**Тема№4: Моделювання гідрологічних процесів у річкових басейнах**

**План:**

1. Вступ

- Поняття річкового басейну як цілісної системи

- Важливість моделювання для управління водними ресурсами

- Практичне значення прогнозування гідрологічних процесів

2. Основні компоненти гідрологічного циклу в річковому басейні

- Опади та їх розподіл

- Поверхневий стік

- Інфільтрація

- Випаровування

- Підземний стік

3. Типи гідрологічних моделей

- Фізичні моделі (на прикладі макетів)

- Математичні моделі (спрощені приклади розрахунків)

- Комп'ютерні моделі (огляд популярних програм)

- Переваги та обмеження кожного типу моделей

4. Практичне застосування моделювання

- Прогнозування паводків

- Оцінка водних ресурсів

- Планування водокористування

- Оцінка впливу кліматичних змін

- Реальні приклади з України

5. Збір даних для моделювання

- Які дані потрібні

- Де їх можна отримати

- Як оцінити якість даних

- Типові проблеми при зборі даних

**1. Вступ**

- Поняття річкового басейну як цілісної системи

- Важливість моделювання для управління водними ресурсами

- Практичне значення прогнозування гідрологічних процесів

У сучасному світі управління водними ресурсами набуває все більшого значення через зростаючий попит на воду, зміни клімату та антропогенне навантаження на довкілля. Для ефективного управління важливо розуміти річковий басейн як цілісну природну систему.

**Річковий басейн** - це територія, з якої всі поверхневі та підземні води стікають до певної річки чи водного об'єкта. Це складна природна система, де всі компоненти тісно взаємопов'язані. Уявіть собі велику чашу, де схили - це вододіли, а дно - річкова долина. Кожна крапля дощу, що падає в межах цієї "чаші", зрештою потрапляє до головної річки. При цьому вода проходить складний шлях: частина її просочується в ґрунт, живлячи підземні води, частина випаровується, а решта формує поверхневий стік.

Моделювання стає незамінним інструментом для управління водними ресурсами. Воно дозволяє відповісти на ключові питання: скільки води буде доступно в певний період? Як зміняться умови при будівництві водосховища? Які території можуть бути затоплені під час паводку? Маючи відповіді на ці питання, управлінці можуть приймати обґрунтовані рішення щодо водокористування, будівництва гідротехнічних споруд та захисту від небезпечних гідрологічних явищ.

Прогнозування гідрологічних процесів має величезне практичне значення. По-перше, це безпека населення - своєчасне попередження про повені може врятувати життя та майно людей. По-друге, це економічна ефективність - правильне планування водокористування забезпечує потреби сільського господарства, промисловості та комунального сектору. По-третє, це захист довкілля - розуміння процесів у басейні допомагає зберегти водні екосистеми та запобігти їх деградації.

В Україні, де водні ресурси розподілені нерівномірно, а кліматичні зміни стають все відчутнішими, здатність моделювати та прогнозувати гідрологічні процеси набуває особливого значення. Наприклад, посуха 2020 року в басейні Дніпра показала, наскільки важливо мати надійні прогнози для адаптації водокористування до складних умов.

Отже, розуміння річкового басейну як цілісної системи та вміння моделювати процеси в ньому - це фундамент сучасного управління водними ресурсами. Це дозволяє не лише реагувати на проблеми, але й передбачати їх, працюючи на випередження.

2. Основні компоненти гідрологічного циклу в річковому басейні

- Опади та їх розподіл

- Поверхневий стік

- Інфільтрація

- Випаровування

- Підземний стік

Розглядаючи гідрологічний цикл у річковому басейні, важливо почати з опадів, адже саме вони є основним джерелом води в системі. **Опади** - це вода, що випадає з атмосфери у вигляді дощу, снігу, граду чи роси. Їх розподіл у межах річкового басейну залежить від багатьох факторів.

Перш за все, на розподіл опадів впливає рельєф території. На навітряних схилах випадає більше опадів, ніж на підвітряних. Висота місцевості також має значення - зазвичай кількість опадів збільшується з висотою. Наприклад, у Карпатах на схилах гір випадає значно більше опадів, ніж у передгір'ї. Крім того, важливу роль відіграє відстань від океанів та морів - чим далі вглиб континенту, тим менше опадів.

Сезонність опадів є ключовим фактором для управління водними ресурсами. В Україні більшість річкових басейнів характеризується нерівномірним розподілом опадів протягом року. Літні опади часто мають зливовий характер, що може призводити до паводків, тоді як зимові опади формують сніговий покрив, танення якого забезпечує весняну повінь.

**Поверхневий стік** - це та частина води, яка рухається по поверхні землі, формуючи струмки та річки. Він починається, коли інтенсивність опадів перевищує здатність ґрунту поглинати воду. Уявіть собі, як вода стікає з даху будинку - подібним чином відбувається формування поверхневого стоку в природі, тільки в значно більших масштабах.

На формування поверхневого стоку впливають:

1. Характер опадів (інтенсивність, тривалість)

2. Рельєф місцевості (крутизна схилів, їх довжина)

3. Тип ґрунтів та їх водопроникність

4. Рослинний покрив

5. Наявність водонепроникних поверхонь (особливо в міських районах)

Важливо розуміти, що в природних умовах лише частина опадів перетворюється на поверхневий стік. У лісистій місцевості це може бути 10-20% опадів, тоді як у місті, де багато асфальтованих поверхонь, частка поверхневого стоку може досягати 70-80%. Це створює додаткові виклики для управління водними ресурсами в урбанізованих територіях.

Для управлінців особливо важливо розуміти зв'язок між опадами та поверхневим стоком, адже це дозволяє прогнозувати водність річок, оцінювати ризики підтоплення територій та планувати заходи з регулювання стоку. Наприклад, створення водосховищ дозволяє перерозподіляти стік у часі, забезпечуючи водою посушливі періоди за рахунок накопичення води під час повеней.

Розглянемо наступні важливі **компоненти гідрологічного циклу,** які суттєво впливають на водний баланс річкового басейну.

**Інфільтрація** - це процес просочування води в ґрунт. Це схоже на те, як губка вбирає воду: спочатку вода швидко заповнює великі пори, а потім повільніше проникає у дрібніші. Швидкість інфільтрації залежить від кількох ключових факторів. Найважливіший - це тип ґрунту. Піщані ґрунти мають високу інфільтраційну здатність, тоді як глинисті - низьку. Наприклад, у піщаному ґрунті вода може просочуватися зі швидкістю 30-40 см на годину, а в глинистому - лише 1-2 см.

На інфільтрацію також впливає:

- Початкова вологість ґрунту (сухий ґрунт вбирає воду швидше)

- Рослинний покрив (коріння рослин створюють канали для води)

- Температура (тепла вода просочується краще за холодну)

- Наявність органічних речовин у ґрунті

**Випаровування** - це процес переходу води з рідкого стану в газоподібний. У річковому басейні випаровування відбувається з поверхні води, ґрунту та рослин (транспірація). Інтенсивність випаровування залежить від:

- Температури повітря та поверхні

- Вологості повітря

- Швидкості вітру

- Сонячної радіації

- Типу поверхні

Наприклад, у спекотний літній день з поверхні водосховища може випаровуватися 5-7 мм води, що для великих водойм означає втрату тисяч кубічних метрів води. Рослинний покрив через транспірацію також суттєво впливає на водний баланс - дорослий дуб може "випаровувати" до 100 літрів води за день.

Підземний стік формується з води, що просочилася крізь ґрунт і породи. Це найбільш стабільний компонент річкового стоку, який забезпечує живлення річок у посушливі періоди. Підземний стік рухається значно повільніше за поверхневий - його швидкість може становити від кількох сантиметрів до кількох метрів на добу.

Особливості підземного стоку:

- Залежить від геологічної будови території

- Має сезонні коливання, але менш виражені, ніж у поверхневого стоку

- Може виходити на поверхню у вигляді джерел

- Важливий для водопостачання (артезіанські свердловини)

Для управлінців розуміння взаємозв'язку цих процесів критично важливе. Наприклад, надмірне відкачування підземних вод може призвести до виснаження водоносних горизонтів та зменшення базового стоку річок. Зміна землекористування (вирубка лісів, урбанізація) впливає на інфільтрацію та випаровування, що в свою чергу змінює водний режим території.

При плануванні водогосподарських заходів необхідно враховувати всі ці компоненти як єдину систему. Наприклад, створення водосховища збільшує випаровування, але може покращити умови для інфільтрації та поповнення підземних вод на прилеглих територіях.

**3. Типи гідрологічних моделей**

- Фізичні моделі (на прикладі макетів)

- Математичні моделі (спрощені приклади розрахунків)

- Комп'ютерні моделі (огляд популярних програм)

- Переваги та обмеження кожного типу моделей

**Гідрологічні фізичні моделі** - це зменшені копії реальних об'єктів чи систем, які допомагають вивчати та прогнозувати поведінку води в природних умовах. Розглянемо детальніше їх застосування на конкретних прикладах.

Найпростішим прикладом фізичної моделі є **гідравлічний лоток** - спеціальна установка для вивчення руху води. У Київському інституті водного господарства такі лотки використовують для моделювання течії річки та дослідження впливу різних гідротехнічних споруд на потік води. Наприклад, перед будівництвом нової греблі на малій річці, інженери створюють її зменшену копію в лотку, щоб перевірити, як вона вплине на швидкість течії та рівень води.

Більш складним прикладом є **фізична модель водосховища.** У лабораторії гідротехнічних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури створено модель Печенізького водосховища в масштабі 1:400. Ця модель дозволяє:

- Вивчати процеси замулення

- Досліджувати поширення забруднень

- Перевіряти ефективність берегоукріплювальних споруд

- Моделювати паводкові ситуації

Особливо цікавим є використання фізичних моделей для вирішення конкретних проблем. Наприклад, **у 2019 році при проектуванні реконструкції дамби на річці Уж в Ужгороді** була створена фізична модель ділянки річки. На ній відпрацьовували різні варіанти укріплення берегів та розміщення водовідвідних споруд. Це дозволило обрати найбільш ефективне рішення ще до початку будівництва.

Фізичні моделі також активно використовуються для навчальних цілей. В Одеському державному екологічному університеті є навчальна лабораторія, де студенти працюють **з макетом річкового басейну.** На цьому макеті можна:

- Імітувати випадання опадів різної інтенсивності

- Спостерігати за формуванням поверхневого стоку

- Вивчати процеси ерозії

- Досліджувати вплив рослинності на стік

Важливо розуміти обмеження фізичних моделей:

1. Масштабний ефект - не всі процеси можна правильно відтворити в зменшеному масштабі

2. Вартість - створення та обслуговування великих фізичних моделей потребує значних коштів

3. Час - проведення експериментів може бути тривалим

4. Обмежена гнучкість - складно змінювати параметри моделі

Проте, незважаючи на обмеження, фізичні моделі залишаються незамінними для:

- Візуалізації складних гідрологічних процесів

- Перевірки теоретичних розрахунків

- Навчання студентів та фахівців

- Презентації проектів зацікавленим сторонам

Наприклад, при плануванні протипаводкових заходів у басейні Тиси, фізична модель критичних ділянок річки допомогла переконати місцеві громади в необхідності будівництва захисних споруд, оскільки наочно демонструвала ризики затоплення територій.

**Математичні моделі в гідрології** - це представлення реальних процесів за допомогою математичних рівнянь та формул. Розглянемо їх на простих та зрозумілих прикладах, уникаючи складних формул.

Найпростішою математичною моделлю є **рівняння водного балансу річкового басейну.** Уявіть собі басейн як банківський рахунок: опади - це надходження, а випаровування та стік - витрати. Формула проста: опади = стік + випаровування + зміна запасів води. Наприклад, якщо за рік випало 700 мм опадів, випарувалося 400 мм, а запаси води не змінилися, то річний стік становитиме 300 мм.

Поширеною є **модель танення снігу,** яка використовується для прогнозування весняної повені:

- Швидкість танення = коефіцієнт × температура повітря

Наприклад, при температурі +5°C та коефіцієнті танення 5 мм/°C за добу, за день розтане 25 мм снігового покриву. Це дозволяє оцінити обсяг води, який надійде до річки.

Для малих річок часто використовують **модель паводкового стоку** за методом одиничного гідрографа. Принцип простий:

1. Визначається, як річка реагує на 1 мм опадів (це і є одиничний гідрограф)

2. Для прогнозу паводку це значення множиться на фактичну кількість опадів

Наприклад, якщо 1 мм опадів створює максимальну витрату 0,5 м³/с, то при 20 мм дощу можна очікувати пік паводку близько 10 м³/с.

*Додаткова інформація:*

*Витрата води (позначається Q) - це об'єм води, який протікає через поперечний переріз річки за одиницю часу.*

*У нашому випадку максимальна витрата 0,5 м³/с означає, що в пік паводку через поперечний переріз річки протікає 0,5 кубічних метрів води за одну секунду.*

*Щоб було зрозуміліше:*

*- 1 м³ = 1000 літрів*

*- Отже, 0,5 м³/с = 500 літрів за секунду*

*- За годину через цей переріз протече: 0,5 м³/с × 3600 с = 1800 м³ води*

*- За добу: 0,5 м³/с × 86400 с = 43200 м³ води*

*Для порівняння:*

*- Мала річка в межень (період низької води) може мати витрату 0,1-0,3 м³/с*

*- Середня річка - 5-100 м³/с*

*- Дніпро біля Києва має середню витрату близько 1370 м³/с*

*Витрата води - це основний показник, який використовують гідрологи для характеристики водності річки та розрахунку стоку.*

**Для підземних вод використовують модель Дарсі,** яка описує рух води в ґрунті:

- Витрата води = проникність ґрунту × площа × напір / довжина шляху

Це дозволяє розрахувати, наприклад, скільки води надійде до колодязя чи свердловини.

Існують також більш складні моделі:

1. Моделі формування якості води (наприклад, розрахунок розчиненого кисню)

2. Моделі руслових процесів (розмив берегів, транспорт наносів)

3. Моделі поширення забруднень

Практичне застосування математичних моделей:

- Водогосподарські розрахунки (скільки води можна забрати з річки)

- Прогноз повеней (час добігання паводкової хвилі)

- Оцінка впливу господарської діяльності

- Розрахунок зон затоплення

**Приклад з практики:** для річки Прип'ять використовують математичну модель для прогнозування повеней. Модель враховує:

- Кількість снігу в басейні

- Температуру повітря

- Опади

- Вологість ґрунту

На основі цих даних розраховується очікуваний рівень води з завчасністю до 15 днів.

*Приклад:*

*Розглянемо простий приклад прогнозу весняної повені на річці Прип'ять для конкретної ділянки.*

Вихідні дані:

- Запас води в сніговому покриві: 100 мм

- Прогноз температури повітря: +5°C протягом тижня

- Прогноз опадів: 20 мм дощу за тиждень

- Вологість ґрунту: 90% (ґрунт майже насичений)

Спрощений розрахунок:

1. Розрахуємо талу воду:

- Коефіцієнт танення снігу = 5 мм/°C за добу

- За добу розтане: 5 мм × 5°C = 25 мм снігу

- За тиждень розтане: 25 мм × 7 днів = 175 мм снігу

- Але у нас є лише 100 мм снігу, тому весь сніг розтане за 4 дні

2. Враховуємо опади:

- Додаткові 20 мм води від дощу

3. Оцінюємо втрати:

- Через насиченість ґрунту (90%) майже вся вода піде в стік

- Втрати на випаровування та інфільтрацію приймаємо мінімальні - 10%

4. Загальний об'єм води, що формує паводок:

- Тала вода: 100 мм

- Дощові опади: 20 мм

- Всього: 120 мм

- Мінус втрати 10%: 120 × 0.9 = 108 мм води піде в річку

5. Знаючи площу водозбору (наприклад, 1000 км²), можемо розрахувати об'єм паводкового стоку:

- 108 мм × 1000 км² = 108 000 000 м³ води

На основі цього об'єму та знаючи характеристики русла річки, можна спрогнозувати підйом рівня води.

Це дуже спрощений приклад. В реальності використовують складніші моделі, які враховують більше факторів та їх взаємозв'язок.

*Для прогнозу підйому рівня води у цьому прикладі* нам потрібні додаткові характеристики річки. Візьмемо типові параметри для середньої ділянки Прип'яті:

Вихідні дані:

- Ширина річки: 100 м

- Середня глибина до паводку: 3 м

- Швидкість течії: 0,5 м/с

- Форма русла: приймемо трапецієподібну

- Ухил берегів: 1:3 (на кожен метр підйому води річка розширюється на 3 метри з кожного берега)

Розрахунок:

1. Маємо об'єм паводкового стоку: 108 000 000 м³ води за 4 дні

2. Це становить в середньому за добу:

 108 000 000 ÷ 4 = 27 000 000 м³/добу

3. За секунду надходить:

 27 000 000 ÷ 86400 = 312,5 м³/с додаткової води

4. При підйомі води на 1 метр:

- Ширина збільшиться на 6 м (по 3 м з кожного берега)

- Нова ширина: 106 м

- Середня ширина під час підйому: (100 + 106) ÷ 2 = 103 м

- Додатковий об'єм на кожен кілометр річки:

 103 м × 1 м × 1000 м = 103 000 м³ води

5. Враховуючи швидкість течії 0,5 м/с, за добу вода пройде:

 0,5 м/с × 86400 с = 43,2 км

Отже, очікуваний підйом рівня води:

- Перший день: 1,2-1,5 м

- Другий день: додатково 0,8-1,0 м

- Третій-четвертий дні: ще 0,5-0,7 м

Загальний прогнозований підйом: 2,5-3,2 метри

Це означає, що:

- На 3-й день вода може вийти з берегів

- Потрібно готуватись до підтоплення заплавних територій

- Критичний період настане на 3-4 добу

Примітка: це приблизний розрахунок, який не враховує:

- Трансформацію паводкової хвилі

- Місцеві особливості русла

- Роботу водосховищ

- Можливі зміни погодних умов

У реальній практиці використовують спеціальні комп'ютерні моделі та враховують історичні дані про попередні паводки.

**Переваги математичних моделей:**

- Дешевші за фізичні моделі

- Дозволяють швидко перебрати різні сценарії

- Можна застосовувати для великих територій

- Легко автоматизуються

Обмеження:

- Потребують якісних вхідних даних

- Можуть давати значні похибки при екстремальних ситуаціях

- Вимагають періодичного коригування параметрів

Для практичного управління часто використовують комбінацію простих математичних моделей, які дозволяють оперативно приймати рішення без складних розрахунків.

**Комп'ютерні моделі в гідрології** - це сучасні інструменти, які дозволяють швидко та точно виконувати складні розрахунки та візуалізувати результати. Розглянемо найбільш поширені програми, які використовуються в Україні та світі.

**HEC-HMS** (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System)

- Безкоштовна програма від Корпусу інженерів армії США

- Використовується для моделювання опадів і стоку

- Має зручний інтерфейс та можливість візуалізації результатів

- Приклад застосування: прогнозування паводків на річках Карпатського регіону

**MIKE 11** (розробка Датського гідравлічного інституту)

- Професійна система для моделювання річок

- Дозволяє розраховувати течії, перенос наносів, якість води

- Широко використовується в Україні для великих річок

- Приклад: моделювання течій Дніпра для оптимізації роботи каскаду водосховищ

**SWAT** (Soil and Water Assessment Tool)

- Безкоштовна модель для оцінки впливу землекористування на водні ресурси

- Добре підходить для довгострокових розрахунків

- Враховує сільськогосподарську діяльність

- Приклад: оцінка впливу зміни клімату на водні ресурси басейну Південного Бугу

**MODFLOW**

- Стандарт для моделювання підземних вод

- Дозволяє розраховувати рух підземних вод та зміни рівня ґрунтових вод

- Використовується для управління водозабором

- Приклад: прогнозування впливу водозабору на рівень ґрунтових вод у Київській області

**Delft3D**

- Комплексна система для моделювання поверхневих вод

- Особливо ефективна для моделювання водосховищ та естуаріїв

- Має потужні можливості 3D візуалізації

- Приклад: моделювання процесів замулення Каховського водосховища

**Практичні аспекти використання:**

1. Вибір моделі залежить від:

- Масштабу задачі (басейн, ділянка річки)

- Наявних даних

- Необхідної точності

- Фінансових можливостей

2. Етапи роботи:

- Збір та підготовка вхідних даних

- Налаштування моделі

- Калібрування на основі історичних даних

- Виконання розрахунків

- Аналіз та візуалізація результатів

3. Типові завдання:

- Прогноз повеней

- Розрахунок зон затоплення

- Оцінка впливу гідротехнічних споруд

- Планування водокористування

**Переваги комп'ютерних моделей:**

- Швидкість розрахунків

- Можливість розглядати різні сценарії

- Наочна візуалізація результатів

- Зберігання та обробка великих масивів даних

**Обмеження:**

- Потреба у якісних вхідних даних

- Необхідність спеціальної підготовки користувачів

- Висока вартість деяких програм

- Можливі помилки при неправильному налаштуванні

Для практичного управління часто використовують комбінацію різних моделей, наприклад, HEC-HMS для розрахунку стоку та MIKE 11 для моделювання руху води в річці.

**Переваги та обмеження кожного типу гідрологічних моделей, спираючись на практичний досвід їх використання.**

**ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ**

Переваги:

- Наочність процесів - можна безпосередньо спостерігати за рухом води

- Висока достовірність результатів для конкретних умов

- Ідеальні для навчання та демонстрації

- Можливість фіксувати неочікувані ефекти

- Хороші для тестування нових інженерних рішень

Обмеження:

- Висока вартість створення та обслуговування

- Складність зміни параметрів

- Проблеми масштабування (не всі процеси можна коректно змоделювати в зменшеному масштабі)

- Займають багато місця

- Обмежена кількість сценаріїв, які можна перевірити

**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ**

Переваги:

- Точність розрахунків

- Можливість описати складні взаємозв'язки

- Відносно низька вартість

- Універсальність застосування

- Можливість прогнозування

Обмеження:

- Складність врахування всіх факторів

- Потреба у великій кількості вихідних даних

- Можливі значні похибки при недостатній кількості даних

- Складність сприйняття для нефахівців

- Необхідність регулярного калібрування

**КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ**

Переваги:

- Швидкість обробки даних

- Можливість розгляду багатьох сценаріїв

- Зручна візуалізація результатів

- Автоматизація розрахунків

- Можливість оновлення та вдосконалення

Обмеження:

- Залежність від якості програмного забезпечення

- Висока вартість професійних програм

- Необхідність спеціальної підготовки користувачів

- Можливі системні помилки

- Обмеження обчислювальної потужності

**ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ МОДЕЛІ:**

1. Для проектування локальних гідротехнічних споруд:

- Краще використовувати фізичні моделі

- Причина: потрібна висока точність та врахування місцевих особливостей

2. Для прогнозування повеней:

- Оптимально використовувати комп'ютерні моделі

- Причина: потрібна швидка обробка даних та можливість оновлення прогнозу

3. Для довгострокового планування водокористування:

- Доцільно застосовувати математичні моделі

- Причина: важливіше розуміти загальні тенденції та взаємозв'язки

4. Для навчання та демонстрації:

- Найкраще підходять фізичні моделі

- Причина: наочність та простота розуміння процесів

5. Для комплексних проектів:

- Рекомендується комбінувати різні типи моделей

- Причина: можливість перевірки результатів різними методами

Важливо розуміти, що вибір типу моделі залежить від:

- Масштабу задачі

- Доступних ресурсів

- Необхідної точності

- Часових обмежень

- Кваліфікації персоналу

**4. Практичне застосування моделювання**

- Прогнозування паводків

- Оцінка водних ресурсів

- Планування водокористування

- Оцінка впливу кліматичних змін

- Реальні приклади з України

**Розглянемо практичне застосування гідрологічних моделей на конкретних прикладах.**

**ПРОГНОЗУВАННЯ ПАВОДКІВ**

Успішним прикладом є система прогнозування паводків у Закарпатті. Використовується комбінація моделей:

- MIKE 11 для розрахунку руху паводкової хвилі

- Метеорологічні моделі для прогнозу опадів

- ГІС для візуалізації зон затоплення

Процес включає:

1. Збір даних з метеостанцій та гідропостів

2. Розрахунок очікуваного притоку води

3. Моделювання руху паводкової хвилі

4. Визначення зон можливого затоплення

5. Оповіщення відповідних служб

**ОЦІНКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ**

Приклад - оцінка водних ресурсів басейну Південного Бугу:

- Використання моделі SWAT

- Врахування поверхневих та підземних вод

- Оцінка сезонних коливань

- Визначення доступних для використання об'ємів

Результати дозволяють:

- Планувати розміщення водозаборів

- Визначати екологічні витрати

- Оцінювати ризики маловоддя

- Розробляти водоохоронні заходи

**ПЛАНУВАННЯ ВОДОКОРИСТУВАННЯ**

Каскад Дніпровських водосховищ - приклад складної системи управління водними ресурсами:

- Моделювання режимів роботи ГЕС

- Розрахунок водоподачі для зрошення

- Забезпечення судноплавних глибин

- Підтримка екологічного стану

Використовуються моделі для:

- Оптимізації режимів роботи водосховищ

- Розрахунку балансу води

- Прогнозування якості води

- Оцінки впливу на екосистеми

**ОЦІНКА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН**

Дослідження впливу зміни клімату на водні ресурси України:

- Використання глобальних кліматичних моделей

- Регіональне моделювання

- Оцінка змін водного режиму річок

- Прогноз екстремальних явищ

Результати показують:

- Зміни річного стоку

- Збільшення частоти посух

- Ризики затоплення територій

- Потребу в адаптаційних заходах

**РЕАЛЬНІ ПРИКЛАДИ З УКРАЇНИ**

1. Басейн річки Тиса:

- Створено автоматизовану систему моніторингу

- Встановлено 50 автоматичних станцій

- Впроваджено систему раннього оповіщення

- Зменшено збитки від паводків на 30%

2. Водопостачання міста Харкова:

- Моделювання роботи водозаборів

- Оптимізація режимів подачі води

- Прогнозування якості води

- Планування ремонтних робіт

3. Зрошення в Херсонській області:

- Моделювання водопотреби культур

- Оптимізація графіків поливу

- Оцінка впливу на підземні води

- Планування розвитку систем

4. Дністровське водосховище:

- Моделювання процесів замулення

- Прогноз якості води

- Оптимізація режимів роботи ГЕС

- Захист від підтоплення територій

Практичні результати застосування моделей:

- Зменшення збитків від повеней

- Покращення водозабезпечення

- Ефективніше використання води

- Збереження водних екосистем

Основні виклики:

- Недостатність даних спостережень

- Застаріле обладнання

- Потреба в навчанні фахівців

- Обмежене фінансування

**5. Збір даних для моделювання**

- Які дані потрібні

- Де їх можна отримати

- Як оцінити якість даних

- Типові проблеми при зборі даних

Збір даних є фундаментальним етапом для успішного моделювання гідрологічних процесів. Якість та достовірність результатів моделювання напряму залежить від якості вхідних даних. Розглянемо детально всі аспекти цього процесу.

Для гідрологічного моделювання потрібен широкий спектр даних. Перш за все, це гідрометеорологічні дані: витрати води в річках, рівні води, кількість опадів, температура повітря, випаровування. Важливими є характеристики водозбірного басейну: рельєф місцевості, типи ґрунтів, рослинний покрив, геологічна будова. Для комплексних моделей також потрібна інформація про господарську діяльність: водозабори, скиди води, зрошувані площі, гідротехнічні споруди.

Джерела даних в Україні досить різноманітні. Гідрометеорологічну інформацію надає **Український гідрометеорологічний центр**, який має мережу станцій спостережень по всій країні. Дані про якість води можна отримати від екологічних інспекцій та водогосподарських організацій. Характеристики басейну доступні в геологічних фондах, картографічних матеріалах, супутникових знімках. Інформацію про водокористування надає **Державне агентство водних ресурсів.**

Оцінка якості даних - критично важливий етап. Перш за все перевіряється повнота рядів спостережень. Наприклад, для надійного моделювання паводків потрібні безперервні дані хоча б за 20-30 років. Важливо оцінити однорідність рядів - чи не було змін у методиках вимірювань, переносу постів спостережень. Перевіряється узгодженість даних з різних джерел. Наприклад, витрати води у створі річки мають відповідати балансу притоку з приток.

На практиці виникає чимало проблем при зборі даних. Найпоширеніша - це пропуски в рядах спостережень через несправність обладнання чи інші причини. Наприклад, під час паводку може бути пошкоджено гідрологічний пост, і саме в найважливіший момент дані відсутні. Інша проблема - різна якість вимірювань на різних станціях. Наприклад, на одних постах витрати води вимірюються щодня, на інших - раз на тиждень.

Часто виникають складнощі з доступом до історичних даних. Частина архівів може бути втрачена, особливо за радянський період. Буває, що дані є, але в паперовому вигляді, і їх переведення в електронний формат потребує значних зусиль. Наприклад, для басейну Десни довелося оцифровувати журнали спостережень за 50 років.

Окрема проблема - отримання оперативних даних для прогнозного моделювання. Не всі станції обладнані засобами автоматичної передачі даних. Інформація може надходити із запізненням, що знижує якість прогнозів. У гірських районах зв'язок часто переривається через погодні умови.

Для подолання цих проблем використовують різні підходи. Пропуски в даних заповнюють статистичними методами або даними з сусідніх станцій. Встановлюють автоматичні станції спостережень. Використовують супутникові дані та результати моделювання для доповнення наземних спостережень. Створюють бази даних з можливістю оперативного доступу.

Важливо розуміти, що якість вхідних даних визначає надійність результатів моделювання. Тому при плануванні проектів значну увагу приділяють організації системи моніторингу та збору даних. Це потребує значних ресурсів, але є необхідною умовою успішного управління водними ресурсами.

**Приклад:**

**Давайте розглянемо простий, але практичний приклад моделювання паводкової ситуації на основі даних про опади та рівні води в річці.**

**Давайте розберемо цю модель:**

1. На першому листі ми збираємо фактичні дані спостережень:

- Дата спостереження

- Кількість опадів

- Фактичний рівень води

- Температура повітря

2. На другому листі виконуємо розрахунки:

- Розраховуємо суму опадів за три дні (це враховує накопичувальний ефект)

- Прогнозуємо рівень води за простою формулою: базовий рівень + (сума опадів × коефіцієнт впливу)

- Порівнюємо з фактичними даними

- Розраховуємо відхилення для оцінки точності прогнозу

3. На третьому листі візуалізуємо результати:

- Будуємо графік з прогнозованими та фактичними рівнями

- Додаємо умовне форматування для швидкої оцінки ситуації

**Практичне застосування:**

1. Введіть реальні дані спостережень

2. Відкоригуйте коефіцієнт впливу опадів на основі історичних даних

3. Спостерігайте за відхиленнями прогнозу від факту

4. Використовуйте умовне форматування для швидкого виявлення критичних рівнів

Це проста модель, але вона дає розуміння базових принципів моделювання та може бути корисною для малих річок, де немає складних гідрологічних моделей.







