

**Ткачук М. М., д.т.н., професор, Турченко В. О., д.т.н., професор, Шинкарук Л. А., к.т.н., доцент, Ткачук Л. Р., здобувач** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, m.m.tkachuk@nuwm.edu.ua)

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДРЕГУЛЮВАННЯ НА ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ СИСТЕМАХ ІННОВАЦІЙНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ**

**У статті розглянуто водорегулювання на водогосподарських системах інноваційними конструкціями (дренажними модулями) та захист систем від підтоплення ґрунтовими і затоплення інфільтраційними водами, що надходять з прилеглих територій за допомогою контурно-меліоративних конструкцій. Наведено результати аналітичних досліджень водорегулювання інноваційними дренажними та контурно-меліоративними конструкціями та методи розрахунку параметрів регулюючих дренажів, при живленні їх ґрунтовими та інфільтраційними водами.**

**Ключові слова:** водорегулювання на водогосподарських системах; дренажні модулі; захист від підтоплення та затоплення; контурно-меліоративні конструкції; рівні ґрунтових вод.

**Вступ.** Водорегулювання на водогосподарських системах часто ускладнюється підтопленням ґрунтовими і затопленням поверхневими водами, що надходять з прилеглих територій і, які змінюють режим рівнів ґрунтових вод (РГВ) до граничних глибин, за якими на невизначений час порушуються норми осушення ґрунтів (рис. 1).

Як правило виникнення підтоплення і затоплення в зоні Полісся залежить від амплітуди сезонних коливань рівнів ґрунтових вод (РГВ), або погодних умов. Найбільший пік припадає на весну, в період масового танення снігового покриву. Однак формування рівня підтоплення, як показали дослідження, починається не навесні, як вважається, а ще з осені [1].

Періодичне танення снігу в зимовий період вивільняє вологу, яка просочуючись в ґрунт сприяє підняттю РГВ. Пік такого підтоплення в зоні Полісся, як правило, в часі припадає з паводком

на кінець березня, і є явищем сезонним. Причому підтоплення



Рис. 1. Підтоплення водогосподарської системи ґрунтовими водами  
Результати досліджень

відбувається як в результаті підняття РГВ, так і шляхом проникнення в ґрунт надмірної інфільтраційної води з поверхні землі від інтенсивних, тривалих та понаднормативних опадів.

На прямий взаємозв'язок, що існує між РГВ та опадами [2] вказує графік (рис. 2).

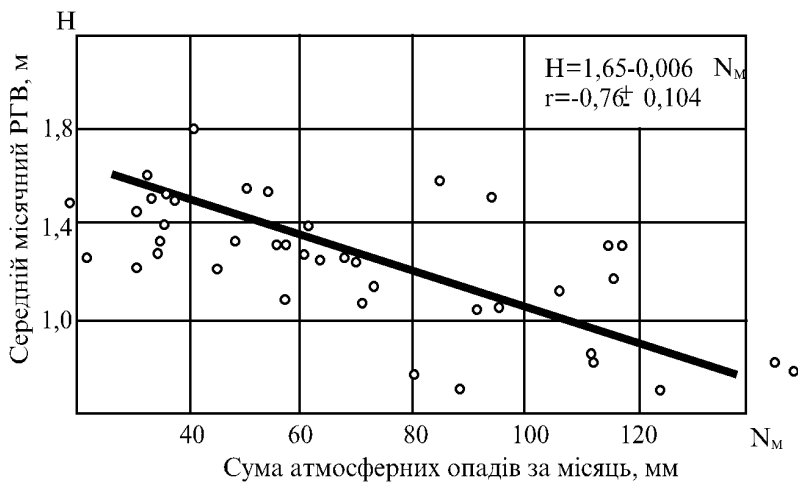


Рис. 2. Залежність середніх місячних РГВ від суми опадів

Взаємозв'язок між опадами і режимом РГВ в теплий період року описано рівнянням [2]

$$H = 1,65 - 0,006 \cdot O_m, \quad (1)$$

де  $H$  – середній місячний РГВ, м;

$O_m$  – сума атмосферних опадів за місяць, мм.

Крім того, РГВ залежить не тільки від опадів, але і від впливу інших факторів, таких як випаровування з поверхні ґрунту, транспірації, роботи дренажної мережі тощо. Таким чином, виникнення підтоплення і затоплення є показником комплексним, а тому при регулюванні РГВ потрібно враховувати не лише вплив метеорологічних факторів, але й осушувальні заходи.

З рівняння (1) видно, що РГВ реагують на опади, і підвищення його складає 6 мм на 1 мм опадів.

Опади, які інфільтруються в ґрунт підживлюють РГВ і частково витрачаються на випаровування і поверхневий стік. Якщо випаровування менше опадів, то РГВ підвищуються. Загалом положення РГВ при підйомі в кінці першої доби ( $t_p=1$ ) можна визначити використовуючи водно-балансове рівняння, що описує процес зволоження розрахункового шару

$$H_n = H_0 - \frac{1}{\mu} (\bar{q}_1 + \varepsilon_1 - \varepsilon_{k_1}); \quad (2)$$

$$H_k = H_1 - \frac{1}{\mu} (\bar{q}_2 + \varepsilon_2 - \varepsilon_{k_2}); \quad (3)$$

$$H_t = H_{t-1} - \frac{1}{\mu} (\bar{q}_t + \varepsilon_t - \varepsilon_{k_t}); \quad (4)$$

$$H_{t'} = H_0 - \sum_{t'=1}^{t'} \left( \frac{1}{\mu} \bar{q} + \varepsilon_t - \varepsilon_k \right), \quad (5)$$

де  $H_n, H_k$  – РГВ відповідно на початку і кінці розрахункового періоду, тривалість якого приймається однієї доби, м;

$\mu$  – коефіцієнт недонасичення ґрунту водою (коефіцієнт водовіддачі), визначається за формулою А.В. Черенкова [6]

$$\mu = 96,5 \cdot \delta \cdot W_a^{-1,25}; \quad (6)$$

$\bar{q}$  – середньодобовий стік з глибокої та мілкої дрени (дренажно-модульної системи, рис. 4);

$H_t$  – положення РГВ в кінці будь-якого проміжку часу;

$\varepsilon_k$  – інфільтраційний притік ґрунтової води до дрен дренажного модуля (мілких і глибоких дрен, рис. 4), м;

$\varepsilon_t$  – інтенсивність інфільтраційного притоку води до РГВ, м/добу

$$\varepsilon_t = (1 - \sigma) \bar{O} - \bar{\varepsilon}_e, \quad (7)$$

де  $\bar{O}$  – середньодобові опади, м;

$\sigma$  – коефіцієнт поверхневого стоку;

$\bar{\varepsilon}_e$  – середньодобове сумарне випаровування, м.

Разом з тим, для підтримання заданої вологи в кореневмісному шарі, норма осушення повинна знаходитися в межах, що вимагають рослини в різні фази розвитку (таблиця).

Таблиця

Норми осушення для різних ґрунтів і культур, см

Культури	Ґрунти			
	низинні торф'яні	пісок, супісь	суглинок	глини
Льон, однолітні кормові культури	50...60	45...50	50...60	55...50
Трави	70...80	50...60	60...75	65...55
Зернові культури	70...90	55...65	65...90	80...75
Картопля, коренеплоди	80...100	60...80	75...100	90...80
Овочі	75...100	60...75	80...100	90...75
Конопля, хміль, кавуни	80...100	70...85	80...100	95...85

Оскільки в реальних умовах величини інфільтраційного живлення РГВ залежать від кліматичних умов регіону, то це призводить до коливань глибини залягання РГВ і витрат води з дрен. Найважливішими заходами в боротьбі з підтопленням і затопленням територій гідромеліоративних систем при паводках і повенях є організація надлишкового поверхневого і ґрунтового стоку, що формуються на системі і на межі з прилеглими територіями.

На сучасному етапі на водогосподарських системах для регулювання РГВ при надлишковому ґрунтовому і інфільтраційному живленні РГВ застосовуються, крім традиційних систем одностороннього і двостороннього регулювання водного режиму нами запропоновані інноваційні дренажно-модульні системи [4] з

гідравлічно зв'язаними різнорівневими регулюючими дренами (рис. 3).

Враховуючи, що коливання глибин РГВ під впливом підтоплення (затоплення) у вегетаційний період буває надто значне, то відстань між мілкими дренами дренажного модуля (9) необхідно визначати з урахуванням величин інфільтраційного живлення від опадів.

Для прогнозу режиму РГВ під впливом мілких дренах регулюючого дренажного модуля (рис. 3) при надлишковому ґрунтовому і інфільтраційному живленні (режим підтоплення і затоплення), відстань між мілкими дренами, для реальних умов, можна визначити за уточненою формулою (9) А. М. Янголя [3]

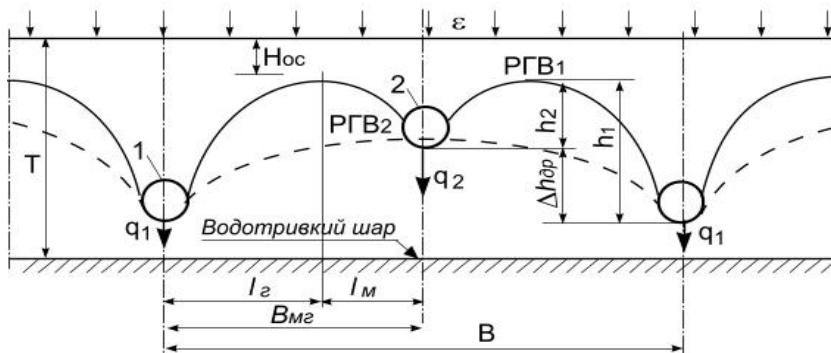


Рис. 3. Схема прогнозу режиму РГВ і розрахунку відстаней між різнорівневими гідравлічно зв'язаними регулюючими дренами дренажного модуля:  $B$  – відстані між глибокими дренами; 1 – глибока регулююча дрена; 2 – мілка регулююча дрена; РГВ1 – рівень ґрунтової води (висотне розташування вільної поверхні фільтраційної води в ґрунті, в повінь і літні паводки); РГВ2 – рівень ґрунтової води (висотне розташування вільної поверхні фільтраційної води в ґрунті, при роботі дренажного модуля в регулюючому режимі)

$$B = 2 \sqrt{\frac{k b h_n h_k t_p}{\delta (h_n - h_k \alpha) + O - \varepsilon_e}}, \quad (8)$$

звідки відстань між мілкими дренами  $B_p$  для регулюючого дренажного модуля

$$B_p = 2 n \sqrt{\frac{k \cdot b \cdot h_n \cdot h_k \cdot t_p}{\delta (h_n - h_k \alpha) + O - \varepsilon_e}}, \quad (9)$$

де  $\delta (h_n - h_\kappa \alpha)$  – зміна запасів надлишкової вологи, що формується під впливом зміни висотних положень РГВ в розрахунковому шарі, при роботі дренажного модуля в режимі інтенсивного осушення;

$n$  – число проміжків між різнорівневими гідравлічно зв'язаними регулюючими дренами дренажного модуля;

$k$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту, м/добу;

$b$  – коефіцієнт висячості глибоких дрен (визначається за формулою С.В. Козлова);

$h_n$  – початкове положення ґрунтової води, м;

$h_\kappa$  – положення РГВ в кінці розрахункового часу  $t_p$ , м;

$t_p$  – час пониження ґрунтової води від  $h_n$  до  $h_\kappa$ , діб;

$\alpha$  – коефіцієнт, що враховує кривизну депресійної поверхні біля  $h_\kappa$  (для дрен коливається від 0,8 до 1,0);

$O$  – опади, що просочилися до РГВ за розрахунковий період  $t_p$ , м;

$\varepsilon_e$  – сумарне випаровування за розрахунковий період, м;

$\delta$  – водовіддача ґрунту (для торфовищ водовіддача визначається за формулою А. І. Івицького)

$$\delta = \frac{0,116 \sqrt[8]{k_\phi^3}}{H_p - H_n} \left( H_p \sqrt[4]{H_p^3} - H_n \sqrt[4]{H_n^3} \right); \quad (10)$$

для мінеральних ґрунтів за формулою Г. Д. Еркана, уточненою А.І. Івицьким

$$\delta = \frac{0,056 \sqrt{k_\phi}}{H_p - H_n} \left( H_p \sqrt[3]{H_p} - H_n \sqrt[3]{H_n} \right); \quad (11)$$

$$H_p = H_\kappa + \left( 1 - \frac{\pi}{4} \right) (h_\kappa - h'), \quad (12)$$

де  $h'$  – перевищення РГВ біля дрени (над дном дрени) в кінці розрахункового часу  $t$  на середині міждренної смуги, м.

Використовуючи формули (9) можна прогнозувати тривалість  $t_p$  пониження РГВ до глибини укладання мілких дрен регулюючого модуля

$$t_p = \frac{B^2 [\delta (h_n - h_\kappa \cdot \alpha) + O - \varepsilon_e]}{4 n^2 \cdot k \cdot b \cdot h_n \cdot h_\kappa}. \quad (13)$$

Оскільки коливання РГВ обумовлене процесом водообміну в зоні аерації і стоком ґрунтової води, то можна стверджувати, що во-

дообмін відбувається під впливом факторів клімату і гідрогеологічних умов.

Інженерний захист водогосподарських територій від підтоплення та затоплення паводковими водами, що надходять з прилеглих територій виконується з метою забезпечення безперебійного, надійного і ефективного функціонування осушувальних систем. З другого боку, недопущення негативного впливу даних систем на сусідні території, що мають інше сільськогосподарське призначення і не потребують регулювання РГВ будь-якими засобами.

Найбільш негативний вплив на прилеглі сільськогосподарські угіддя чинять нагірно-ловильні канали, які як правило, є елементом осушувальних систем і служать для перехоплення зовнішнього ґрунтового фільтраційного потоку і поверхневих вод, що надходять із-за меж водогосподарської системи. Саме цей важливий момент при проектуванні і будівництві водогосподарських систем не враховується, а тому завжди порушуються водний та екологічний баланс на прилеглих територіях.

Для теперішніх осушувальних систем нагірно-ловильні канали проектується глибиною 2...3 м і більше, а довжина їх може сягати 5...10 км. Як правило, при проектуванні нагірно-ловильних каналів їх вплив на прилеглу територію не враховується, а це часто призводить до переосушення сусідні сільськогосподарських земель.

Крім того, зміна режиму РГВ на осушуваних землях залежить від режиму роботи регулюючих споруд (наприклад, регуляторів типу РТ або РТК). Створення підпорів РГВ в відкритих осушувальних каналах також чинить негативний вплив на прилеглі до системи території. Саме тому підтримання РГВ по всій території осушувальної системи відповідно до вимог сільськогосподарських культур повинне забезпечуватися роботою дренажно-модульних елементів та перехопленням води з прилеглих територій контурно-меліоративними конструкціями (рис. 4).

Тому, осушувальні системи по межі з прилеглими територіями повинні бути дообладнані замість нагірно-ловильних каналів водозахисними контурно-меліоративними конструкціями (рис. 4). Це дозволить частину поверхневого та ґрунтового стоків відвести за межі осушувальної системи, зменшивши навантаження на регулюючу дренажно-модульну мережу.

Водозахисні контурно-меліоративні конструкції працюють наступним чином: установлений екран 1 перед глибокою дреною 2

чинить опір фільтраційному ґрунтовому потоку з прилеглої території, що створюється від РГВ-1 (рівня ґрунтових вод – на рівні верха екрана) і примушує його рухатись уздовж поверхні екрана, який збільшує шлях фільтрації до глибокої дрени, а відповідно спричиняє втрати напору при надходженні потоку до глибокої дрени 2, тим самим зменшує навантаження на мілку дрени. При цьому, мілка дрена 1, внаслідок влаштування над нею дренаючого елемента із мінеральних або штучних фільтруючих матеріалів швидше засмоктує інфільтраційну воду від РГВ-2 (рівня ґрунтових вод – на рівні поверхні землі) і швидко відводить в провідну мережу.

Завдяки тому, що коефіцієнт фільтрації фільтруючих матеріалів мілкої дрени значно більший чим коефіцієнт фільтрації осушувальних ґрунтів, то це дозволяє пришвидшити пониження ґрунтових вод і переведення їх мілкою дренаю в провідну мережу. Водозахисні контурно-меліоративні конструкції є ефективними щодо недопущення затоплення і підтоплення осушувальних систем інфільтраційними і ґрунтовими водами, а також є значно надійнішими і менш затратними при експлуатації.

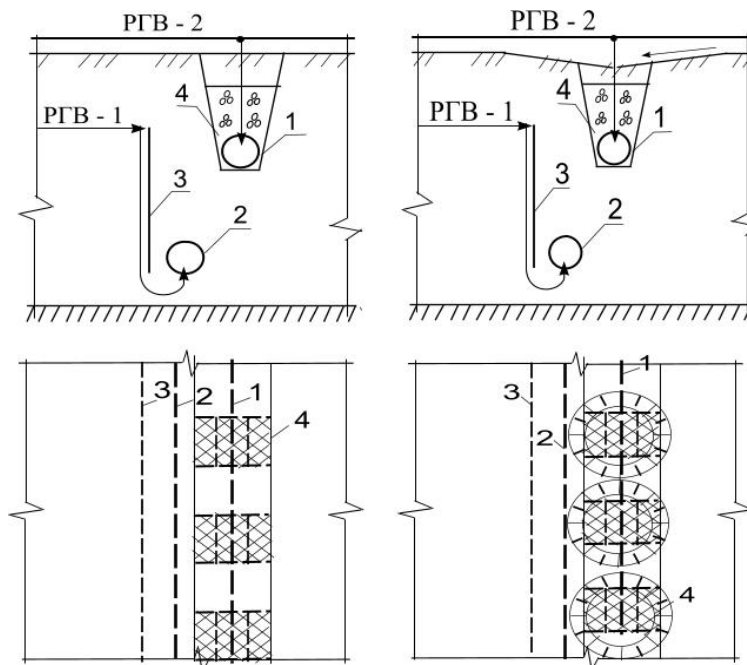


Рис. 4. Водозахисні контурно-меліоративні конструкції [5]:

- 1 – регулююча мілка дрена; 2 – глибока дрена з суміжною поруч мілкою дренаю; 3 – водонепроникний екран; 4 – колонки-поглиначі



## Висновки

1. Запропоновані інноваційні дренажно-модульні системи з різнорівневими гідравлічно зв'язаними регулюючими дренами забезпечують регулювання РГВ на осушувальних системах та захист їх від надходження ґрунтового і інфільтраційного потоків з прилеглих територій.

2. Контурно-меліоративні конструкції забезпечують швидке переведення поверхневої води, що утворюється на поверхні землі, під час інтенсивних або тривалих опадів у дренажний стік.

1. Шкинкіс Ц. Н. Гидрологическое действие дренажа. Л. : Гидрометиздат, 1981. 311 с. 2. Сапсай Г. І., Грицан С. В., Гордійчук С. М., Кухарчук А. С. Вплив метеорологічних факторів на режим рівня ґрунтових вод. *Вісник РДТУ* : зб. наук. праць. Рівне, 2000. Вип. 4(6). С. 86–90. 3. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации / Янголь А. М., Скрипчинская Л. В., и др. К. : «Вища школа», 1977. 352 с. 4. Ткачук М. М., Ткачук Р. М., Білецький А. А. Водорегулювання дренажно-модульними системами на осушуваних землях. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. Рівне, 2019. Вип. 2(86). С. 79–91. 5. Дренажно-екранно-модульна система з колонками-поглиначами : пат. України № 125141. МПК ЕО2В 3/00. Бюл. № 8, опубл. 25.04.2018. 6. Черенков А. В. Обоснование элементов технологии подпочвенного увлажнения с учетом влияния конструкции и параметров закрытого дренажа и проводящей сети каналов в дерновых и дерново-подзолистых песчаных почвах Западного Полесья УССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1983. 23 с.

## REFERENCES:

1. Shkinkis TS. N. Hidrologicheskoe deystvie drenaja. L. : Hidrometizdat, 1981. 311 s. 2. Sapsai H. I., Hrytsan S. V., Hordiichuk S. M., Kukharchuk A. S. Vplyv meteorolohichnykh faktoriv na rezhym rivnia gruntovykh vod. *Visnyk RDTU* : zb. nauk. prats. Rivne, 2000. Vyp. 4(6). S. 86–90. 3. Selskohozyaystvennyie gidrotehnicheskie melioratsii / Yangol A. M., Skripchinskaya L. V., i dr. K. : «Vischa shkola», 1977. 352 s. 4. Tkachuk M. M., Tkachuk R. M., Biletskyi A. A. Vodorehuliuivannia drenazhno-modulnomy systemamy na osushuvanykh zemliakh. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. Rivne, 2019. Vyp. 2 (86). S. 79–91. 5. Drenazhno-ekranno-modulna systema z kolonkamy-pohlynachamy : pat. Ukrainy № 125141. MPK EO2V 3/00. Biul. № 8, opubl. 25.04.2018. 6. CHerenkov A. V. Obosnovanie elementov tehnologii podpochvennogo uvlajneniya s uchetom vliyaniya konstruktсии i parametrov zakryitogo drenaja i provodyaschey seti kanalov v dernovyih i dernovo-podzolistyih peschanyih

pochvah Zapadnogo Polesya USSR : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Kiev, 1983. 23 s.

---

**Tkachuk M. M., Doctor of Engineering, Professor, Turcheniuk V. O., Doctor of Engineering, Professor, Shynkaruk L. A., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Tkachuk L. R., Applicant**  
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, m.m.tkachuk@nuwm.edu.ua)

### **ENSURING EFFICIENCY OF WATER REGULATION ON WATER MANAGEMENT SYSTEMS WITH INNOVATIVE STRUCTURES**

**The article considers a new solution to the scientific and technical problem, which is to improve the design of water regulation of drained lands on the basis of a combination of innovative drainage-modular and contour-reclamation structures. Complex water regulation on drainage systems is substantiated – drainage modules (multi-level hydraulically connected regulating drains) and contour-ameliorative constructions arranged on the border of the water management system, taking into account flooding by groundwater and flooding by infiltrating waters overflowing. The results of analytical researches of water regulation of drainage-modular and contour-ameliorative constructions and methods of calculation of parameters (interdrain distances between shallow regulating drains) of drainage modules at their supply by ground and infiltration waters are given.**

**Regularities of formation of drainage runoff and water regime of soils depending on parameters of drainage-modular system and weather-climatic conditions are investigated. It is established that the required intensity of drainage during floods can be provided by a drainage-modular system with hydraulically connected regulating drains, and an important design condition is complex water regulation on drainage systems – drainage modules (multilevel regulating drains) and contour-reclamation structures.**

**The generally accepted methods and mathematical models describing the movement of water in the soil to calculate the distance between multilevel hydraulically connected control drains of the drainage-modular system, which allows to significantly improve and improve the regulation of water regime in the water management sys-**

**tem.**

**It is shown that complex water regulation by drainage-modular and contour-ameliorative constructions is much better in terms of technological, ecological, economic efficiency and investment attractiveness.**

**Keywords: water regime; drainage – modular systems; drainage systems; protection against flooding and inundation; groundwater levels; contour-ameliorative constructions; protection of water management systems.**

---

**Ткачук Н. Н., д.т.н., профессор, Турченко В. О., д.т.н., профессор, Шинкарук Л. А., к.т.н., доцент, Ткачук Л. Р., соискатель**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДРЕГУЛИРОВАНИЯ НА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ ИННОВАЦИОННЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ**

**В статье рассмотрено комплексное водорегулирование на осушительных системах – дренажными модулями (разноуровневыми регулирующими дренами) и контурно-мелиоративными конструкциями на границе с прилегающими территориями.**

**Приведены результаты аналитических исследований водорегулирования дренажно-модульными системами и контурно-мелиоративными конструкциями и методы расчета параметров регулирующих дренажных модулей при питании их грунтовыми и инфильтрационными водами**

**Ключевые слова: водный режим; дренажно-модульные системы; осушительные системы; защита от подтопления и затопления; урони грунтовых вод; контурно-мелиоративные конструкции; защита водохозяйственных систем.**

---