

3. Чертоусов М. Д. Гидравлика. Специальный курс. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
4. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. М., ГТИ, 1952.
5. Костяков А. Н., Фаворин Н. Н., Аверьянов С. Ф. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. М., Изд-во АН СССР, 1956.
6. Янголь А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. М., «Колос», 1970.
7. Аверьянов С. Ф. Расчет понижения и подъема грунтовых вод при осушении системой каналов (дрен).— «Гидротехника и мелиорация», 1957, № 12.
8. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М., «Наука», 1961.
9. Лионс Ж. Л. Оптимальное управление системами, описываемыми уравнениями с частными производными. М., «Мир», 1972.
10. Бутковский А. Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. М., «Наука», 1975.
11. Фельдбаум А. А., Бутковский А. Г. Методы автоматического управления. М., «Наука», 1971.

А. И. ИВИЦКИЙ, П. В. ШВЕДОВСКИЙ

О НАЛОЖЕНИИ ВЛИЯНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ НА СНИЖЕНИЕ УГВ СМЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Материалы экспедиционных обследований БелНИГРИ, ЦНИИКИВР, БелНИИМиВХ и авторов позволяют отметить, что даже на современном этапе мелиоративного строительства в Полесье отмечается процесс регионального снижения уровня грунтовых вод (УГВ) в водосборах р. Ясельды, Цны, Бобрика, Лани, Птичи, Ствиги и др. Основу его составляет наложение влияний взаимодействующих систем (последствие антропогенных факторов).

Анализ исследований, выполненных по расчетам влияния взаимодействующих мелиоративных систем и гидротехнических сооружений на УГВ смежных территорий позволяет отметить наличие количественных данных и их некоторой качественной оценки. Б. С. Маслов [6] по исследованиям в долине р. Оки (болото «Олех») установил, что за три года после мелиорации при снижении уровня на болоте до 1,5 м произошло снижение уровня до 1,0 м на прилегающей территории в полосе 0,8—1,2 км и до 0,5 м — в полосе 1,5—2,0 км и отмечается возможность еще большего (до 0,8—1,2 м) снижения УГВ на прилегающих территориях, вызванного мелиорацией болотных массивов, расположенных с другой стороны. Исследования Т. Д. Кривецкой, А. Г. Булавко, К. Ф. Янковского, М. В. Фадеевой, А. П. Ваховского и др. [2, 7] на Лунинском болотном массиве Брестской области с использованием материалов наблюдений Полесской опытной болотной станции по двум створам, один из которых характеризует минеральные прилегающие территории и расположен между системами болотной станции и объектом «Свах», шириной до 12 км, а второй — болотные, расположенный между системами станции и Дубовской системой, позволяют отметить снижение уровня по второму створу на 0,5 и 0,1 м соответ-

Влияние взаимодействующих мелiorативных систем на УГВ смежной территории при работе только проводящей сети (водоприемников и магистральных каналов)

Наименование системы или объекта	№ створа	Годы наблюдений	Почвы прилегающих территорий	Радиус влияния $L(t)$ и величина снижения УГВ Δh_p		прогнозируемые			
				наблюдаемые		по существующим рекомендациям		по расчетным зависимостям авторов	
				$L(t)$, км	Δh_p , м	$L(t)$, км	Δh_p , м	$L(t)$, км	Δh_p , м
Полесская ОБС	1	1958—1964	Заболоченная	0,9	0,26	1,0	0,80	1,0	0,30
	2	1958—1964	Суходол	1,5	0,30	1,8	0,41	1,4	0,35
Стодольский (р. Уборть)	1	1962—1964	Заболоченная	0,5	0,3	0,58	0,56	0,7	0,28
	2	1962—1964	Суходол	2,7	0,1	2,4	0,30	2,2	0,14
Верхне-Стоходская (р. Стоход)	1	1968—1970	Заболоченная	0,7	0,56	0,60	0,80	0,8	0,53
	2	1968—1970	Заболоченная	1,1	0,21	0,85	0,29	1,2	0,26
	3	1969—1971	Суходол	0,5	0,40	1,6	0,85	0,4	0,47
	4	1968—1970	Суходол	2,6	0,11	—	—	2,5	0,18
Болото «Олех» (р. Ока)	1	1964—1965	Суходол	2,0	0,20	1,2	0,38	2,1	0,29

Влияние взаимодействующих мелиоративных систем на УГВ смежной территории при наличии проводящей и осушительной сети

Наименование системы или объекта	№ створа	Годы наблюдений	Повышающие территории	Радиус влияния $L(t)$ и величина снижения УГВ Δh_0		прогнозируемые			
				наблюдаемые		по существующим рекомендациям		по расчетным зависимостям авторов	
				$L(t)$, км	Δh_0 , м	$L(t)$, км	Δh_0 , м	$L(t)$, км	Δh_0 , м
Полесская ОБС	1	1963—1975	Заболоченная	1,0	0,60	1,5	0,44	1,2	0,65
	2	1963—1975	Суходол	2,8	0,32	3,6	0,14	2,9	0,29
Верхне-Стоходская (р. Стоход)	1	1970—1973	Заболоченная	1,0	0,58	—	—	1,1	0,6
	2	1970—1974	Заболоченная	2,5	0,21	2,2	0,51	2,2	0,28
	3	1971—1974	Суходол	0,6	0,60	0,7	0,62	0,8	0,49
	4	1970—1973	Суходол	4,0	0,22	3,6	0,16	4,4	0,27
Вислицкий (р. Вислица)	1	1956—1973	Суходол	2,2	0,4	3,2	0,2	2,1	0,42
Болото «Олеж» (р. Ока)	1	1965—1967	Суходол	1,8	0,56	1,6	0,52	1,9	0,50
	2	1965—1967	Суходол	2,2	0,21	3,2	0,19	2,3	0,28
Турская (канал Турский)	1	1965—1973	Суходол	2,5	0,08	2,2	0,28	1,9	0,16
	2	1965—1973	Заболоченная	0,59	0,4	0,65	0,21	0,5	0,49

Наименование системы или объекта	№ створа	Годы наблюдений	Почвы прилегающих территорий	Радиус влияния $L(t)$ и величина снижения УГВ Δh_0					
				наблюдаемые		прогнозируемые			
				$L(t)$, км	Δh_0 , м	по существующим рекомендациям		по расчетным значениям симостям авторов	
		$L(t)$, км	Δh_0 , м	$L(t)$, км	Δh_0 , м	$L(t)$, км	Δh_0 , м		
Плянтковский (р. Случь)	1	1959—1974	Суходол	4,1	0,25	3,6	0,16	4,4	0,27
	2	1962—1965	Заболоченная Суходол	2,6 1,4	0,14 0,42	1,5 2,2	0,44 0,13	2,8 1,5	0,15 0,36
Хмелище (р. Ипуть)	1	1972—1974	Суходол	1,4	0,41	1,9	0,27	1,3	0,38
	2		Заболоченная	0,8	0,23	0,38	0,69	0,72	0,30
Полоцкий (р. Западная Двина)	1	1967—1974	Суходол	0,7	0,40	0,6	0,28	0,8	0,32
	2	1967—1974	Суходол	0,9	0,11	0,7	0,42	0,8	0,12
Тышевский (канал Тышевский)	1	1973—1975	Суходол	2,6	0,34	2,2	0,51	2,2	0,29
р. Тростяница	1	1971—1975	Заболоченная	0,8	0,28	0,6	0,21	0,93	0,31
	2	1971—1975	Суходол	1,6	0,16	2,2	0,14	1,8	0,18
р. Поднево	1	1972—1974	Заболоченная	1,1	0,37	0,8	0,68	1,2	0,43
	2		Суходол	1,8	0,39	2,3	0,49	1,6	0,32
Месягичи (р. Припять)	1	1972—1974	Заболоченная	0,7	0,50	0,75	0,63	0,58	0,61

УГВ определяется геолого-гидрогеологическими условиями территории, степенью дренирования и длительностью воздействия (рис. 1). При воздействии только проводящей сети максимальное снижение УГВ не превышает 0,6 м, а уже при наличии регулирующей сети оно увеличивается до 0,8 и более. Примером тому являются озера «Вечера» Любанского района, «Червоное» Житковичского района, «Гоща» в долине р. Ясельды, «Ореховское» в междуречьи р. Рыты и Копавки и др., в которых УВ снизились до 1,3—1,5 м под воздействием мелиорации земель вокруг них.

Основной трудностью достоверного определения величины взаимовлияния мелиоративных систем является то, что не может быть применен метод простого наложения течений (интерференция волн), так как при этом нарушается условие о дополнительном снижении УГВ при увеличении интенсивности и пространственности мелиоративных влияний.

Исследования Е. Л. Минкина [8] и С. В. Васильева [4] позволяют отметить, что во взаимовлиянии систем четко наблюдаются два периода: начальный период, когда происходит простое наложение течений, и второй — когда начинается фаза взаимозависимых влияний. К расчетам первого периода применим метод суперпозиции, а второго — требуется применение методов источников, стоков и конформных отображений.

Расчеты Н. Н. Веригина [4] по взаимовлиянию каналов с постоянными уровнями и постоянными расходами методом источников и стоков позволяют принять для первой фазы взаимовлияния расчетное уравнение вида

$$\Delta h = \Delta h_0 \cdot Z, \quad (1)$$

$$\text{где } Z = \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) + i \operatorname{erfc} \left(\frac{x + l_B}{2\sqrt{at}} \right) \right];$$

Δh_0 — снижение УГВ на границе при $x=0$, м;

erfc — дополнительный интеграл вероятности;

x — расстояние от канала до места определения снижения УГВ, м;

a — урвнепроводность грунтового потока, м²/сут;

l_B — расстояние между каналами, м;

t — время воздействия, сутки.

Длительность фазы определяется зависимостью $t \leq \frac{l_B}{\sqrt{a}}$. При

$t > \frac{l_B}{\sqrt{a}}$ сложность функций интенсивности источников возмущений $q_i(\tau)$ приводит к очень сложным расчетным уравнениям величины Δh .

Для систем при отсутствии инфильтрационного питания наиболее простым расчетным уравнением является зависимость, определяемая теорией истощения водных запасов [12],

$$\Delta h = \Delta h_0 \cdot Z_1, \quad (2)$$

где

Z_1 — коэффициент снижения УГВ, характеризующийся функцией вида $Z_1 = \varphi(\alpha, t, \gamma, a_0, S, h_{\text{вод}})$;

α — коэффициент истощения ($\alpha = 0,005 - 0,01$);

S — характеристика глубинного питания ($S = 1 \div 0,01$);

$\gamma, a_0, h_{\text{вод}}$ — соответственно интенсивность воздействия и гидролого-гидрогеологические характеристики потока.

Анализ расчетных формул Е. Л. Минкина [8] для условий взаимодействия равномерно размещенных водозаборов подземных вод, полученных методом конформных отображений, определяет их применимость к расчетам взаимовлияния подобных мелиоративных систем, т. е. систем с равнозначным воздействием.

Расчетное уравнение имеет вид

$$\Delta h = \Delta h_0 \cdot Z_2, \quad (3)$$

где

$$Z_2 = \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) + \frac{0,565}{2\sqrt{at}} \frac{x}{x} \left(1 - \exp \left(-\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \right) \right].$$

Расчет коэффициентов Z_2 на ЭЦВМ «Проминь-2» для различных гидролого-гидрогеологических условий и степени взаимодействия систем и их сравнительный анализ с натурными наблюдениями (табл. 1 и 2) подтверждают значимость неравнозначности взаимовлияния систем на УГВ смежных территорий.

Неравнозначность воздействия систем, обуславливаемая степенью и характеристикой дренирования, соотношением площадей массивов и гидролого-гидрогеологическими условиями территории, определяет необходимость ввода в расчетные уравнения эмпирического коэффициента неравнозначности воздействия $k_{\text{нер}}$, т. е.

$$Z'_2 = \left\{ \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) + \frac{0,565}{2\sqrt{at}} \frac{x}{x} \left(1 - \exp \left(-\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \right) \right] \cdot k_{\text{нер}} \right\}. \quad (4)$$

Анализ экспериментальных и прогнозных данных определил наиболее значимый параметр неравнозначности

$$\sigma = \left[\left(\frac{F_1}{F_2} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{a_1}{a_2} \right)^{0,56} \frac{h_{1\text{др}}}{h_{2\text{др}}} \right], \quad (4^a)$$

где

F_i — площади мелиоративных систем, га;

$h_{i\text{др}}$ — расчетное снижение УГВ при $x=0$, м;

индекс «1» относится к системе с минимальным значением урвнe-проводности.

Величину $h_{i\text{др}}$ рекомендуется определять по зависимости вида

$$h_{i\text{др}} = \frac{C \cdot H_0 \cdot k_{\Phi}^{\text{нр}}}{\epsilon \cdot B}, \quad (5)$$

где

C — коэффициент, характеризующий пространственную интенсивность дренирования [11]:

$$C = \frac{k \cdot B^n}{H_0^m}, \quad (6)$$

k, n, m — эмпирические коэффициенты, равные соответственно:

$$k = 0,026 - 0,039;$$

$$n = 0,78 - 0,86;$$

$$m = 0,91 - 1,12.$$

ε — характеристика питания и проводимости грунтового потока

$$\varepsilon = \frac{a_0 P}{h_0}; \quad a_0 = b \sqrt{k_{\Phi}^{np} \cdot \mu^{\varepsilon\Phi}}, \quad (6^a)$$

b — коэффициент влияния напорного питания, $b = 2,5 - 3,7$;

$\mu^{\varepsilon\Phi}$ — коэффициент водоотдачи (недосток насыщения);

P — характеристика увлажненности года и дополнительного увлажнения объекта 10

$$P = 0,043 \sqrt{N + 1};$$

N — годовая сумма естественных и искусственных осадков, м;

H_0 — мощность грунтового потока на границе при $x=0$, м;

B — расстояние между осушителями, м.

Исследования В. В. Шабанова и А. А. Богушевского [9], а также наши опыты [12] подтверждают логнормальный закон распределения величины коэффициента фильтрации, что позволяет определять приведенное его значение по зависимости

$$\left. \begin{aligned} k_{\Phi}^{np} &= \frac{1}{\gamma_1 \left(1 - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot C_v \right)}; \\ \gamma_1 &= \frac{k_{\Phi}^{max}}{Md}; \quad C_v = \operatorname{erfc} \left(\frac{k_{\Phi}^{cp. \text{ геом.}}}{k_{\Phi}^{cp. \text{ ар.}}} \right)^p, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

а эффективно действующее, характеризующее урвнепроводность, по формуле

$$k_{\Phi}^{\varepsilon\Phi} = \frac{k_{\Phi}^{\min}}{\gamma \left(1 + \frac{1}{n-1} \cdot C_v \right)}, \quad (7^a)$$

где

k_{Φ}^{\min} — минимальный коэффициент фильтрации для наиболее характерной разновидности грунтов по прогнозируемому профилю; $P=1$ для песчаных и $P=2,8$ для суглинистых и глинистых почв;

n_1 — число разновидностей грунтов по значению параметра k_{Φ} ; k_{Φ}^{\max} , $k_{\Phi}^{cp. \text{ ар.}}$, $k_{\Phi}^{cp. \text{ геом.}}$ — соответственно максимальный, среднеарифметический и среднегеометрический коэффициент фильтрации;

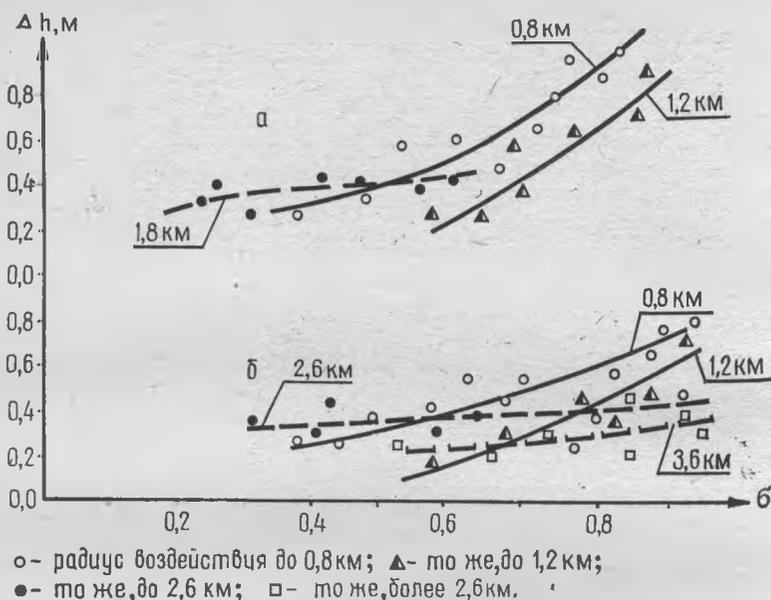


Рис. 2. Графики связи снижения УГВ на смежных территориях с коэффициентом неравнозначности воздействия систем:

- а) в условиях работы магистральных каналов и водоприемников;
 б) то же, с учетом влияния осушительной сети.

C_v — коэффициент вариации параметра k_{Φ} ;

Md — медианное значение параметра k_{Φ} по кривой обеспеченности.

Расчет эффективно действующего значения параметра μ^{Φ} при разных интервалах времени, сезонах года и амплитудах колебания уровней методами гидродинамического анализа режима грунтовых вод и аналитических решений дифференциальных уравнений фильтрации показывает, что он определяется глубиной залегания грунтовых вод и литологическим составом пород зоны аэрации и является параметром относительно постоянным [13].

Анализ влияния значения μ^{Φ} на изменение УГВ показывает, что при изменении μ в 10—15 раз (в области реальных его значений: $\mu = 0,06—0,39$) прогнозируемый уровень изменяется не более чем на $\pm 18—30$ см.

Учитывая, что имеет место стабилизация УГВ и расчетные колебания его происходят в относительно небольшом диапазоне глубин, водоотдачу μ^{Φ} минеральных грунтов можно определять по формуле Эркина

$$\mu^{\Phi} = 16,5 \sqrt{k_{\Phi}^{\Phi}} \cdot \sqrt[3]{h}, \quad (8)$$

где

h — глубина залегания поверхности грунтовых вод, м.

Значения характеристик доверительных интервалов

Граница интервала	Коэффициент вариации, C_v								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
Максимум	1,06	1,13	1,21	1,29	1,38	1,47	1,53	1,73	
Минимум	0,92	0,82	0,76	0,68	0,61	0,55	0,48	0,42	

Анализ рис. 2 показывает, что параметр неравнозначности значительно сказывается при радиусах влияния до 1,5 км для взаимодействующих магистральных каналов и до 2 км — с учетом осушительных систем.

Аппроксимация кривых определяет расчетную зависимость для параметра $k_{\text{нер}}$ вида

$$k_{\text{нер}} = \frac{1,38}{\sqrt{x}} \cdot \sqrt{\sigma^3,1}. \quad (9)$$

Расчет величины снижения УГВ по предлагаемой методике необходимо вести по мелиоративному объекту с наибольшей характеристикой возмущений:

$$T_{\text{max}} = h_{\text{др}}^4 \cdot F_{\text{г}}. \quad (10)$$

В качестве проверочных расчетов необходимо производить расчеты на максимально правдоподобный коэффициент фильтрации или его доверительные интервалы [14] с обеспеченностью $P=25-95\%$. Характеристики доверительных интервалов приведены в табл. 3.

Прогноз снижения УГВ по предлагаемой методике для систем с наиболее типовыми характеристиками и периодом воздействия 3, 8 и 15 лет (рис. 1) позволяет отметить, что она универсальна и применима для любых зон с соответствующим обоснованием эмпирических коэффициентов.

Абсолютная погрешность расчетных величин (табл. 1 и 2) не превышает $\pm 28\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеевский В. Е. и др. Влияние осушительных мелиораций на гидрогеологические условия заболоченных и прилегающих к ним земель. Обз. инф. ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1974, № 5.
2. Булавко А. Г., Янковский К. Ф. Влияние мелиоративной системы на УГВ прилегающих территорий.— В кн.: Проблемы использования водных ресурсов. Мн., 1971.
3. Буш К. Ф. Нарушение водного режима грунта при понижении уровня грунтовых вод. Пер. с нем. М., 1959.
4. Васильев С. В. и др. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. М., «Колос», 1970.

5. Ивицкий А. И. Влияние осушения болот на режим рек.— В кн.: К вопросу освоения и развития производительных сил Полесья. Изд. АН БССР, Мн., 1949.

6. Маслов Б. С. О некоторых последствиях осушительных мелиораций.— «Гидротехника и мелиорация», 1971, № 4.

7. Материалы международного симпозиума по гидрологии заболоченных территорий. Ч. I и II. Мн., «Наука и техника», 1973.

8. Минкин Е. Л. Исследования и прогнозные расчеты для охраны подземных вод. М., «Недра», 1972.

9. Режим осушения и методика полевых научных исследований. Под ред. С. Ф. Аверьянова. М., «Колос», 1971.

10. Ивицкий А. И., Низовцева Л. Б. Расчетный модуль дренажного стока с торфяных почв.— В сб.: «Мелиорация переувлажненных земель». Труды, т. XXI, Мн., «Ураджай», 1973.

11. Физическое и математическое моделирование в мелиорации. Под ред. С. Ф. Аверьянова. М., «Колос», 1973.

12. Шведовский П. В. Исследование влияния осушительных мелиораций на водный режим территории юго-западной части Белорусского Полесья и его прогноз. Автореф. канд. диссертации. Мн., 1974.

13. Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. Изд. МГУ, 1965.

14. Шебеко В. Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий. Мн., «Урожай», 1970.

Ш. И. БРУСИЛОВСКИЙ, Г. А. ПИСЕЦКИЙ

ТЕОРИЯ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ ВОДОПРОВОДЯЩЕЙ И РЕГУЛИРУЮЩЕЙ СЕТИ

Широкое распространение в мелиоративной практике получил систематический дренаж, работа которого в однородном грунте для простейших плановых схем подробно изучена и освоена в трудах советских и зарубежных ученых (А. М. Костяков, С. Ф. Аверьянов, С. Н. Нумеров, Н. Н. Веригин, П. Я. Полубаринова-Кочина, Киркхем, Маскет, Хантуша и др.). Однако, несмотря на значительное число исследований по этому вопросу, большая часть их касается лишь методов расчета дренажа для областей, представляющих собой в плане полосу (одномерные задачи). В практике же наряду с простейшими плановыми схемами встречаются более сложные формы границ движения грунтовых вод.

При осушении систематической сетью каналов (дрен) осушаемый массив, ограниченный произвольным контуром, разрезается сетью каналов и дрен на элементарные участки, чаще всего имеющие в плане форму прямоугольника. Выбор расположения каналов диктуется условиями рельефа местности, а расстояния между дренами (осушителями) назначаются исходя из известных одномерных решений для полосы. При таком подходе к выбору расстояний между дренами осушительное действие каналов не учитывается, что является правомерным (ошибка в результатах расчета не превышает 5%) лишь при соотношении сторон прямоугольника более 5.

В практике строительства мелиоративных систем довольно часто встречаются случаи, когда соотношение сторон прямоугольника (соотношение расстояний между проводящей сетью и регулирующей) меньше 5, и тогда пренебрежение учетом осушительного дей-