормы брутто, мм; —▲— ГВВ на падине, м

Альтернативой орошения больших массивов является полив небольших (30...100 га), равномерно распределенных по площади участков. Это напоминает природное увлажнение замкнутых небольших пастбищ за счет сноса в них снега и стока талых вод весной с возвышенностей. Под такими пастбищами формируются промытые темноцветные черноземовидные плодородные почвы. Пастбища окружены иссушенными осолонцованными возвышенностями. А. А. Роде и другие авторы исследовали природный круговорот воды и солей в таком единичном комплексе — пастбище и окружающие ее склоны и возвышенности. Исследования подтвердили роль возвышенностей как «сухого дренажа» [2].

Воспользуемся одним из принципов природообустройства — принципом природных аналогий, когда искусственное орошение воспроизводит протекающие в данном месте природные процессы, к которым природа «привыкла» [3].

Рассмотрим наиболее простой случай установившегося во времени круговорота воды в системе «орошаемый участок — примыкающие богарные земли».

Несмотря на стабилизацию водных потоков, в этой системе долгое время будут идти процессы перераспределения солей, наблюдаться рост их содержания на прилегающей круговой полосе. Цель таких приближенных расчетов — оценить глубины грунтовых вод в центре орошаемого круга, на его периферии и на внешней границе примыкающей богары.

Орошаемая площадь в виде круга имеет радиус A и вложена в прилегающую территорию с эквивалентным радиусом R . Доля орошаемых земель от всей территории (коэффициент оазисности) составит $K_{\text{оаз}} = (A/R)^2$. Систему «орошаемый оазис — прилегающие земли» можно представить в виде пласта-бочки с непроницаемыми границами в силу симметричного расположения. На территории может быть некоторое количество орошаемых оазисов. Примем: глубина до водоупора — H_0 , мощность обводненной толщи в среднем — T , коэффициент фильтрации обводненной толщи — k , средняя за вегетацию инфильтрация на орошаемых землях — ε , м/сут. На неорошаемых землях расход грунтовых вод на

испарения примем зависящим от глубины грунтовых вод по линейному закону [4]:

$$w = w_0(1 - h_r/h_{кр}),$$

где w_0 — максимально возможное испарение при нулевой глубине грунтовых вод, равное испаряемости с водной поверхности; h_r — глубина грунтовых вод; $h_{кр}$ — критическая глубина, при которой прекращается расходование грунтовых вод на испарение, примерно равная сумме высоты капиллярной каймы и глубины проникновения корней; в засушливых районах корни дикорастущих трав могут заглубляться на 2...3 м и более.

От горизонтального водоупора обозначим напоры грунтовых вод: на орошаемой территории — H_1 , на неорошаемой — H_2 . При этом глубина грунтовых вод $h_r = H_0 - H$. Уравнения установившейся фильтрации будут иметь следующий вид:

на орошаемом круге —

$$kT \left(\frac{d^2 H_1}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dH_1}{dr} \right) = -\varepsilon;$$

на прилегающих землях —

$$kT \left(\frac{d^2 H_2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dH_2}{dr} \right) = \frac{w_0}{h_{кр}} (H_2 - H_0 + h_{кр}).$$

Граничные условия:

- 1) $x = 0$; $dH_1/dr = 0$;
- 2) $x = A$; $H_1 = H_2$;

$$3) x = A; dH_1/dr = dH_2/dr;$$

$$4) x = R; dH_2/dr = 0,$$

т. е. на границах двух областей имеет место граничное условие четвертого рода.

Частные решения этих уравнений:

$$H_1 = -\frac{\varepsilon}{4kT} r^2 + C_1 r + C_2 \quad [\text{производные:}$$

$$H_1' = -\frac{\varepsilon}{2kT} r + C_1; H_1'' = -\frac{\varepsilon}{2kT}];$$

$$H_2 = \Delta H + C_3 K_0(\alpha r) + C_4 I_0(\alpha r),$$

[производные:

$$H_2' = -C_3 \alpha K_1(\alpha r) + C_4 \alpha I_1(\alpha r);$$

$$H_2'' = C_3 \alpha^2 \left(K_0(\alpha r) - \frac{1}{\alpha r} K_1(\alpha r) \right) +$$

$$+ C_4 \alpha^2 \left(I_0(\alpha r) - \frac{1}{\alpha r} I_1(\alpha r) \right)],$$

где $\alpha = \sqrt{\frac{w_0}{kT h_{кр}}}$; $\Delta H = H_0 - h_{кр}$.

В этих формулах использованы модифицированные цилиндрические функции (функции Бесселя) первого рода нулевого и первого порядка и второго рода нулевого и первого порядка, соответственно $I_0(x)$; $I_1(x)$; $K_0(x)$; $K_1(x)$. Эти функции табулированы и приведены в справочниках, их графики показаны на рис. 2.

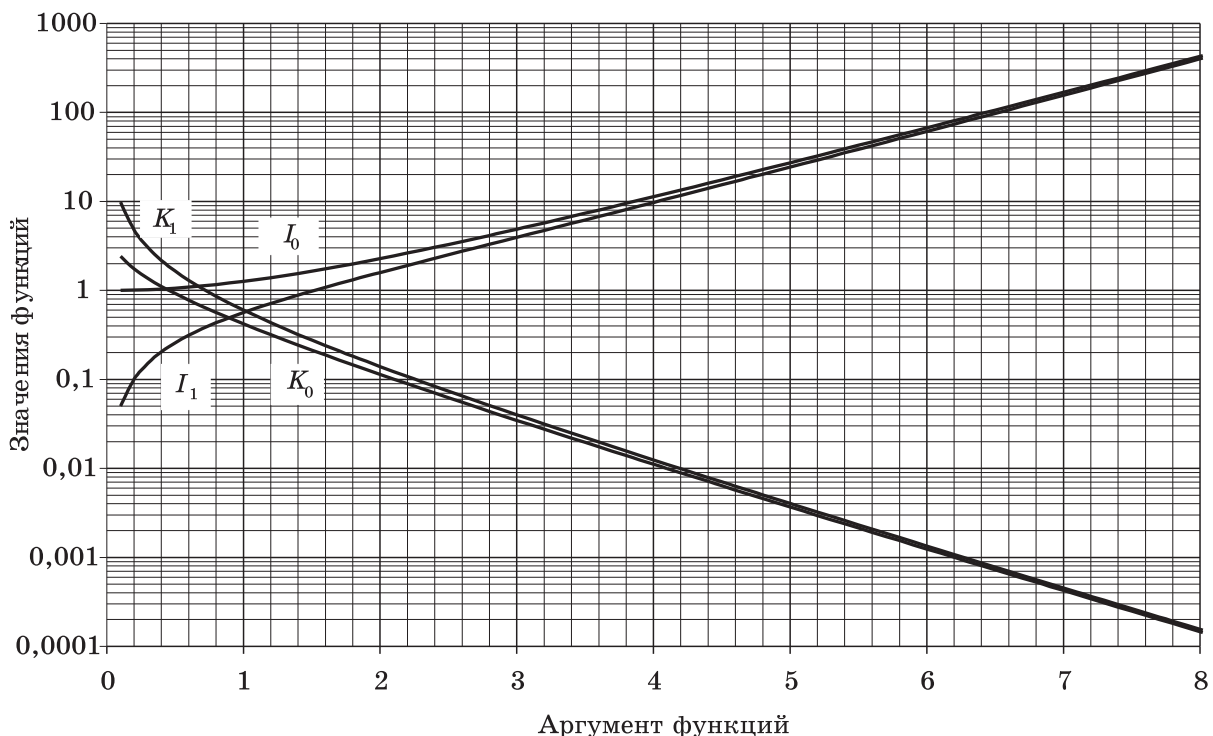


Рис. 2. Графики модифицированных функций Бесселя $I_0(x)$, $I_1(x)$, $K_0(x)$, $K_1(x)$

Производные от этих функций [5]:

$$I'_0(\alpha r) = \alpha I_1(x); K'_0(\alpha r) = -\alpha K_1(\alpha r);$$

$$I'_1(\alpha r) = \alpha \left(I_0(\alpha r) - \frac{1}{\alpha r} I_1(\alpha r) \right);$$

$$K'_1(\alpha r) = -\alpha \left(K_0(\alpha r) + \frac{1}{\alpha r} K_1(\alpha r) \right).$$

Из граничных условий находим:

при $x = 0$ отношение $dH_1/dr = 0$,
отсюда $C_1 = 0$;

при $x = R$ отношение $dH_2/dr = 0$,

отсюда $C_3 = C_4 \frac{I_1(\alpha R)}{K_1(\alpha R)}$;

при $x = A$ отношение $dH_1/dr =$

$$= dH_2/dr, \text{ отсюда } C_4 = \frac{\varepsilon A}{2kT\alpha} \times$$

$$\times \frac{K_1(\alpha R)}{I_1(\alpha R)K_1(\alpha A) - I_1(\alpha A)K_1(\alpha R)}.$$

Из условия $x = A, H_1 = H_2$ получаем:

$$C_2 = \frac{\varepsilon A^2}{kT} + \Delta H +$$

$$+ \frac{\varepsilon A}{2kT\alpha} \frac{I_1(\alpha R)K_0(\alpha A) + I_0(\alpha A)K_1(\alpha R)}{I_1(\alpha R)K_1(\alpha A) - I_1(\alpha A)K_1(\alpha R)}.$$

С учетом выражений для постоянных интегрирования получаем общие решения для орошаемой и неорошаемой территорий:

$$H_1 = \frac{\varepsilon}{4kT} (A^2 - r^2) + \Delta H + \frac{\varepsilon A}{2\alpha kT} \frac{I_1(\alpha R)K_0(\alpha A) + I_0(\alpha A)K_1(\alpha R)}{I_1(\alpha R)K_1(\alpha A) - I_1(\alpha A)K_1(\alpha R)};$$

$$H_2 = \Delta H + \frac{\varepsilon A}{2\alpha kT} \frac{I_1(\alpha R)K_0(\alpha r) + I_0(\alpha r)K_1(\alpha R)}{I_1(\alpha R)K_1(\alpha A) - I_1(\alpha A)K_1(\alpha R)}.$$

Минимальная глубина грунтовых вод будет под центром орошаемой территории ($r = 0$):

$$h_0 = h_{кр} - \frac{\varepsilon A^2}{4kT} - \frac{\varepsilon A}{2\alpha kT} F_1. \quad (1)$$

Глубина грунтовых вод на границе орошаемой территории ($r = A$):

$$h_A = h_{кр} - \frac{\varepsilon A}{2\alpha kT} F_1. \quad (2)$$

Наибольшая глубина грунтовых вод — на внешней границе примыкающих неорошаемых земель ($r = R$):

$$h_R = h_{кр} - \frac{\varepsilon A}{2\alpha kT} F_2, \quad (3)$$

где $F_1 = \frac{I_1(\alpha R)K_0(\alpha A) + I_0(\alpha A)K_1(\alpha R)}{I_1(\alpha R)K_1(\alpha A) - I_1(\alpha A)K_1(\alpha R)}$;

$$F_2 = \frac{I_1(\alpha R)K_0(\alpha R) + I_0(\alpha R)K_1(\alpha R)}{I_1(\alpha R)K_1(\alpha A) - I_1(\alpha A)K_1(\alpha R)} \quad (\text{рис. 3 и 4}).$$

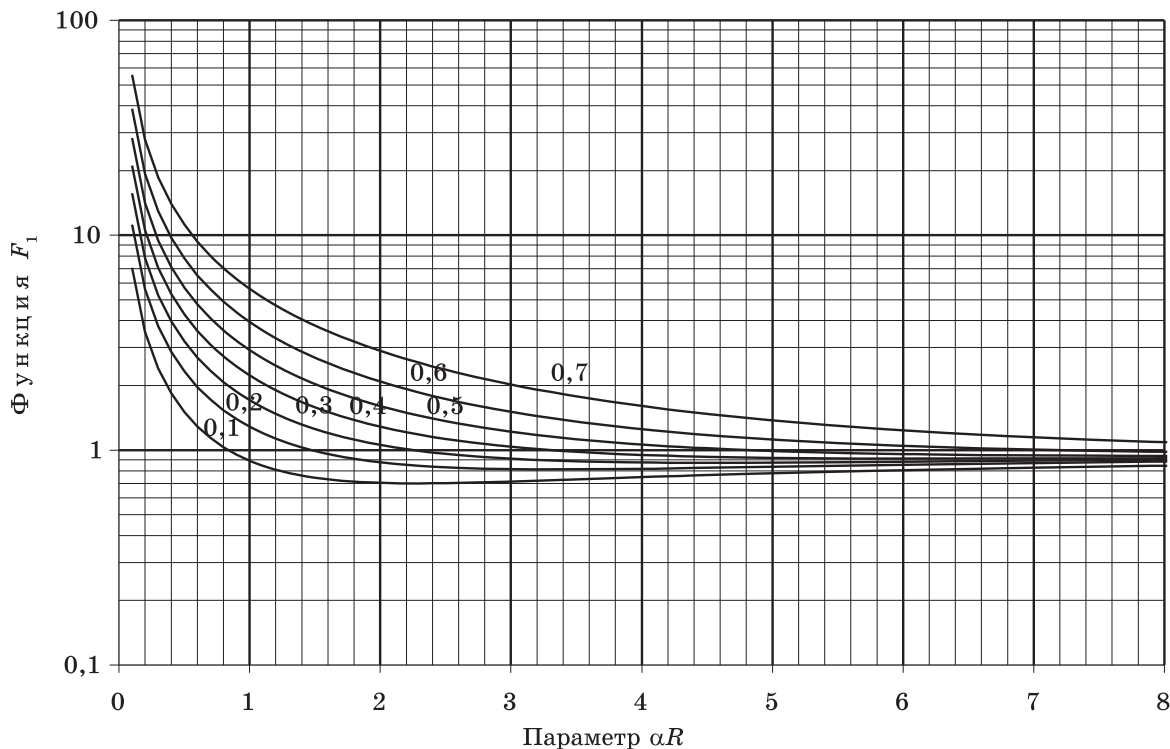


Рис. 3. Зависимость функции F_1 от параметра αR и коэффициента оазисности $K_{оаз}$ (цифры у кривых)

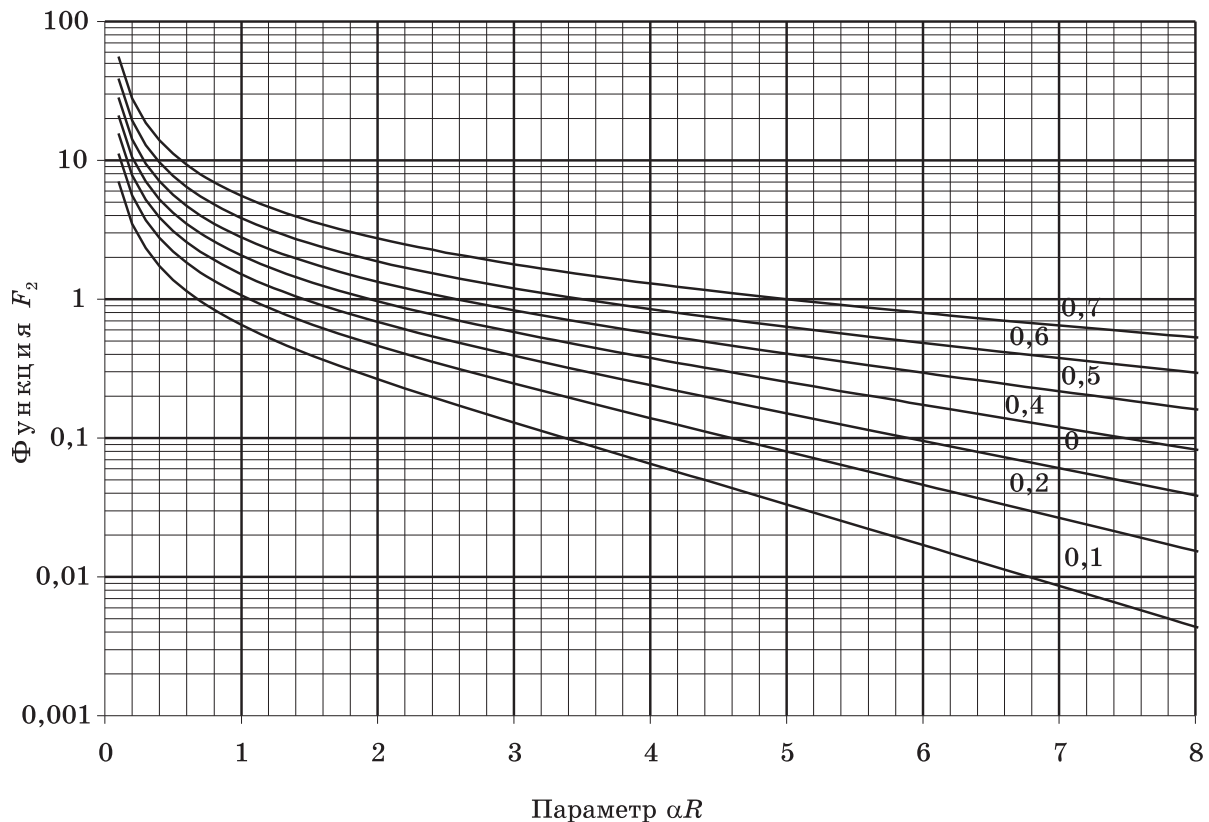


Рис. 4. Зависимость функции F_2 от параметра αR и коэффициента оазисности $K_{оаз}$ (цифры у кривых)

Пример расчета размеров участка оазисного орошения: $H_0 = 20$ м, критическая глубина $h_{кр} = 3$ м; $T = 20 - 3 = 17$ м; $k = 5$ м/сут; диаметр орошаемого круга $2A = 400$ м; расстояние между центрами орошаемых кругов $2R = 800$ м; коэффициент оазисности $0,25$. При средневегетационной инфильтрации на орошаемых землях $\mu = 0,0015$ м/сут, или 180 мм за 4 мес. вегетации, и при испаряемости с водной поверхности за это время 600 мм, или $w_0 = 0,005$ м/сут, по формулам (1)...(3) находим средневегетационную минимальную глубину грунтовых вод в центре орошаемого круга, которая составит $2,34$ м, что при промывном режиме орошения с точки зрения вторичного засоления неопасно. Макси-

мальная глубина грунтовых вод на границе орошаемого круга составит $2,52$ м, а на внешней границе неорошаемого круга — $2,66$ м. Естественно, что прилегающая неорошаемая полоса будет постепенно засоляться, на ней начнут развиваться галлофилы, которые могут являться кормом для овец.

Если при том же коэффициенте оазисности $0,25$ диаметры кругов удвоить, то площадь орошаемого участка возрастет до 200 га, если диаметр наружного круга назначить $2R = 1600$ м, то в центре орошаемого круга грунтовые воды поднимутся до недопустимого уровня — на глубину $1,53$ м, на границе орошаемого круга — до глубины $2,24$ м, а на внешней границе неорошаемого круга опустятся до глубины $2,74$ м.

Результаты моделирования оазисного орошения при разной доле орошаемых земель

Площадь падины, га (%)	Боковой отток, мм	Промываемость, мм	Испарение, мм	Оросительная норма, мм	Глубина грунтовых вод, м	Запасы солей, кг/га в слое		Сумма солей в слое 1 м, %	
						14 м	5 м	В падине	На склоне
38(12)	18	88	612	275	3,4	77	5	0,04	0,48
79(25)	13	75	615	290	3,1	97	10	0,04	0,66
154(49)	6	66	618	300	2,8	128	23	0,09	0,87
227(72)	3	62	621	311	2,6	146	35	0,14	0,92

Естественно, что приближенные расчеты должны быть проверены с помощью моделирования процессов передвижения влаги и солей (таблица).

Моделирование показывает, что засоление заметно увеличивается вблизи орошаемой полосы. Предельная площадь орошаемых падин в условиях Северного Прикаспия составляет 24 %.

Ключевые слова: расчет глубин грунтовых вод, орошаемые участки, бессточные полупустынные районы Северного Прикаспия, богара, падина, оросительные нормы, вегетация, фильтрация, инфильтрация.

Список литературы

1. Голованов, А. И. Моделирование солевых процессов в замкнутых геосистемах

солонцовых комплексов Северного Прикаспия [Текст] : материалы IV съезда «Почвы — национальное достояние России» Докучаевского общества почвоведов / А. И. Голованов, Н. И. Сотнева. — Кн. 1. — Новосибирск, 2004. — 207 с.

2. Роде, А. А. Водный режим и баланс целинных почв полупустынного комплекса [Текст] / А. А. Роде, М. Н. Польский // Водный режим почв полупустыни. — М. : Изд-во АН СССР, 1963. — С. 5–78.

3. Основы природообустройства [Текст] / А. И. Голованов [и др.]. — М. : Колос, 2001. — 264 с.

4. Аверьянов, С. Ф. Борьба с засолением орошаемых земель [Текст] / С. Ф. Аверьянов. — М. : Колос, 1978. — 228 с.

5. Лыков, А. В. Теория теплопроводности [Текст] / А. В. Лыков. — М. : Высшая школа, 1967. — 600 с.

УДК 502/504:631.67: 631.8

В. И. Городничев, доктор техн. наук

Федеральное государственное научное учреждение

«Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»

О ВНЕСЕНИИ УДОБРЕНИЙ С ПОЛИВНОЙ ВОДОЙ

В статье обоснована необходимость внесения удобрений с поливной водой. Описаны технические средства для приготовления из твердых туков жидких растворов удобрений и ввода их в трубопроводы оросительной сети, дождевальные машины и установки, ирригационные комплекты и модули.

The necessity of fertilization together with watering is substantiated in the article. There are described technical means for preparation of solid solutions from hard fertilizers and their introduction into the irrigation pipelines, sprinkling machines and facilities, irrigation equipment and modules.

Важнейший фактор повышения эффективности сельскохозяйственного производства на орошаемых землях — создание валового уровня обеспеченности растений питательными веществами. Полное и своевременное снабжение орошаемых культур удобрениями позволяет максимально использовать их производительную способность, избежать потерь элементов питания, обеспечить экономное потребление воды и ускорить окупаемость средств, вкладываемых в ирригационное строительство.

Орошаемое земледелие создает предпосылки для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйствен-

ных культур. Реализация имеющихся потенциальных возможностей в первую очередь связана с рациональным взаимодействием ирригации и химизации. Это подтверждает опыт, полученный в процессе возделывания культурных растений. Накопленные научные знания и практика свидетельствуют о большом значении минеральных удобрений.

Удобрения в сочетании со своевременными поливами создают мощное средство воздействия, направленное на формирование качественного урожая, и существенным образом влияют на оплату оросительной воды. Данный процесс связан с улучшением водного и