

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ОСУШЕНИИ И ПОДПОЧВЕННОМ УВЛАЖНЕНИИ

Введение. Направленность и степень влияния на естественный водный режим при мелиорации чрезмерно увлажненных земель должны отвечать решению главной задачи – созданию за счет реализации гидромелиоративных мероприятий благоприятного режима увлажненности активного корнеобитаемого слоя почвы с соблюдением экологических требований. При регулировании водного режима осушаемых земель имеют место, главным образом, два часто отделенных или периодически изменяемых процесса – осушение и увлажнение, по которым применяются взаимосвязанные, но, вместе с тем, и самостоятельные принципы и приемы проектирования мелиоративных систем по соответствующим техническим решениям.

Для получения наибольшей отдачи от мелиорированных земель на всех стадиях проектирования и эксплуатации систем необходимо как можно больше учитывать местные условия. Для этого необходимы данные по регулированию водного режима различных типов почв с учетом конкретных климатических, гидрологических, гидрогеологических и других условий. По результатам анализа и обобщения многолетних данных собственных исследований [1, 2], а также исследований других авторов [3, 4], нами сделана попытка формализации закономерности изменения уровня грунтовых вод (УГВ) при осушении и различных режимах подпочвенного увлажнения, имеющих важное значение при разработке проектов реконструкции и нового строительства гидромелиоративных систем на осушаемых землях зоны Полесья Украины и в аналогичных условиях.

При мелиорации переувлажненных земель периоды весенних наводнений или дождевых паводков являются наиболее опасными при освоении этих земель для использования их в сельскохозяйственном производстве, и гидродинамические методы расчета движения грунтовых вод достаточно характеризуют режим предельно допустимого увлажнения сельскохозяйственных мелиорированных полей в эти, хотя и очень ответственные, но сравнительно короткие периоды.

Из-за значительной стохастической изменчивости гидрометеорологических элементов во внутривеgetационном и многолетнем разрезе на осушаемых землях периоды переувлажненности чередуются с периодами недостатка почвенной влаги, поэтому для установления режима увлажненности, как основы обоснования технических и технологических решений по водорегулированию на эколого-экономической основе, нужен детальный анализ и проектирование (путем прогнозирования) водного режима на протяжении периода вегетации, т.е. получение характеристик изменения во времени УГВ, почвенных влагозапасов, влагообмена и т.д.

Этот режим должен определяться и проектироваться на основе детальных расчетов совместных соответствующих режимных харак-

теристик приходных и расходных элементов водного баланса из-за их изменений на протяжении периода вегетации. Закономерности этих изменений, в свою очередь, обусловлены как мелиоративными, так и, более всего, зональными и азональными факторами общих физико-географических процессов региона, где расположен исследуемый объект [1, 2 и др.].

Нами изучена эффективность различных технологий регулирования водного режима почв на осушительно-увлажнительных системах (ОУС). В качестве объектов исследований водного режима при использовании различных технологий водорегулирования были взяты Кишинская ОУС в Житомирской обл. и Броварская ОУС Киевской обл. Данные системы во всех отношениях (рельеф, грунты, водное питание и т.п.) являются типичными для зоны Полесья и Лесостепи Украины. Они занимают территории площадью 600 га и 300 га соответственно, специализируются на выращивании зерновых культур (рожь, пшеница, ячмень, овес), картофеля, кормовой свеклы, многолетних трав и т.п.

Исследование различных способов водорегулирования мелиорированных земель на упомянутых объектах охватывают довольно продолжительный период во времени, проведены в разные по условиям влагообеспеченности периоды вегетации и дают возможность получить сравнительную характеристику их эффективности и динамику изменения УГВ.

При проведении подпочвенного увлажнения или осушения необходимо учитывать различные требования выращиваемых сельскохозяйственных культур к водно-воздушному режиму почв на разных фенологических стадиях их развития в зависимости от изменений глубины стояния УГВ в период вегетации. Согласно [1,2] развитие корневой системы растений на осушаемых землях с учетом динамики УГВ характеризуется данными табл. 1.

Обобщенная сравнительная характеристика схематизированных базовых режимов УГВ относительно динамики развития корневой системы выращиваемых сельскохозяйственных культур на осушаемых землях при различных способах водорегулирования в засушливые периоды вегетации приведена на рис. 1, характеристика основных элементов техники полива и составляющих режима увлажнения для соответствующих способов в засушливые периоды вегетации представлена в табл. 2.

В условиях работы дренажа только в режиме осушения в средние по условиям увлажненности и засушливые периоды вегетации происходит снижение УГВ на системе до 1,4...1,6 м. При этом большую часть вегетационного периода грунтовые воды залегают на

Таблица 1. Развитие корневой системы растений в зависимости от глубины залегания УГВ в период вегетации

Культуры	УГВ, м	Глубина проникновения корней в почву, м												
		май			июнь			июль			август			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Травы	0,7	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	>0,7	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Озимые зерновые	0,6...0,8	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	-	-	-	
	0,6...1,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	-	-	-	
Пропашные	0,6...0,9	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
	0,6...1,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	

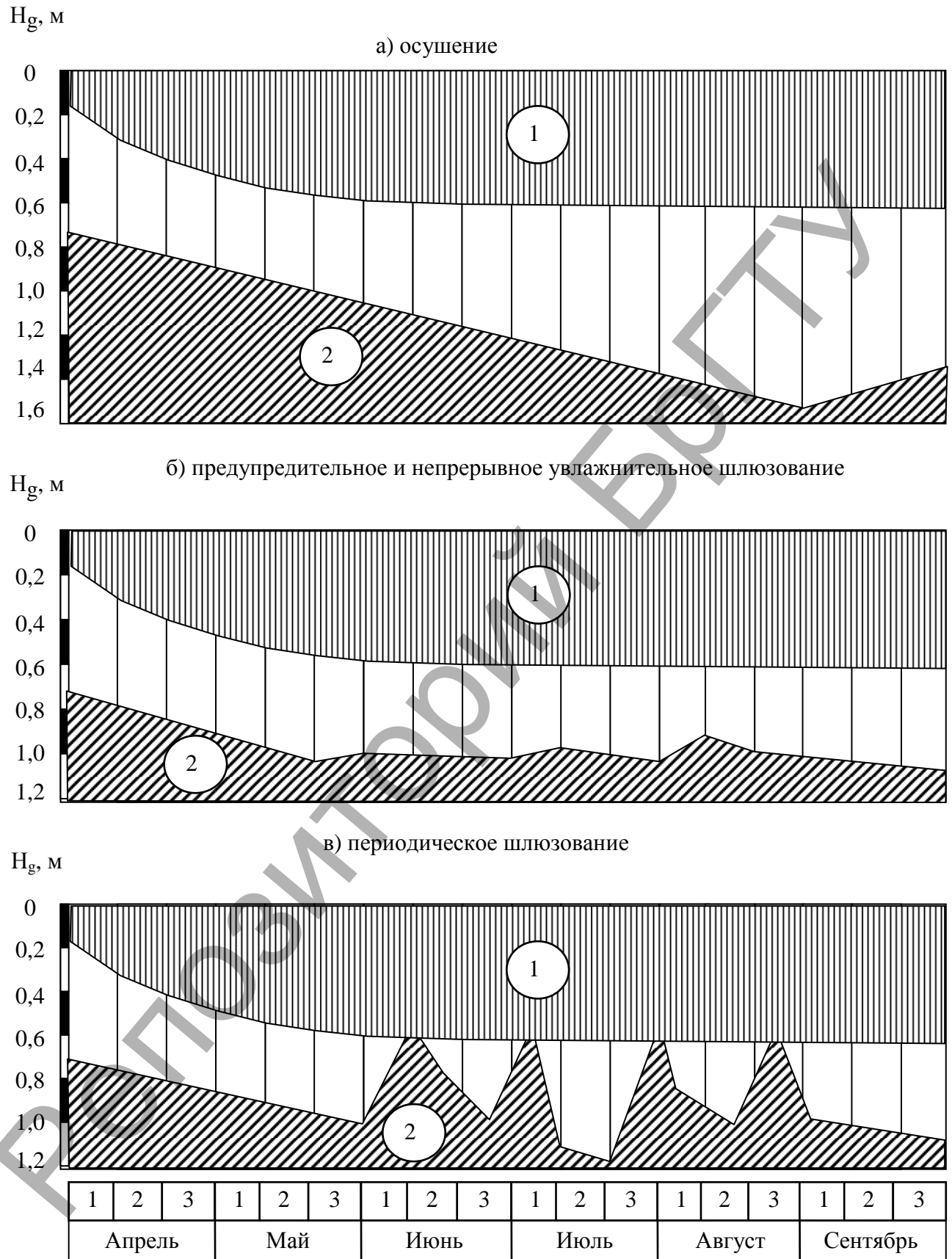
Примечание: здесь УГВ: первая цифра – уровень на начало вегетации; вторая - на конец вегетации.

Паллу Людмила Николаевна, аспирант кафедры природообустройства и гидромелиораций Национального университета водного хозяйства и природопользования.

Черенков Андрей Васильевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры землеустройства, кадастра, мониторинга земель и геоинформатики Национального университета водного хозяйства и природопользования.

Украина, 33028, г. Ровно, ул. Соборная, 11.

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология



1 — динамика развития корневой системы растений; 2 — динамика УГВ.

Рис. 1. Сравнительная характеристика типичных режимов УГВ при различных способах водорегулирования осушаемых земель в засушливые периоды вегетации

Таблица 2. Основные элементы техники полива осушаемых земель различными способами увлажнения в засушливые периоды вегетации

Вариант S	Способ увлажнения	Вид почвы	Поливные нормы нетто, м ³ /га	Продолжительность полива, сутки	Количество поливов	Интенсивность подачи воды, л/с-га	Оросительные нормы брутто, м ³ /га	Требуемый напор в регулирующей сети, м	К.п.д. способа
1	Увлажняющее шлюзование продолжительным подпором уровней воды	мин. торф.	200...900 300...800	7...20	1...3	0,2...0,6	800...2400 600...1800	0,5...0,2	0,6...0,8
2	Увлажняющее шлюзование путем циклического изменения УГВ	мин. торф.	400...800 —	12...17	2...4	0,7...1,2	1200...2800 —	1,0...0,8	0,5...0,7
3	Орошение дождеванием на фоне осушения	мин. торф.	300...350 350...400	3...5	2...5	0,8...1,0	650...1800 650...1600	—	0,8...0,9
4	Орошение дождеванием на фоне предупредительного шлюзования	мин. торф.	250...300 300...350	3...5	1...4	0,7...1,0	300...1200 350...1400	—	0,8...0,9

Примечание: для циклического увлажнения, в отличие от других способов, фаза подъема УГВ длится 7-10 суток, фаза снижения - УГВ 3-7 суток

глубине, которая превышает нижнюю границу нормы осушения и значительно ухудшает условия водного питания выращиваемых сельскохозяйственных культур и снижает их урожайность. Осушением предполагается обеспечение отвода избыточной воды с переувлажненных территорий во время весенних наводнений или дождевых паводков. В связи с этим, при проведении мелиораций особое внимание отводится своевременному снижению УГВ, что предопределяет оптимальную влажность верхних слоев почв.

Для этого, как правило, применяются гидродинамические методы расчета движения грунтовых вод к осушителям (водоприемникам) и гидравлические расчеты параметров дренажных линий, русел каналов, рек и т.п., по которым определяется положение УГВ в критические по условиям переувлажнения периоды.

При регулировании влажности осушаемых земель такой режим дает возможность независимо от погодных условий в большинстве случаев поддерживать благоприятную влагообеспеченность в верхнем активном слое на протяжении 130-140 суток или 84...90 % продолжительности периода вегетации. За счет этого обеспечивается прибавка урожая сельскохозяйственных культур кормовых севооборотов на 20...50%.

Для прогнозного расчета элементов техники полива или оценки эффективности различных технологий водорегулирования осушаемых земель, кроме требований сельскохозяйственных культур, необходимо знать основные параметры ОУС, водного режима (изменение влажности и УГВ), изменения метеорологических факторов.

Согласно [1], в общем случае изменение УГВ при осушении описывается уравнением

$$\Delta h_c = V_0^c \left[1 - \frac{1}{\gamma} + \frac{e^{\gamma(t-1)}}{\gamma} \right] - R_0 \left[1 - \frac{1}{\psi} + \frac{e^{\psi(t-1)}}{\psi} \right], \quad (1)$$

а при проведении подпочвенного увлажнения соответственно

$$\Delta h_n = V_0^n \left[1 - \frac{1}{\gamma} + \frac{e^{\gamma(t-1)}}{\gamma} \right] + R_0 \left[1 - \frac{1}{\psi} + \frac{e^{\psi(t-1)}}{\psi} \right], \quad (2)$$

где V_0^c – начальная скорость снижения УГВ (м/сут) определяется по формуле

$$V_0^c = a_2 \frac{h' - h_c}{L^n}, \quad (3)$$

V_0^n – начальная скорость подъема РГВ соответственно

$$V_0^n = a_1 \frac{(\phi h - h_0)^{1,5}}{L^n}, \quad (4)$$

R_0 – начальное изменение УГВ в результате испарения с поверхности, определяется как

$$R_0 = \frac{\epsilon}{(H_\delta - h_0)^m}, \quad (5)$$

где t – продолжительность снижения или подъема УГВ, сут;

γ и ψ – эмпирические коэффициенты, зависящие от параметров дренажа и свойств почв (табл. 2 и 3);

ϵ – основание натурального логарифма;

a_1, a_2, n, m – эмпирические коэффициенты, зависящие от свойств почв (табл. 2, 3);

ϕ – коэффициент, учитывающий потери напора на выходе воды из дрены: при диаметре дрен $d=50$ мм – $\phi=0,70$; $d=75$ мм – $\phi=0,76$ и $d=100$ мм – $\phi=0,82$;

h – напор воды в дренах, м;

h_0 – начальное положение УГВ относительно дна дрены, м; в случае, если УГВ ниже дна дрены, h_0 принимает отрицательное значение;

L – половина междренного расстояния, м;

ϵ – эмпирический коэффициент, зависящий от метеорологических факторов, вида сельскохозяйственной культуры и фазы ее развития (для приближенных результатов принимается $\epsilon=0,014...0,016$);

H_δ – глубина закладки дрен, м;

h' – превышение УГВ над дном дрены, м;

h_c – высота нависания УГВ над дренами, что обусловлено несовершенством конструкции дрены, согласно [4] определяется по формуле

$$h_c = 0,068 h' \cdot \Phi_i^{0,38}, \quad (6)$$

Φ_i – сопротивление на входе воды в дренах, определяется по формуле

$$\Phi_i = (\alpha + \beta h'^{-1,5}) 2\pi \cdot K_\phi, \quad (7)$$

где α и β – эмпирические коэффициенты, зависящие от диаметра дрены и конструкции фильтра (при круговой обертке дрен стеклохолстом толщиной 1 мм, $\beta=0,27$; при диаметре дрен 50, 75 и 100 мм, коэффициент соответственно равняется: 2,0; 1,2 и 0,9);

K_ϕ – коэффициент фильтрации почвы, м/сут.

Таблица 3. Значение коэффициентов a_1 , a_2 , n и m

Почвы	Подъем УГВ			Снижение УГВ		
	a_1	n	m	a_2	n	m
пески	1,86	0,50	0,92	1,12	0,50	0,92
супески	1,58	0,62	1,25	1,04	0,58	1,25
суглинки легкие	1,37	0,75	1,80	0,90	0,70	1,80

Таблица 4. Значение коэффициентов γ и ψ

Почвы	Отдаление от дрены, L , м							
	1		5		10		15	
	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ
подъем УГВ								
пески	-1,02	0,46	-0,62	0,19	-0,41	0,13	-0,32	0,11
супески	-0,80	0,38	-0,27	0,18	-0,16	0,12	-0,13	0,10
суглинки легкие	-0,63	0,34	-0,23	0,17	-0,15	0,12	-0,13	0,08
снижение УГВ								
пески	-0,89	-0,53	-0,51	-0,17	-0,35	-0,16	-0,29	-0,14
супески	-0,76	-0,59	-0,46	-0,30	-0,24	-0,17	-0,22	-0,14
суглинки легкие	-0,64	-0,64	-0,30	-0,34	-0,16	-0,22	-0,13	-0,19

Таблица 5. Глубина УГВ через t суток после начала цикла увлажнения песчаных почв ($K_{\phi}=0, 5-3,0$ м/сут)

t , сут	$H_y=0,5$ м; $H'_y=2,0$ м			$H_y=0,3$ м; $H'_y=1,8$ м			$H_y=0,5$ м; $H'_y=2,0$ м		
	$h=1,0$ м			$h=0,8$ м			$h=1,0$ м		
	$L=5$ м	$L=10$ м	$L=15$ м	$L=5$ м	$L=10$ м	$L=15$ м	$L=5$ м	$L=10$ м	$L=15$ м
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,73	0,81	0,84	0,84	0,88	0,91	0,92	0,94	0,95
2	0,52	0,64	0,71	0,71	0,79	0,84	0,90	0,93	0,94
3	0,41	0,53	0,63	0,61	0,73	0,81	0,90	0,93	0,94
4	0,39	0,50	0,58	0,56	0,70	0,77	1,00	1,01	1,02
5	0,67	0,47	0,56	0,53	0,69	0,76			
6	0,89	0,46	0,54	0,52	0,68	0,75			
7	1,03	0,64	0,53	0,74	0,67	0,74			
8		0,80	0,52	0,91	0,80	0,73			

Таблица 6. Глубина УГВ через t суток после начала цикла увлажнения супесчаных почв ($K_{\phi}=0, 7-1,5$ м/сут)

t , сут	$H_y=0,5$ м; $H'_y=2,0$ м			$H_y=0,3$ м; $H'_y=1,8$ м			$H_y=0,15$ м; $H'_y=1,6$ м		
	$h=1,0$ м			$h=0,8$ м			$h=0,6$ м		
	$L=5$ м	$L=10$ м	$L=15$ м	$L=5$ м	$L=10$ м	$L=15$ м	$L=5$ м	$L=10$ м	$L=15$ м
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,81	0,88	0,92	0,88	0,94	0,95	0,98	0,99	1,00
2	0,64	0,78	0,84	0,79	0,88	0,91	0,97	0,99	0,99
3	0,56	0,68	0,76	0,73	0,84	0,89	0,96	0,98	0,99
4	0,44	0,63	0,72	0,68	0,81	0,87	1,03	0,97	0,98
5	0,43	0,58	0,68	0,67	0,78	0,85		1,02	0,98
6	0,42	0,55	0,65	0,66	0,76	0,84			1,01
7	0,64	0,52	0,63	0,81	0,74	0,83			
8	0,82	0,51	0,62	0,93	0,73	0,82			

Решая уравнение (1) и (2) относительно времени, с некоторым приближением получаем:

- при осушении для периода снижения УГВ

$$t_c = 1 - \frac{1}{\gamma} \ln \left(\frac{1}{1 - \gamma + \gamma \frac{\Delta h_c - 0,14}{V_0^c}} \right); \quad (8)$$

- при увлажнении для периода подъема УГВ

$$t_n = 1 - \frac{1}{\gamma} \ln \left(\frac{1}{1 - \gamma + \gamma \frac{\Delta h_n + 0,18}{V_0^n}} \right); \quad (9)$$

где Δh_c и Δh_n – соответственно заданная глубина снижения и высота подъема УГВ.

Пользуясь приведенными формулами (1–9), можно определить продолжительность фаз увлажнения, осушения и цикла в целом, изменения высоты УГВ и напор над устьем дрены.

Таблица 7. Глубина УГВ через t суток после начала цикла увлажнения мелкосуглинистых почв ($K_{\text{об}}=0, 3-0,7$ м/сут)

t , сут	$H_y=0,5$ м; $H'_y=2,0$ м			$H_y=0,3$ м; $H'_y=1,8$ м			$H_y=0,15$ м; $H'_y=1,6$ м		
	$h=1,0$ м			$h=0,8$ м			$h=0,6$ м		
	$L=5$ м	$L=10$ м	$L=15$ м	$L=5$ м	$L=10$ м	$L=15$ м	$L=5$ м	$L=10$ м	$L=15$ м
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,87	0,92	0,95	0,90	0,95	0,96	1,00	1,00	1,00
2	0,77	0,86	0,90	0,85	0,92	0,93	0,99	1,00	1,00
3	0,70	0,80	0,87	0,81	0,90	0,92	0,98	0,99	0,99
4	0,64	0,76	0,84	0,78	0,89	0,91	0,97	0,98	0,99
5	0,61	0,74	0,81	0,76	0,88	0,90	0,96	0,97	0,98
6	0,59	0,72	0,78	0,74	0,87	0,89	0,99	0,96	0,97
7	0,57	0,70	0,70	0,73	0,86	0,86	0,98	0,97	0,97
8	0,56	0,70	0,73	0,70	0,85	0,88	1,01	1,00	1,00

Возможность создания требуемого напора зависит от схемы подачи воды на увлажнение. При наличии гарантированного источника увлажнения и распределения воды через увлажнительные каналы в истоки дренажных коллекторов напор над устьем коллектора (H_y) должен составлять 0,3...0,5 м.

Результаты проведенных расчетов для заданных условий на различных почвах приведены в табл. 4–6.

В таблицах 4–6:

1. Расчет выполнен при глубине дрен $H_D=1,2$ м.
2. Цифра, обведенная прямоугольником, отвечает минимально-возможной глубине УГВ при данном напоре и расстоянии между дренами.
3. H_y и H'_y – напор над устьевым коллектором соответственно при подаче воды вдоль уклона и против уклона (подпором снизу).

Заключение. Особая актуальность данной разработки обусловлена тем, что, во-первых, главной задачей гидромелиораций является комплексное регулирование условий развития выращиваемых культур и, в первую очередь, водно-воздушного режима почв. Во-вторых, урожай культур при этом выступает как один из важнейших критериев их эффективности и целесообразности и дает общую оценку эффективности различных технологий водорегулирования, используемых при этом. И, в конце концов, наличие такого рода моделей дает возможность рассматривать и оценивать эффективность водорегулирования осушаемых земель при применении разных технологий в изменчивых природно-агро-мелиоративных условиях реального объекта.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рекомендации по технологии применения импульсного шлюзования на осушительно-увлажнительных системах с автоматизированным водорегулированием / Н.А. Лазарчук, А.Н. Рокочинский, А.В. Черенков [и др.] – Ровно, 1987. – 29 с.
2. Потоцкий, Г.С. Мелиорация заболоченных засоленных пойм среднего Приднестровья / Г.С. Потоцкий, Н.А. Лазарчук, А.Н. Рокочинский; под ред. Г.С. Потоцкого. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1987. – 120 с.
3. Рокочинський, А.М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних закладах: монографія / За редакцією академіка УААН М.І. Ромашенка – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
4. Шебеко, В.Ф. Гидрологические расчёты при проектировании осушительных и осушительно-увлажнительных систем / В.Ф. Шебеко, П.И. Закржевский, Э.А. Брагилевская – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 312 с.
5. Афанасик, Г.И. Комплексное регулирование условий жизни растений на торфяных почвах / Г.И. Афанасик [и др.] – Минск: Ураджай, 1980.
6. Волковский, П.А. Регулирование водного режима осушаемых земель / П.А. Волковский, А.П. Тельцов – М.: Россельхозиздат, 1979. – 192 с.
7. Кубышкин, В.П. Метод определения расстояний между дренами в почвах легкого механического состава / В.П. Кубышкин, А.В. Черенков – Экспрес-інформація. – Вып. 7. – М., 1983. – С. 11–20.
8. Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних систем у проектах будівництва й реконструкції водогосподарських об'єктів / А.М.Рокочинський, В.І. Павлов, Н.А.Фроленкова [та ін.] – Рівне, 2010. – 52 с.

Материал поступил в редакцию 28.04.15

PALLU L.N., CHERENKOV A.V., ROKOCHINSKY A.N. Projection of change of the gruntuovikh level of waters at drainage and subsoil moistening

Efficiency of various technologies of regulation of the water mode of soils on drying and moistening systems on the example of drying and moistening systems of a zone of Polesia and the Forest-steppe of Ukraine is studied. Special relevance of this development is caused by that, first, the main task of gidromelioration is complex regulation of conditions of development of the grown-up cultures and, first of all, the water-air mode of soils. Secondly, the crop of cultures thus acts as one of the most important criteria of their efficiency and expediency and gives the general assessment to efficiency of various technologies of water regulation used thus. And, eventually, existence of such models gives the chance to consider and estimate efficiency of water regulation of the drained lands at application of different technologies in changeable naturalagro-meliorative conditions of real object.