

Information systems modeling

УДК 528.855

doi: 10.20998/2522-9052.2020.3.04

С. М. Андрєєв, В. А. Жилін

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ГІДРОЛОГІЧНИХ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Анотація. Предметом дослідження є розроблення методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). **Об'єктом дослідження** є процес безперервного забезпечення природозахисних закладів держави тематичними гідрологічними картами, що постійно актуалізуються і відображають поточний стан прісноводних природних ресурсів. **Метою роботи** є підвищення інформативності, оперативності та достовірності статистичного і прогнозного аналізу геоданих ДЗЗ про стан прісноводних природних ресурсів за рахунок безперервної актуалізації їх картографічних моделей. **Висновки.** На підставі проведеного аналізу класифікації географічних карт за змістом, масштабом та просторовим охопленням визначено місце гідрологічних карт вод суші в загальній класифікації карт. Проведено детальний аналіз різновидів гідрологічних карт і карт водного господарства з урахуванням призначення і складових гідрологічної науки, методів отримання та обробки гідрологічних даних. Проаналізовано основні завдання водного господарства як області діяльності, що має забезпечувати управління раціональним використанням водних ресурсів, а також завдання картографування водного господарства і класифікацію відповідних карт. Розглянуто господарський та екологічний аспекти картографування вод. Проведено аналіз існуючих досліджень використання технологій геоінформаційних систем у гідрології та розробці гідрологічних карт, у тому числі розглянуто дослідницькі досягнення України в даній галузі. Разом з тим, проведено аналіз сучасних параметрів та стану річки Дніпро як прикладу предметного дослідження. Все зазначене забезпечує актуальність і методологічні основи для розроблення методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними дистанційного зондування Землі. В процесі розроблення вказаної методики детально проаналізовано джерела даних для побудови картографічних моделей, а також етапи створення карт — від редакційно-підготовчого до етапів введення та обробки даних і завершального етапу видання карти. Запропоновану методику в подробицях описано структурно й покроково, що надає користувачеві повне уявлення щодо необхідних до виконання процедур, ресурсів вхідних даних та відповідного програмного забезпечення для отримання будь-якої гідрологічної картографічної моделі із заданими параметрами і тематичним наповненням. Отримані із використанням запропонованої методики електронні гідрологічні картографічні моделі забезпечують на вимогу користувача видання за допомогою програмного пакету ArcGIS баз даних, графічних, картографічних та інших матеріалів, що стосуються певного об'єкту водного господарства. Таким чином, природозахисні заклади матимуть актуалізовані із заданою регулярністю тематичні гідрологічні карти, що відображають стан прісноводних природних ресурсів.

Ключові слова: водні ресурси; гідрологічні картографічні моделі; дистанційне зондування Землі; технології ГІС.

Вступ

Наявність прісної чистої води — необхідна умова існування всіх живих організмів на планеті. На частку прісної води, придатної до вживання, припадає лише 3% від загальної її кількості. Незважаючи на це, людина в процесі своєї діяльності нещадно забруднює прісні води. Через це значний обсяг прісних вод став наразі зовсім непридатним. Різке погіршення якості прісної води відбулося в результаті забруднення її хімічними та радіоактивними речовинами, отрутохімікатами, синтетичними добривами і каналізаційними стоками.

На сьогодні проводиться багато досліджень водних ресурсів та пов'язаних в них явищ, кожного року проводяться наукові конференції присвячені вивченню водних ресурсів та створенню нових методів і засобів їх дослідження. Низка проведених досліджень дають підстави для розуміння, що загальна урбанізація, промислова та сільськогосподарська діяльність, витіски хімічних речовин, теплове забруднення, атмосферне забруднення та багато інших факторів негативно впливають на стан водних об'єктів. Через низький пріоритет екологічного контролю в Україні щороку у поверхневій воді скидаються великі

об'єми недостатньо очищених вод. Зважаючи на це на сьогоднішній день задача безперервного моніторингу стану прісноводних природних ресурсів є стратегічним питанням національної безпеки України. Отже, екологічний моніторинг для запобігання екологічного забруднення річок, озер та інших водних об'єктів є актуальним напрямком досліджень задля збереження прісноводних ресурсів України.

Однією з найважливіших задач цього дослідницького напрямку є забезпечення відповідних природозахисних закладів держави тематичними гідрологічними картами, що постійно актуалізуються і відображають поточний стан процесів формування водного балансу та стоку, структури річкових потоків, руслових та берегових процесів, термічних, льодових фізичних явищ, хімічного складу вод тощо.

Саме тому **метою даної роботи** є підвищення інформативності, оперативності та достовірності статистичного і прогнозного аналізу геоданих ДЗЗ про стан прісноводних природних ресурсів за рахунок безперервної актуалізації їх картографічних моделей. А звідси — предметом дослідження обрано розроблення методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Розроблення зазначеної методики проведено із використанням у якості прикладу річкової мережі басейну Дніпра. І це не випадково, адже площа басейну Дніпра в межах України становить понад 290 тисяч квадратних кілометрів, водою Дніпра користується близько 30 млн. жителів України.

Для досягнення поставленої мети і коректної постановки задачі дослідження по-перше необхідно провести узагальнення методологічних основ гідрологічних картографічних моделей та їх класифікації.

Місце гідрологічних картографічних моделей у загальній класифікації географічних карт

Загальна класифікація карт. Для того щоб орієнтуватися у величезному масиві карт усіляких видів, типів та змісту, виданих у різні часи в різних країнах світу, необхідно їх класифікувати та упорядкувати. Найбільш складною є класифікація карт за змістом, оскільки все або майже все, що існує в світі, можна картографувати.

Це так само важко, як класифікувати самі явища природи та суспільства: зоряне небо, моря та океани, рельєф і рослинність, промисловість і сільське господарство, екологічний стан територій та захворюваність населення грипом, історичні військові походи та голосування на виборах.

Класифікація карт — це система, що представляє сукупність карт, які поділяються (впорядковуються) за певною обраною ознакою. Класифікації карт необхідні для їх інвентаризації, зберігання та пошуку, наукової систематизації, складання списків та каталогів, створення банків даних і картографічних інформаційно-довідкових систем.

У якості підстави для класифікації можна обрати будь-яку властивість карти: масштаб, тематику, епоху створення, мову і спосіб графічного оформлення та видання тощо.

На сьогоднішній день загальна класифікація (рис. 1) представляє собою поділ усіх географічних карт за двома основними критеріями: за масштабом і просторовому охопленню, а також за змістом.

Класифікація карт за масштабом та просторовим охопленням. Поділ карт за масштабом та просторовим розділом не є універсальним. Різні країни часто мають різноманітні класифікаційні критерії. Наприклад, для Франції великомасштабними вважаються карти в інтервалі від 1:10 000 до 1:25 000, а дрібномасштабними — від 1: 100 000 до 1: 500 000.

За просторового охоплення як найбільшого підрозділи виділяють карти Сонячної системи та зоряного неба, потім — карти планет, у тому числі карти Землі. Далі йдуть карти найбільших планетарних структур. Для Землі — це карти материків і океанів, а після цього можливі різні розгалуження класифікації.

Класифікація карт за змістом. У цій класифікації виділяють три великі групи: загальногеографічні карти, тематичні карти, спеціальні карти.

Загальногеографічні карти відображають сукупність елементів місцевості, мають універсальне багаточільове застосування при вивченні території, орієнтуванні на ній, вирішенні науково-практичних завдань. На загальногеографічних картах зображують усі об'єкти, видимі на місцевості, і всім елементам приділяється майже рівна увага. Подальша ієрархічна класифікація загальногеографічних карт збігається з їх розподілом за масштабом.

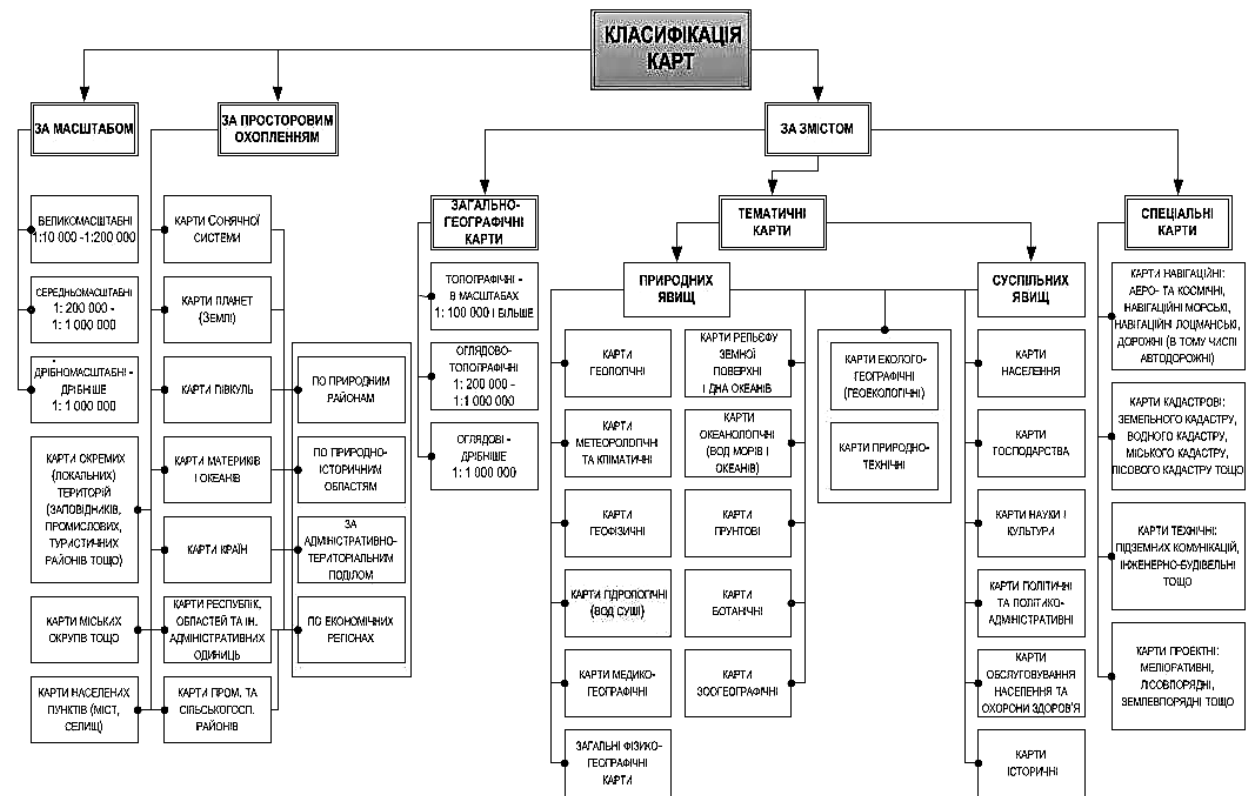


Рис. 1. Загальна класифікація географічних карт

Тематичні карти — найбільш велика та різноманітна категорія карт природних та суспільних (соціальних та економічних) явищ, їх поєднань та комплексів. Зміст карт визначається тією чи іншою конкретною темою.

Група карт природи охоплює карти літосфери, гідросфери, атмосфери, педосфери та біосфери.

Кarti суспільних явищ охоплюють соціосферу та техносферу. Їх тематика відрізняється великою різноманітністю: населення, економіка та господарство, наука, освіта та культура, обслуговування та охорона здоров'я, громадські рухи, релігія та політика, археологія та історія розвитку суспільства та багато іншого. Ця група карт постійно розширюється за рахунок все нових і нових тем, які характеризують суспільство з усіма прогресивними і негативними аспектами його розвитку.

Особливу складність для класифікації представляють явища, які не можуть бути цілком віднесені до однієї якої-небудь сфери, вони належать відразу до двох або декількох сфер. Найбільш очевидна необхідність виділення особливої природно-суспільної сфери (гіперсфери), що характеризує взаємодію природи, населення і господарства.

Спеціальні карти призначені для вирішення певного кола завдань або розраховані на визначені кола користувачів. Найчастіше це карти технічного призначення.

З огляду на об'єктивні труднощі ця класифікація не відрізняється строгістю. До числа спеціальних можна, наприклад, віднести карти навчальні, агітаційно-просвітницькі, екскурсійні, спортивні та деякі інші. Іноді в основу класифікації кладуть призначення карт. Однак не завжди легко провести межу між картами різного призначення і картами тематичними та загальногеографічними, які завдяки своїй багатофункціональності можуть використовуватися в якості навчальних або, скажімо, екскурсійних. Особливу групу складають спеціальні тактильні (дотикові) карти для людей з вадами зору.

Аналіз різновидів гідрологічних карт і карт водного господарства

Гідрологія як наука вивчає гідросферу, її властивості, процеси та явища, що відбуваються в ній у взаємозв'язку із атмосферою, літосферою та біосферою. Сучасна гідрологія об'єднує в собі окремі науки про складові частини гідросфери (рис. 2).

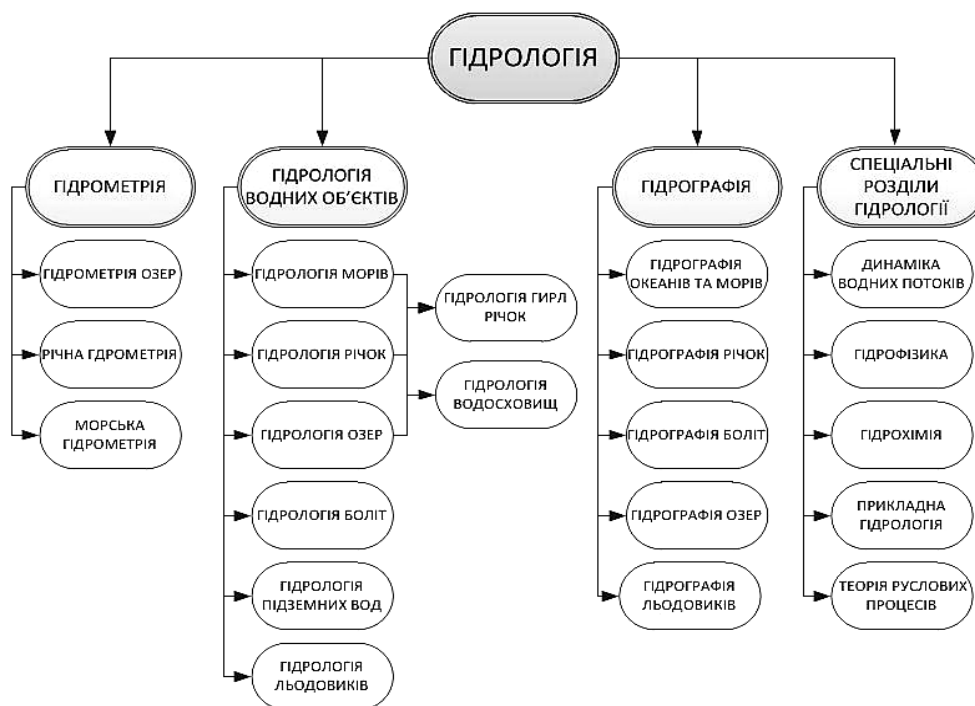


Рис. 2. Складові частини гідрології

Гідрологія водних об'єктів вивчає розподіл та кругообіг води на земній кулі, окремі частини гідросфери, взаємозв'язок між ними, найбільш загальні закономірності гідрологічних процесів і явищ, що в них відбуваються у взаємодії з атмосферою, літосферою і біосферою та під впливом господарської діяльності. Гідрографія вивчає й описує конкретні водні об'єкти, а також установлює закономірності географічного розподілу вод на земній кулі, особливості їхнього режиму та господарського значення.

Вода, як будь-яке природне тіло, має ряд фізичних властивостей. Пізнання та розуміння суті проце-

сів, які відбуваються в гідросфері та окремих її частинах, неможливі без знання властивостей води. Вони вивчаються окремими науковими дисциплінами. Однією з характерних властивостей води є її рухомість. Вивченням законів руху і рівноваги рідин, зокрема води, та їхньої взаємодії з твердими тілами займається гідромеханіка та її прикладний розділ гідравліка. Фізичні властивості води як речовини і процеси, що відбуваються у водній масі, вивчає гідрофізика, а хімічний склад та процеси – гідрохімія.

Гідрологія, вивчаючи води гідросфери, тісно пов'язана з іншими науками, які досліджують геог-

рафічну оболонку та діяльність води на Землі. Серед них найближче до гідрології знаходяться метеорологія та кліматологія, геологія, геоморфологія, фізична географія, картографія та інші науки.

У сучасній гідрології застосовуються різноманітні методи досліджень елементів гідрологічного режиму водних об'єктів. Основними серед них є методи польових досліджень: експериментальні, нетрадиційні дистанційні та польові (рис. 3).

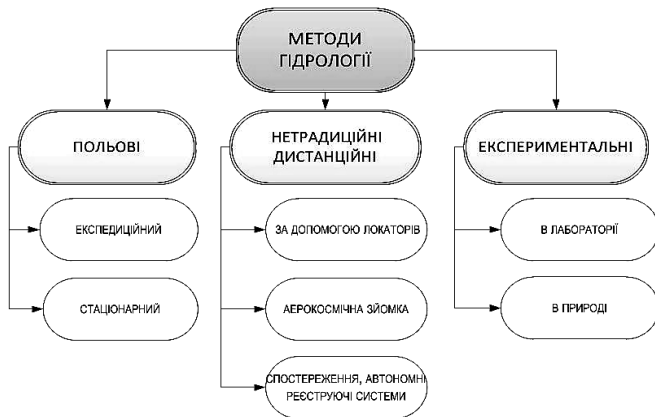


Рис. 3. Методи отримання гідрологічних даних

Найважливіше місце в гідрології займають методи польових досліджень. Польові дослідження поділяють на експедиційні та стаціонарні. Перші з них полягають у проведенні відносно короткочасних (від декількох днів до декількох років) експедицій на водних об'єктах. Другі полягають у проведенні тривалих (зазвичай багаторічних) спостережень в окремих місцях водних об'єктів — на спеціальних гідрологічних станціях та постах. Традиційно при гідрологічних дослідженнях експедиційний та стаціонарний методи поєднують.

Останнім часом стали широко застосовуватися так звані нетрадиційні дистанційні методи спостереження і вимірювання за допомогою різноманітних локаторів, аерокосмічної зйомки та спостереження, автономних систем реєстрації геоданих (автоматичні гідрологічні пости на річках, буйкові станції в океанах тощо). За допомогою радіолокаторів ведуть спостереження за дощовими хмарами, що вже зараз дозволяє деякою мірою прогнозувати атмосферні опади і викликані ними дощові паводки. Потужні можливості у напрямку нетрадиційних дистанційних методів спостереження надає використання авіації та космічних апаратів для спостережень за станом водних об'єктів.

Широко використовуються в гідрології методи експериментальних досліджень. Розрізняють експерименти в лабораторії та експерименти в природі. У першому випадку на спеціальних лабораторних установках проводять експерименти в умовах, повністю контрольованих експериментатором. Так, в лабораторіях вивчають різні режими руху води і наносів, розмиви річкового русла, гідрохімічні процеси тощо.

Завершальним етапом будь-яких гідрологічних досліджень є обробка зібраних даних, для цього існує безліч методів. Теоретичні методи в гідрології

базуються, з одного боку, на законах фізики, а з іншого — на географічних закономірностях просторово-часових змін гідрологічних характеристик. Серед цих методів останнім часом на перший план виходять методи математичного моделювання, системного аналізу, гідролого-географічних узагальнень, включаючи гідрологічне районування та картографування, а також геоінформаційні методи (рис. 4).



Рис. 4. Методи обробки гідрологічних даних

Гідрологічні карти відображають розподіл вод на земній поверхні, який характеризує режим водних об'єктів і дозволяє оцінити водні ресурси окремих частин суші. До гідрологічних карт належать карти річкової мережі, її густоти та кількості озер, карти стоку, карти складових водного балансу, карти джерел живлення, льодового режиму, каламутності води в річках, мінералізації та хімічного складу природних вод, коефіцієнта стоку, гідрологічного районування, використання та перспектив використання водних ресурсів, а також певних характерних явищ: пересихання та перемерзання, повеней, випаровування з поверхні суші та водної поверхні тощо (рис. 5).

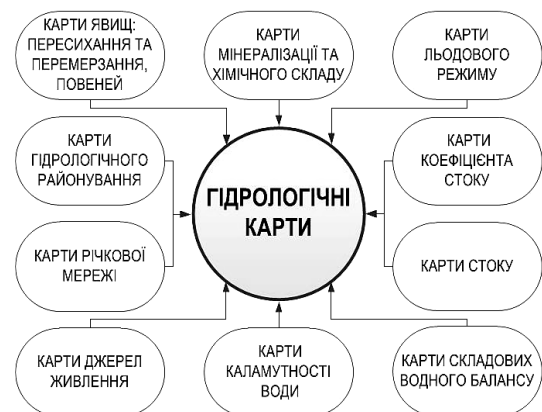


Рис. 5. Класифікація гідрологічних карт

Картографія водного господарства. Водне господарство — це область діяльності, яка має забезпечувати управління раціональним використанням водних ресурсів з метою задоволення потреб населення і національної економіки у водопостачанні, займатися попередженням та ліквідацією катастрофічних техногенних і природних ситуацій, а також охороною водних ресурсів від забруднення, засмічення і виснаження.

Карти водного господарства показують потреби у водних ресурсах населення, промисловості та сільського господарства, річкового судноплавства та рибного господарства, водопостачання та водоспоживання для потреб гідроенергетики і транспорту, а

також потреби у захисті населених пунктів та об'єктів економіки від повеней та інших видів шкідливого впливу вод. Основні завдання картографування водного господарства такі:

- 1) зображення водних об'єктів як джерела питного водопостачання;
- 2) відображення водокористування і водоспоживання для потреб населення;
- 3) зображення збалансованої соціально-екологічної та еколого-економічної систем басейнів річок, що передбачає детальний розгляд проблеми використання води;

4) зображення екологічного чинника водогосподарської діяльності та антропогенного навантаження на басейни річок.

До теперішнього моменту можна умовно виділити чотири групи карт, що так чи інакше стосуються теми водного господарства (рис. 6).

Властивостями картографування водних ресурсів мають бути глибоке розкриття їх природної специфіки та надання користувачеві можливості оперативного і досконалого вивчення специфіки використання води населенням, промисловістю, сільським господарством.

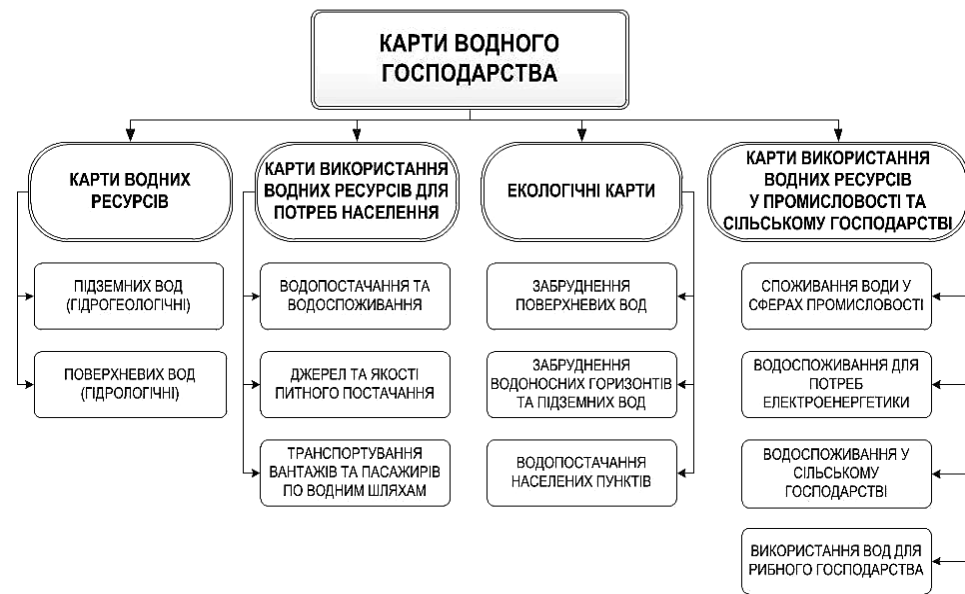


Рис. 6. Класифікація карт водного господарства

Отже, карти прісноводних ресурсів характеризують як основу для водогосподарської діяльності стан річок, озер, водосховищ, каналів, підземних вод тощо.

Природний аспект водних ресурсів розкривається на картах середньорічного стоку, максимального елементарного модуля стоку 1% забезпеченості, районування території по співвідношенню сезонного стоку та ін.

Гідрографічні карти характеризують приналежність річок басейнів, наявність гідрологічних постів, дають загальну характеристику водних ресурсів регіону. Додатково включаються карти якісної характеристики поверхневих вод (каламутності, хімізму, мінералізації та хімічного складу вод), а також деяких небезпечних явищ, пов'язаних із водою, – селів, лавин, а так само наявності мінеральних або термальних вод та їх практичного використання.

Комплексні гідрогеологічні карти містять інформацію щодо запасів підземних вод, придатних для питного водопостачання, їх експлуатаційних та хімічних особливостей. Група карт «Підземні води» відображає поширення водонесних горизонтів та комплексів, умови їх залягання, кількість та якість підземних вод.

Господарський аспект картографування вод. Господарський аспект картографування передбачає створення карт соціально-економічної спрямованос-

ті. Як правило, це карти водопостачання населення, що характеризують типи водопостачання території регіону (водопровідне, криничне тощо).

Джерелами для складання таких карт служать статистичні дослідження, прив'язані до адміністративних одиниць. Звичайний спосіб для відображення водопостачання населення або технічної оснащеності території — це картограма.

В рамках промислово-економічного спрямування картографується зв'язок водного господарства з промисловістю та сільським господарством. Такі карти показують, перш за все, споживання води відповідними сферами.

Свій внесок в характеристику водного господарства здійснюють також карти, що характеризують гідроенергетичний потенціал районів та економічні зв'язки, які здійснюються за водними шляхами. Одним з головних споживачів води в сільському господарстві є зрошуваче землеробство. Карты водоспоживання на зрошення мають показувати залежність від трьох чинників: площі поливу, його техніки, складу культур.

Карты рибальства та рибних промислів зазвичай поміщають в розділ «Промисловість» атласів тих регіонів, де рибні ресурси відіграють значущу роль в економіці та є основою збереження життєвого укладу корінних нечисленних народів. Особливості використання води населенням відображаються

на картах територіальної організації водоспоживання та на картах водопостачання, де показується як тип водопостачання, так і обсяг споживаної води по населеним пунктам.

Транспортування вантажів і пасажирів водним транспортом також важливий фактор водного господарства регіону. Даний вид транспорту розвинений практично повсюдно та базується на природних водних артеріях. Він широко використовується та не вимагає дорогого будівництва трас, що є істотним чинником в малоосвоєних та гірських районах, де будівництво доріг становить серйозну проблему. Для характеристики водного транспорту зазвичай показують річки, що використовуються в якості транспортних магістралей, вантажо- та пасажиропотоки, перевезення водними шляхами вантажів провідної галузі промисловості або особливо важливих вантажів, частку водного транспорту у всій транспортній мережі. Найпоширенішим способом для відображення будь-яких перевезень є знаки руху.

В цілому, набір карт, що характеризують водне господарство, залежить, перш за все, від специфіки використання вод в конкретному регіоні.

Екологічні карти вод. Водокористування має найважливіше значення при переході країни до сталого розвитку, що забезпечує збалансоване вирішення соціально-економічних завдань і проблем збереження навколишнього середовища та природних ресурсів. Такі карти фіксують не тільки фактичний стан вод, а й мають можливості для моделювання виникнення несприятливих гідро-екологічних ситуацій, відобразити реальну якість питної води.

Серед карт, присвячених екології вод, можуть бути карти забруднення водних об'єктів, охорони вод, іригації і меліорації, останні дві категорії особливо важливі для посушливих або, навпаки, обводнених територій. До карт екологічного змісту можуть бути віднесені й ті, що відображають структуру існуючого моніторингу геологічного середовища і поверхневих вод.

Кarti антропогенних навантажень на геологічне середовище і поверхневі води показують об'єкти (промислові підприємства та ін.), які здійснюють скид стічних вод у поверхневі та підземні джерела. На цих же картах можна показати витрати виробництва на очистку вод, якість очищення, обсяг зливних потоків. Кarti забруднення підземних вод певних водоносних горизонтів відображають ступінь забрудненості в конкретних точках обстеження, при цьому, як правило, визначальним є показник відношення ступеня забрудненості до гранично допустимої концентрації (ГДК). Синтетичними є карти, що відображають ступінь захищеності ґрунтових вод або основних експлуатованих водоносних горизонтів від різного роду забруднень. Вони складаються шляхом бальних оцінок декількох основних ранжированих факторів. Число регіонів, де водопостачання стає кризовою проблемою, постійно збільшується. Для районів та міст обласного підпорядкування цих територій розраховуються такі показники:

1) число джерел питного водопостачання (централізованого та децентралізованого) на тис. осіб;

2) число джерел питного водопостачання на тис. км²;

3) співвідношення числа джерел централізованого та децентралізованого водопостачання;

Для відображення першого та другого показників використовується спосіб картограм із застосуванням кольору або штрихування. Співвідношення числа джерел централізованого та децентралізованого водопостачання, будучи абсолютним показником, подається способом картодіаграм. Ці показники можуть бути використані для оцінки навантаження на джерела водопостачання, а при забрудненні вод — опосередковано охарактеризувати ймовірність спалахів захворювань.

Медико-соціальні карти можуть доповнити розділ «Водне господарство», розкриваючи вплив екологічної обстановки на людину. Тут доречно карти захворювань, пов'язаних із якістю води та вмістом в ній мікроорганізмів. Такі карти також можуть показувати шляхи можливого поширення епідемій.

Інженерно-технічний напрям передбачає комплексне картографування інженерно-технічних споруд системи питного водопостачання (системи очищення води, водопроводи та ін.) з оцінкою їх стану та експлуатаційних можливостей.

Серед основних особливостей побудови гідрологічних карт та карт водного господарства можна зазначити такі:

1) застосування для побудови гідрологічних карт даних ДЗЗ у різних спектральних діапазонах (видимий та ближній інфрачервоний, радіохвильовий);

2) обробка великих масивів даних та необхідність створення і ведення хронологічної бази даних;

3) урахування динаміки зміни водних об'єктів на помітно великому проміжку часу (20-50 років);

4) необхідність проведення великої кількості польових робіт, що збільшує трудомісткість досліджень;

5) необхідність використання даних у режимі реального часу, швидку обробку та відображення даних для можливості контролю і прогнозування;

6) співпраця зі спеціалістами з гідрології, екології та інших сфер діяльності;

7) залежність від пори року;

8) складність топологічних відношень при створенні карт;

9) робота з лінійними геометричними об'єктами;

10) складність генералізації та масштабування картографічних об'єктів гідрології;

11) обмеження в стилістичному оформленні.

Аналіз існуючих досліджень використання ГІС-технологій у гідрології та розробці гідрологічних карт

Щорічно проводяться міжнародні наукові конференції, присвячені дослідженню гідрологічних об'єктів та вивченню нових методів їх досліджень. Відповідні публікації містять узагальнену інформацію про останні досягнення в цій галузі. У якості прикладів конференцій, пов'язаних з гідрологією, доречно навести такі, як: Міжнародна конференція з гідрології та метеорології, Конференція по гідроло-

гії, океану і атмосфері (НОАС), NGWA Groundwater Expo, Міжнародна конференція з управління річковими басейнами, включаючи всі аспекти гідрології, екології, природокористування, заплав та водноболотних угідь, Конгрес Міжнародного комітету з іригації та дренажу (МКІД), Конгрес МАГ — Підземні води: виклики та стратегії. На таких конференціях представляються існуючі та нові дослідження щодо використання ГІС та ДЗЗ в гідрологічних розрахунках, в оцінці водних ресурсів і прогнозуванні небезпечних гідрологічних явищ. ГІС-технології використовуються практично для вирішення всіх завдань гідрології. Існує безліч прикладів успішного застосування ГІС для прогнозування та моделювання сценаріїв паводків та повеней. Створювані при цьому цифрові карти відображають потенційні площі затоплень і служать основою для проектування та будівництва захисних споруд.

Багато сучасних актуальних наукових робіт присвячено використанню цифрових моделей висот для вивчення морфології водозбірних басейнів і оцінки зсувної небезпеки.

Приклади дослідницьких досягнень України щодо використання ГІС-технологій у розробці гідрологічних карт.

1. Картографічні моделі, створені на основі звіту про науково-дослідну роботу «Проведення просторового аналізу змін водного режиму басейнів поверхневих водних об'єктів на території України внаслідок зміни клімату» (2013 рік). За мету дослідження малась оцінка зміни водного режиму в басейнах головних річок України на основі аналізу багаторічної динаміки середньорічного стоку води, а також прогнозне моделювання середньорічного

стоку води за даними регіональних кліматичних моделей на основі сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні до 2050 р. (рис. 7, 8).

2. Картографічні моделі, представлені у науковій доповіді «Ресурси та якість поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження та кліматичних змін» (2017 рік). На основі розробленої концепції системних гідрохімічних досліджень виконано оцінку впливу природних і антропогенних чинників на формування хімічного складу та якість поверхневих вод України. Відзначено вплив кліматичної складової на зміни умов формування водного стоку річок України (рис. 9 – 10).

3. Картографічні моделі створені на основі досліджень всеукраїнської екологічної ліги, громадської організації, що заснована 12 грудня 1997 року.

Можна наводити незчисленну кількість прикладів наукових результатів, що свідчать про невичерпний інтерес науковців нашої країни до стану і перспектив розвитку прісноводних гідроресурсів, адже вони є запорукою економічної стабільності та державної безпеки України.

Аналіз параметрів та стану річки Дніпро як прикладу предметного дослідження

У якості прикладу щодо розроблення та реалізації запропонованої в даній роботі методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними ДЗЗ обрано басейн річки Дніпро – найбільшої водної артерії України, третьою за величиною річки Європи (після Волги та Дунаю). Загальна довжина Дніпра становить 2201 км, у межах України – 981 км. В Україні басейн Дніпра займає 48,6% усієї її території.

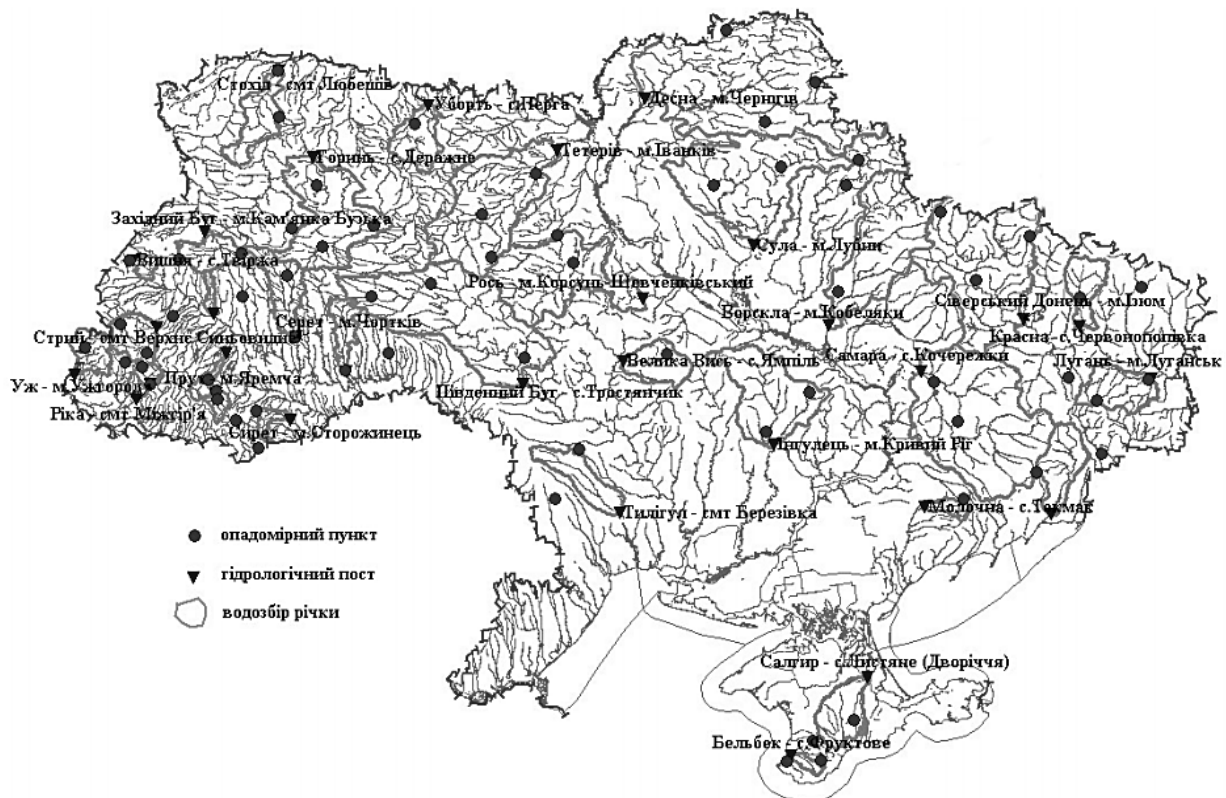


Рис. 7. Карта водозабірних басейнів річок України

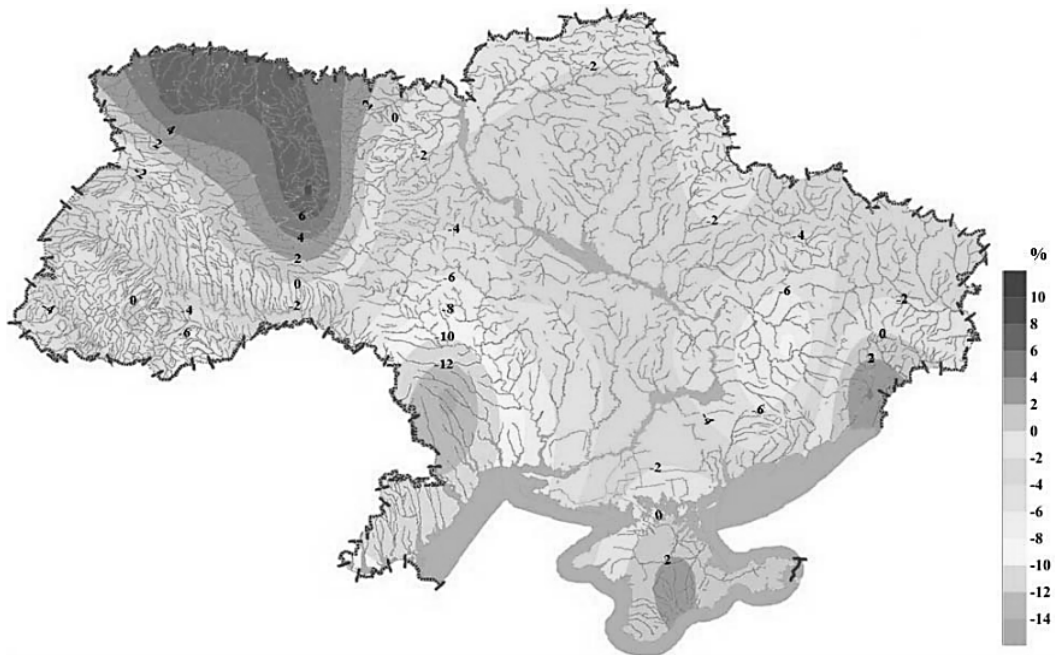


Рис. 8. Карта середньорічного стоку води річок України

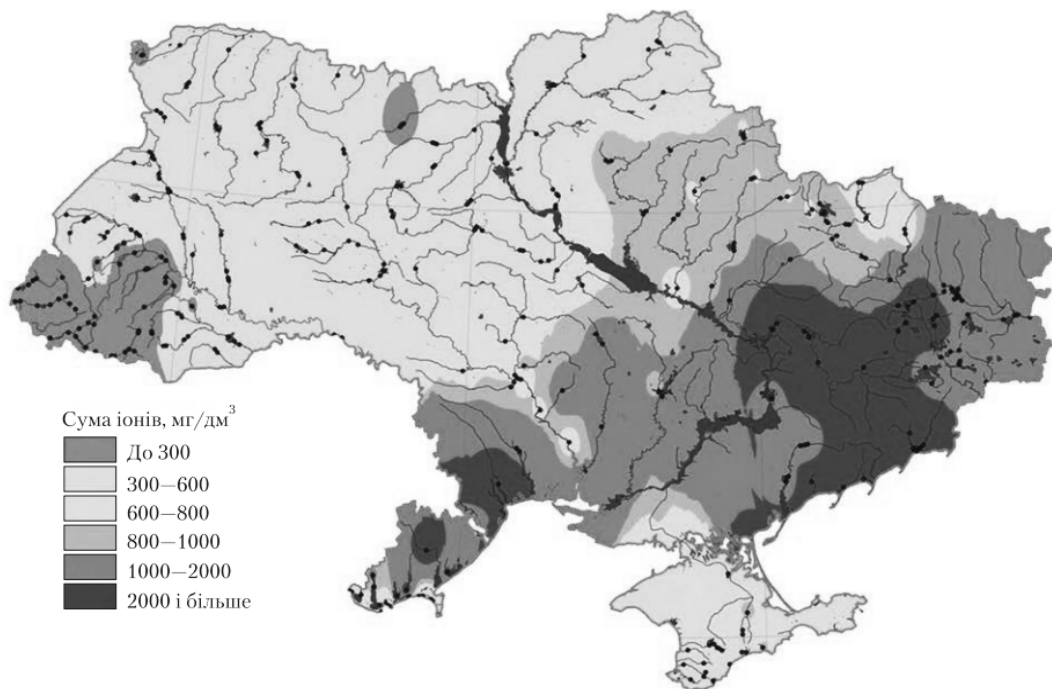


Рис. 9. Карта мінералізації поверхневих вод України

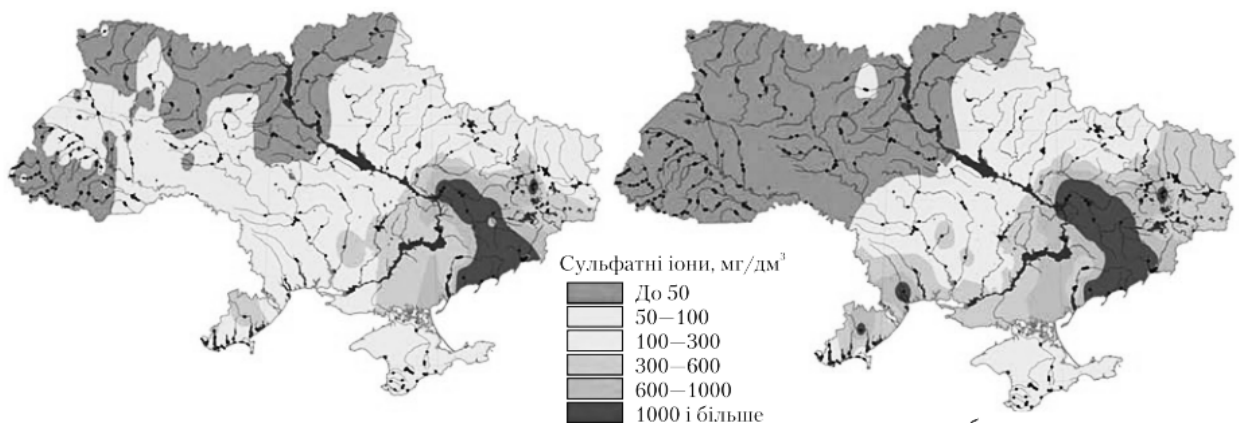


Рис. 10. Карти вмісту сульфатних іонів у поверхневих водах України

Дніпро бере початок на північному заході Росії – на Валдайській височині, де витікає невеликим струмком з болотного масиву Аксенінський Мох. Поповнюючись численними притоками, впадає в Дніпровський лиман — витягнуту зі сходу на захід (на 58 км) затоку північної частини Чорного моря. В Україні на басейн Дніпра припадає 27% місцевих річок. Дніпро — головний постачальник води в Україні. Водними ресурсами Дніпра користуються близько 30 млн. жителів України (дві третини від загальної кількості населення). На Дніпрі працює близько 10 тис. промислових підприємств України, він зрошує майже 1,5 млн. гектарів сільськогосподарських угідь. На березі Дніпра лежить багато великих міст України — столиця держави Київ, Черкаси, Кременчук, Дніпродзержинськ, Дніпро, Запоріжжя, Нікополь, Херсон. Дніпро є найбільшою судноплавною річкою України. Від кордону з Білоруссю Дніпро тече у південному, а далі в південно-східному напрямі. Між містами Дніпро та Запоріжжя річка перетинає Український щит та змінює свій напрям на південно-західний. До спорудження Дніпрогесу в 1932 році тут були Дніпровські пороги – Козацький, Сурський, Лоханський, Дзвонецький, Ненаситець, Вовнизький, Будило, Лишний та Вільний. Дніпро приймає більш як 1000 приток. Довжина лише 90 з них перевищує 100 км. Найбільшими притоками Дніпра є Прип'ять, Рось, Базовлук, Інгулець, Десна, Трубіж, Ворскла, Оріль, Самара. Основний стік Дніпра формується у більш зволжених північних районах. У багатьох місцях своєї нижньої частини, де випадає значно менше опадів, Дніпро практично не має приток. Майже 60-80% стоку припадає на весняний період. Влітку та взимку Дніпро характеризується низькою меженню, замерзає з грудня до першої-другої декади березня. У верхній течії Дніпро живиться сніговими (50%), дощовими (20%) та підземними водами, у нижній — в основному сніговими (80-90%). Ширина Дніпра у верхній частині на території України (без водойм) – 90-700 м, від Києва до міста Дніпро — 300-1500 м, нижче від Херсона річка Дніпро розділяється на рукави і багатьма гирлами впадає в Дніпровський лиман. Переважна глибина річки — 3-7 м, швидкість течії – 0,4-1,2 м/с. Навігація на Дніпрі триває від 240 діб на півночі до 285 діб на півдні.

Значні рибні ресурси Дніпра у зв'язку з посиленням його забруднення зменшуються, їх якість погіршується. Промислове значення мають ящі, окунь, щука, чехонь, сом, судак, короп, білий амур, товстолобик. Зменшується і так незначне промислове виловлювання риби. Найбільше виловлюють товстолобика, ящі, плоскирку.

У донних відкладах дніпровських водосховищ виявлено значні площі з підвищеними рівнями радіації. Причому в міру віддалення від Чорнобиля вміст радіоактивних речовин зменшується, хоча помічено інтенсивне переміщення радіонуклідів з півночі на південь.

Дніпро протікає через господарсько-освоєні та густо заселені райони, через що він забруднений також відходами виробництва та комунального гос-

подарства. Актуальною є проблема забезпечення належного захисту цієї водної артерії. Потребують розв'язання питання підвищення рибопродуктивності Дніпра, кращого очищення використаних вод, зменшення «цвітіння» води, особливо у водосховищах.

Конфігурацію берегів Дніпра за останні десятиліття дуже змінили водосховища. Штучно створені дніпровські водойми — одна з невід'ємних частин його ландшафтів. Отже, Дніпро на великій відстані перетворився з колись швидкоплинної чистої річки на забруднену водойму із застійною водою озерного типу. За часів СРСР відбувалася прискорена трансформація дніпровського регіону з аграрного на промисловий. Грубе втручання у природний стан басейну Дніпра викликало значні екологічні проблеми, з яких першочергового вирішення потребують такі.

1. Зміни гідрологічного режиму поверхневих вод. Ці зміни пов'язані із надмірною зарегульованістю стоку малих і середніх річок, будівництвом каскаду Дніпровських водосховищ та каналів для перекидання стоку.

2. Хімічне забруднення. Вплив хімічного забруднення антропогенного походження викликаний інтенсивним розвитком промисловості, сільськогосподарства, урбанізацією та розвитком транспортної мережі в басейні Дніпра.

3. Затоплення та підтоплення територій. Ці явища викликаються замуленням русел річок, руйнуванням заплавних ділянок, вирубкою лісів та меліоративною діяльністю.

4. Забруднення радіонуклідами. Пов'язане, в першу чергу, з наслідками аварії на ЧАЕС.

5. Зміна і втрата екосистем та збіднення біорізноманіття. У басейні Дніпра втрачено не менше 80% природних екосистем.

Без нинішнього зарегулювання Дніпра було б значно ускладнено забезпечення водою великої кількості господарських об'єктів та промислових підприємств. Завдяки великим каналам (Північно-Кримському, Каховському, Дніпро-Донбас, Дніпро-Кривий Ріг, Дніпро-Інгулець) вода з дніпровських водосховищ перекидається на значні відстані, в тому числі й за межі басейну. Дніпровські водосховища є важливими рибно-господарськими об'єктами, в яких щорічно виловлюється до 10 тис. тонн риби. Береги водосховищ і приток Дніпра служать вирішенню задач рекреації і туризму.

Постановка задачі дослідження

Отже, із зазначеного вище виникає актуальна задача безперервного екологічного моніторингу задля збереження прісноводних ресурсів України, що піддаються таким згубним факторам, як загальна урбанізація, промислова та сільськогосподарська діяльність, витоки хімічних речовин, теплове забруднення, атмосферне забруднення тощо. Крім того, через низький пріоритет екологічного контролю в Україні щороку в поверхневій воді скидаються великі об'єми недостатньо очищених вод. Зазначена проблема вже стає питанням національної безпеки щодо стратегічних запасів прісної води України.

Звідси об'єктом дослідження має бути процес безперервного забезпечення природозахисних закладів держави тематичними гідрологічними картами, що постійно актуалізуються і відображають поточний стан прісноводних природних ресурсів. Відповідно, предметом дослідження є розроблення методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними ДЗЗ. Метою роботи є підвищення інформативності, оперативності та достовірності статистичного і прогнозного аналізу геоданих ДЗЗ про стан прісноводних природних ресурсів за рахунок безперервної актуалізації їх картографічних моделей. Етапи досягнення поставленої мети і розроблення методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними ДЗЗ відображено на рис. 11. У якості програмного забезпечення для виконання поставлених завдань використовувався програмний пакет геоінформаційної системи ArcGIS 10.5 компанії ESRI (США).

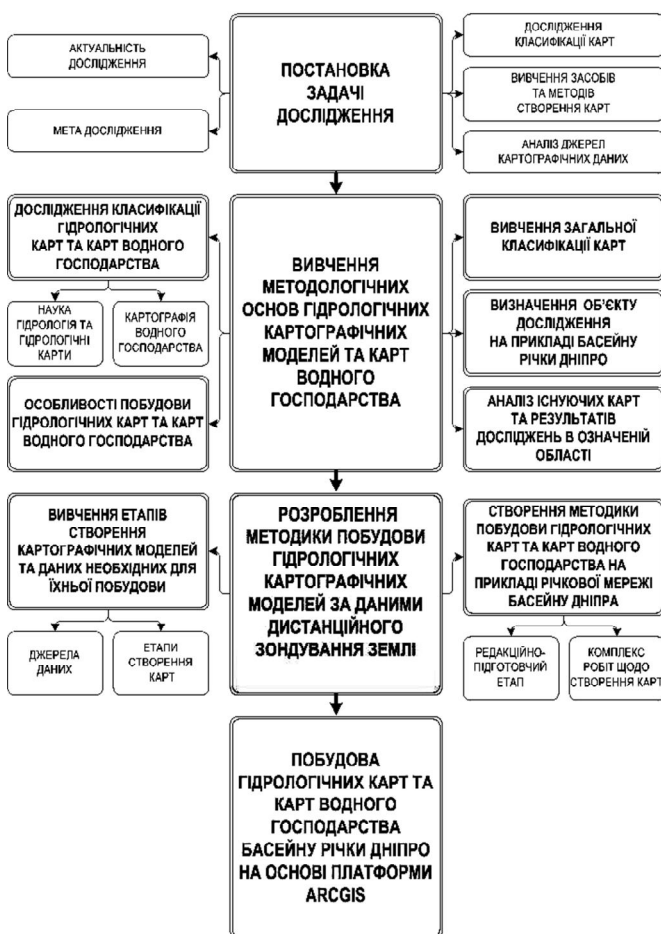


Рис. 11. Схема етапів розроблення і застосування методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними ДЗЗ

Методологічні основи розроблення методики побудови картографічних моделей за даними ДЗЗ

Джерела даних для побудови картографічних моделей. Отримання даних, необхідних для створення карт, передбачає використання багатьох джерел інформації та різноманітних документів, за якими, власне, й виконується складання карт (рис. 12).



Рис. 12. Джерела отримання даних для створення карти

Розрізняють джерела сучасні, які відображають нинішній стан об'єкта, що картографується, і старі, що показують минулий стан об'єкта або ранні стадії його вивченості.

Крім того, джерела, залучені для картографування, підрозділяють на первинні, отримані в ході прямих вимірювань і спостережень, і вторинні, що є результатом обробки і перетворення первинних матеріалів.

Астрономо-геодезичні дані. До цього виду джерел відносять результати астрономічних спостережень, дані систем супутникового позиціонування, гравіметричних вимірювань, триангуляції та трилатерації, полігонометрії, нівелювання на місцевості. Вони необхідні, перш за все, для створення координатної (планової та висотної) основи карт, тобто мережі пунктів, для яких визначені планове положення і висота щодо рівня моря, а також для обчислення фігури Землі і розрахунку параметрів земного еліпсоїда. При створенні гідрологічних карт та карт водного господарства переважно застосовують описи водних мереж, які проходять через населені пункти, описи штучно створених водойм, а також водних об'єктів, розташованих в зонах рекреації.

Картографічні джерела. Загальногеографічні карти використовують як джерела при складанні будь-яких тематичних карт. Вони служать основою для нанесення тематичного змісту. Топографічні, оглядово-топографічні та оглядові карти — це надійні і достовірні джерела, які створюють за державними інструкціями, в стандартній системі умовних знаків з певними, строго фіксованими вимогами до точності.

Значення загальногеографічних карт не обмежується використанням їх для прив'язки тематичного змісту. Вони забезпечують географічну достовірність картографування, граючи роль основи, тобто того каркаса, відносно якого проводиться нанесення і подальша ув'язка накопичуваного тематичного змісту карти, а також взаємне узгодження карт різної тематики.

Особливий вид джерел — кадастрові карти і плани. Вони з документальною точністю відобра-

жають розміщення, якісні та кількісні характеристики явищ та природних ресурсів, дають їх економічну або соціально-економічну оцінку, містять рекомендації щодо раціонального використання та охорони.

Матеріали дистанційного зондування. Матеріали дистанційного зондування отримують в результаті неконтактної зйомки з літальних повітряних і космічних апаратів, судів і підводних човнів, наземних фототеодолітних станцій. Найбільш широко застосовуються в картографії матеріали аеро-космічного зондування, особливо космічної зйомки, яка, будучи більш економічною, по детальності тепер наближається до аерозйомки. Матеріали аеро-космічного зондування мають важливі переваги перед іншими джерелами для складання карт:

1) оглядовість космічних зображень — від глобального охоплення до десятків кілометрів при детальній зйомці забезпечує економічне картографування великих просторів;

2) зйомка з космосу однієї й тієї ж території з різним розрізненням та генералізацією дозволяє паралельно створювати та оновлювати карти різних масштабів, позбавляючи від необхідності складати карти дрібніших масштабів по великомасштабним, що неминуче подовжувало би процес картографування;

3) центральна проекція, в якій будується зображення, при великій висоті центру проектування близька до ортогональної, що спрощує фотограмметричну обробку при створенні карт;

4) повторні зйомки із заданою періодичністю забезпечують динамічні картографування та моніторинг швидко мінливих в часі процесів та явищ;

5) забезпечення картографування важкодоступних районів — пустель, високогір'я, полярних островів, Антарктиди тощо, до того ж, вирішується проблема зйомки інших планет та їх супутників;

6) виразність і наочність космічних знімків зумовили появу нових видів картографічної продукції — фотокарт та супутникових карт біофізичних характеристик земної поверхні;

7) комплексне відображення на одному знімку всіх компонентів земних ландшафтів сприяє найбільш правильній передачі просторових взаємозв'язків об'єктів, що картографуються.

Зйомки ведуть в ультрафіолетовому, видимому та ближньому інфрачервоному (ІЧ), середньому ІЧ, тепловому ІЧ, а також радіохвильовому діапазонах спектру. Зйомка у видимому та ближньому ІЧ діапазонах реєструє сонячне випромінювання, відбите об'єктами відповідно до їх спектральної відбивної здатності. В тепловому ІЧ діапазоні реєструється власне випромінювання Землі та температурні характеристики об'єктів. Зйомка в цьому діапазоні не залежить від освітлення, може виконуватися вночі, але хмарність все ж таки є перешкодою. Спектрально на яскравість води падає зі зростанням довжини хвилі сонячного випромінювання. Промені ближньої ІЧ ділянки спектра майже повністю поглинаються водою (до 80%), що дає можливість бачити на знімках тільки кордони водойми. Щодо глибини водоймища та об'єктів під водою можна отримати у видимій ділянці спектра від 0,4 до 0,7 мкм (рис. 13).

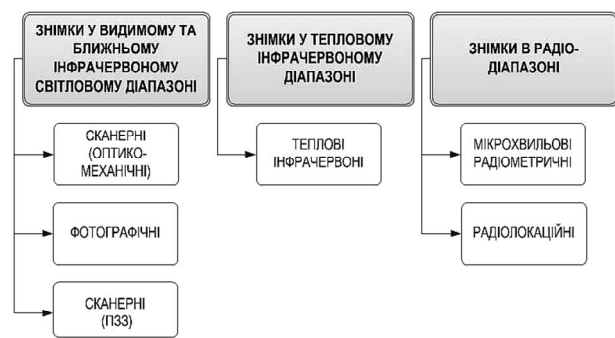


Рис. 13. Діапазони та засоби отримання знімків дистанційного зондування

Натурні спостереження і вимірювання. Ці дані — найважливіший фактичний матеріал для складання будь-яких тематичних карт. Ніякі непрямі та дистанційні методи не можуть замінити безпосередні спостереження. Більш того, без них неможливе використання теоретичних закономірностей, інтерпретація непрямих спостережень, дешифрування аеро- і космічних знімків.

Форма подання натурних спостережень різна. При гідрографічних спостереженнях — це результати вимірювань, які заносять у журнали і таблиці, при фізико-географічних дослідженнях — описи, що фіксуються в щоденниках та звітах, фотографії та схеми, при геологічно-геоморфологічних дослідженнях — профілі, розрізи, дані буріння свердловин, описи шурфів тощо, при геофізичній зйомці — значення спостережених фізичних параметрів.

За локалізацією дані безпосередніх спостережень поділяють на точкові, виконані в окремих пунктах та полігональні, що охоплюють всю досліджувану територію. Особливо виділяють стаціонарні спостереження, наприклад на геофізичних полігонах, біостанціях, в пунктах екологічного моніторингу тощо.

Гідрометеорологічні спостереження. Для багатьох видів картографування широко використовують результати спостережень, проведених на метеорологічних, гідрологічних та океанологічних станціях і постах. Це дані регулярних вимірювань параметрів атмосфери, атмосферних процесів, окремих метеорологічних елементів (температури, тиску, рівня опадів, яскравості сонячного сйва, швидкості вітру, типу хмарності тощо), гідрологічного режиму річок, озер, водосховищ, фізико-хімічних характеристик морських та океанічних вод та десятків інших показників. При цьому розраховують середні денні, місячні, сезонні та річні значення, а також інші похідні показники по різним висотним рівнями атмосфери і стандартним горизонтам глибин озер, морів і океанів.

Економіко-статистичні дані. При створенні карт і атласів соціально-економічної тематики основними джерелами служать масові дані, що містять кількісні відомості про стан та динаміку виробничих ресурсів, їх використання, розвитку промисловості та сільського господарства, транспорту, енергетики, фінансів та інших галузей народного господарства, населення, освіти, культури, сфери обслуговування тощо. До основних економіко-статистичних джерел

належать матеріали державної статистики і дані, що публікуються міжнародними організаціями.

Текстові джерела. До текстових або літературно-географічних джерел відносяться різного роду географічні (геологічні, історичні та ін.) описи, отримані в ході безпосередніх спостережень або в процесі теоретичних досліджень. Вони, зазвичай, не формалізовані та не мають точної координатної прив'язки, але зате мають образність та оглядовість, необхідні для створення уявлення про об'єкти, що картографуються. Звіти експедицій, монографічні праці, статті містять фактичний матеріал та теоретичні положення, необхідні для тлумачення багатьох інших джерел, що залучаються при картографуванні.

Етапи створення карт. Створення топографічних та тематичних карт складається з основних двох етапів: редакційно-підготовчого етапу та комплексу робіт з виготовлення карти.

Редакційно-підготовчий етап. Редакційно-підготовчий етап — це перший етап, з якого починається створення карти. На ньому відбувається проектування карти, розробка її концепції, складання програми необхідних дій та збір необхідної інформації з джерел даних. Цей етап завершується створенням проекту (програми) карти та створенням тематичної бази даних (БД) (рис. 14).



Рис. 14. Редакційно-підготовчий етап створення карти

Комплекс робіт з виготовлення карти містить три етапи: уведення даних, обробка даних, видання карти. Етап уведення даних являє собою внесення зібраних на редакційно-підготовчому етапі даних за допомогою різних методів та технічних засобів (рис. 15).



Рис. 15. Складові етапу уведення даних

Наступний та найбільший етап комплексу робіт з виготовлення карти — це етап обробки даних, на якому відбувається складання карти, тобто комплекс робіт з виготовлення оригіналу карти. Складання виконують в обраних картографічній проекції, компонуванні та масштабі, прийнятій системі умовних знаків, із заданим рівнем генералізації. Даний етап включає такі елементи, як:

- 1) підготовка та обробка завантажених даних;
- 2) встановлення математичної основи карти;
- 3) етап створення карти;
- 4) розробка змісту карти та легенди;
- 5) складання оригіналу карти з одночасною генералізацією та стилістичним оформленням.

Результатом даного етапу є створена картографічна модель в електронному вигляді (рис. 16).

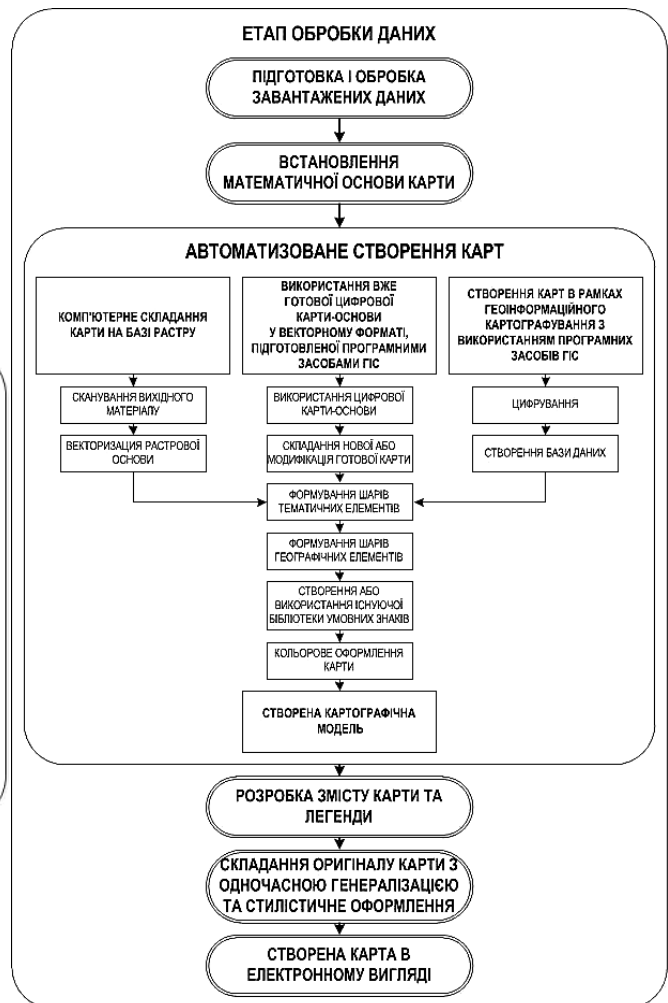


Рис. 16. Складові етапу обробки даних

Завершальним етапом комплексу робіт з виготовлення карти є підготовка до видання та видання карти, розмноження її в друкованій (поліграфічній) або комп'ютерній формі (рис. 17). Іноді підготовку до видання й саме друкування поділяють на два самостійні етапи. Вони охоплюють такі процеси: виготовлення друкованих форм, збереження даних в цифровому вигляді, використання карти для формування інших картографічних моделей (аналітичних, синтетичних).



Рис. 17. Складові етапу видання карти

Розроблення методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними ДЗЗ на прикладі річкової мережі басейну Дніпра

Редакційно-підготовчий етап. Проектування карти. Першим кроком при розробці картографічних моделей є проектування карти. На етапі проектування карти були вивчені характеристики досліджуваної області картографування території водного басейну річки Дніпро, за результатами яких було визначено актуальність та раціональність проведення експериментального дослідження саме цього гідрологічного об'єкта. Також було вивчено вже наявні дослідження по даному об'єкту на сьогоднішній день, за результатами яких було виявлено можливості для удосконалення, оновлення існуючих даних та вивчення інших напрямків щодо проведення досліджень по даному об'єкту, зокрема:

- 1) можливість створення інтерактивних карт при використанні ГІС;
- 2) формування комплексних картографічних моделей;
- 3) відображення просторових даних, зручне для користувача;
- 4) оновлення існуючих картографічних моделей;
- 5) більш глибокий аналіз з аналізом сторонніх чинників впливу в даній області;
- 6) застосування даних ДЗЗ.

Після аналізу існуючих досліджень були визначені технології для проведення експериментального дослідження. При проведенні такої роботи основна перевага при вивченні характеристик поверхневих вод віддавалась застосуванню даних ДЗЗ, що мають ряд переваг перед іншими методами дослідження:

- 1) об'єктивність — кожен космічний знімок об'єктивно відображає стан місцевості на момент зйомки;
- 2) актуальність та хронологічність — матеріали космічної зйомки можна отримати на різні дати;
- 3) масштабність — сучасна зйомка в оглядових масштабах дозволяє одночасно зняти величезні території з високою деталізацією;
- 4) екстериторіальність — ділянки зйомки ніяк не прив'язані до державних або адміністративних кордонів, а отже для проведення зйомки не потрібні будь-які дозволи;
- 5) висока швидкість отримання даних;
- 6) можливість отримання інформації про об'єкти, практично недоступні для дослідження іншими способами, зокрема, коли об'єкти, що цікавлять, знаходяться у важкодоступних місцях;
- 7) отримання інформації в різних спектральних діапазонах;
- 8) отримання інформації різної розрізняювальної здатності в залежності від розв'язуваної задачі.

Великі можливості дає використання ГІС для аналізу гідрологічної інформації, моніторингу екологічного стану, управління водними ресурсами, проведення системного аналізу, проектування моделей та проведення інших робіт, пов'язаних з гідрологією та водним господарством, де необхідно точно знати часовий та просторовий розподіл різних гідрологічних характеристик на річковому водозборі та мати можливість як оцінки їх стану, так і прогнозу можливих змін. Бази цифрових даних, комп'ютерне обладнання та програмне забезпечення є обов'язковими складовими частинами ГІС. Виходячи з цього, на даному етапі робіт були вивчені інформаційні бази та різні джерела даних, на основі яких були створені бази даних для подальшої побудови картографічних моделей. У даній роботі за результатами збору даних були побудовані такі БД:

- 1) база цифрових географічних даних водних об'єктів у векторному форматі на основі даних SRTM;
- 2) цифрова база гідрологічних даних, отриманих з постів моніторингу поверхневих вод у форматі .XLSX;
- 3) база цифрових географічних даних у вигляді DEM-набору параметрів рельєфу за даними SRTM;
- 4) база даних показників використання водних ресурсів України у форматі .XLSX;
- 5) растровий набір супутникових знімків з топографічними характеристиками і математичною основою у форматі .tiff.

Далі було проведено аналіз програмних продуктів для можливості найбільш раціонального використання. У даній роботі для аналізу, обробки, створення і візуалізації зібраних даних використано програмний комплекс ArcGIS, розроблений компанією ESRI для побудови геоінформаційних систем будь-якого рівня. Одним з головних чинників, який вплинув на вибір саме програмного забезпечення ArcGIS є наявність у ньому додаткового набору інструментів Spatial Analyst і його групи інструментів Hydrology, які являються спеціальними інструментами для безпосередньої роботи, аналізу і обробки гідрологічних даних. Інструменти групи Гідрологія (Hydrology) використовуються для моделювання потоку води по поверхні. Інструменти з групи Гідрологія можуть застосовуватися окремо та використовуватися послідовно для побудови мережі водотоків або виділення вододілів. Дана група включає в себе такі інструменти:

- 1) басейн (Basin) — створює растр, що містить контури всіх складових дренажного басейну;
- 2) заповнення (Fill) — заповнює локальні зниження в растрі поверхні для видалення всіх невеликих помилок і неточностей, притаманних уведеним даним;
- 3) сумарний стік (Flow Accumulation) — створює растр потоку накопичення в кожному клітинку, дозволяє додатково застосувати фактор ваги;
- 4) напрямок стоку (Flow Direction) — створює растр напрямку стоку з кожного осередку по найближчому сусідньому осередку вниз по схилу найбільшої крутизни;
- 5) довжина лінії стоку (Flow Length) — обчислює відстань вгору або вниз за течією, або зваженою відстанню, уздовж потоку для кожного осередку;

6) локальне зниження (Sink) — створює растр, який визначає локальні зниження або райони внутрішнього дренажу;

7) прив'язка точки гирла (Snap Pour Point) — прив'язує точки гирла до осередку з найбільшим сумарним стоком у межах заданої відстані;

8) ідентифікація видатків (Stream Link) — надає унікальні значення секціям растрової лінійної мережі, розташованим між зчленуваннями ліній;

9) порядок водотоку (Stream Order) — надає число, що визначає порядок сегментів растра, тобто сегментів лінійної мережі;

10) водотік у просторовий об'єкт — перетворює растр, який представляє лінійну мережу у векторні об'єкти, що представляють мережу ліній;

11) вододіл (Watershed) — визначає водозбірну область, розташовану вище набору осередків растра.

Комплекс робіт щодо створення карт. Уведення даних. У даній роботі були використані готовий набір даних водних об'єктів SRTM, створений на базі даних ДЗЗ, радіолокаційних даних SRTM, дані аерокосмічного моніторингу землі і бази даних моніторингу стану поверхневих вод зібраних з пунктів екологічного моніторингу поверхневих вод. Розглянемо вхідні дані більш детально.

1. Дані про водні об'єкти SRTM (SWBD) — це набір географічних даних, який кодує обриси берегової лінії з високою роздільною здатністю по всьому світу у векторному форматі, опублікований НАСА й призначений для використання в географічних інформаційних системах і картографічних додатках. Він був створений компанією BAE Systems ADR для Національного агентства геопросторової розвідки США (NGA) як додатковий продукт при редагуванні бази даних цифрових моделей рельєфу (ЦМР) Місії топографічних радарів Shuttle (SRTM). Дані SWBD покривають поверхню Землі між 56° південної широти і 60° північної широти. Він поширюється у форматі шейп-файлу ESRI, розділеного на 12 229 файлів, кожен з яких охоплює одну плитку поверхні Землі розміром 1-1-1°.

2. SRTM (Shuttle radar topographic mission) — здійснена у лютому 2000 року з борту космічного корабля багаторазового використання "Шаттл" радарна інтерферометрична зйомка поверхні земної кулі. Дана зйомка проведена на більшій частині території Землі (між 54° південної широти і 60° північної широти), а також океанів. Результатом зйомки стала цифрова модель рельєфу 85% поверхні Землі. Всього в результаті зйомки було отримано 12 терабайт радіолокаційних даних, які протягом 2 років проходили обробку фахівцями НАСА.

3. Дані дистанційного зондування американського супутника Landsat-8. Landsat-8 — американський супутник ДЗЗ, восьмий в рамках програми Landsat. У даній роботі були використані знімки ближ-

нього інфрачервоного спектра або NIR (Near Infrared). Ця частина спектра особливо важлива для екологів, оскільки відображає воду в листі здорових рослин. Порівнюючи з зображеннями інших діапазонів, отримуємо індекси нахталт NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDVI — нормалізований відносний індекс рослинності, простий кількісний показник кількості фотосинтетичний активний біомаси. Один з найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань кількісної оцінки рослинного покриву.

4. Загальні показники використання водних ресурсів України формуються щороку Державним агентством з водних ресурсів та містять Відомості про великі водозабори та скиди стічних та інших вод басейнів основних річок України у вигляді таблиць формату .XLSX.

5. Відкриті дані державного моніторингу поверхневих вод України за 2003 – 2018 роки у вигляді таблиць формату .XLSX.

6. Географічна основа у векторному форматі (шари областей, міст, кордону держави).

На рис. 18 наведено структурну схему методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними ДЗЗ.

Створення шарів карти. Більшість ГІС дозволяє розділяти інформацію на карті на логічні категорії, яка називається шарами. Шари містять інформацію тільки про один тип об'єктів (наприклад, тип ґрунту ділянок) або про невелику групу об'єктів (наприклад, комунальні транспортні магістралі). Шари

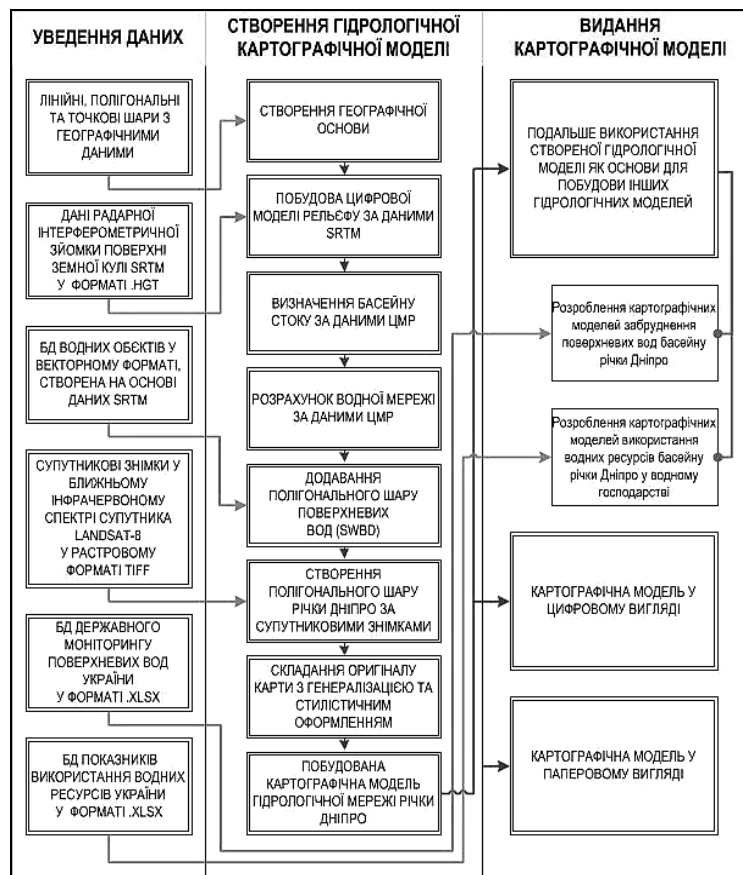


Рис. 18. Структурна схема методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними ДЗЗ

можна використовувати для створення композитних карт, поєднуючи їх зображення на дисплеї комп'ютера. При аналізі нових перекриттів створюються математичні комбіновані перекриття вже існуючих.

Комплексна карта водних ресурсів басейну річки Дніпро складається з шарів. Кожен шар містить різні види інформації — полігони, точки, лінії, тексти. Шари карти є структурними одиницями, з якими користувач працює в ArcGIS. Першим шаром завантажена географічна основа — лінійні шари державного кордону, полігональні шари областей та точкові шари міст України (рис. 19).



Рис. 19. Шари обласного поділу України

Наступний шар — шар рельєфу, створений для подальшої можливості визначення басейна річки Дніпро на основі раніше завантажених радіолокаційних даних SRTM (рис. 20).

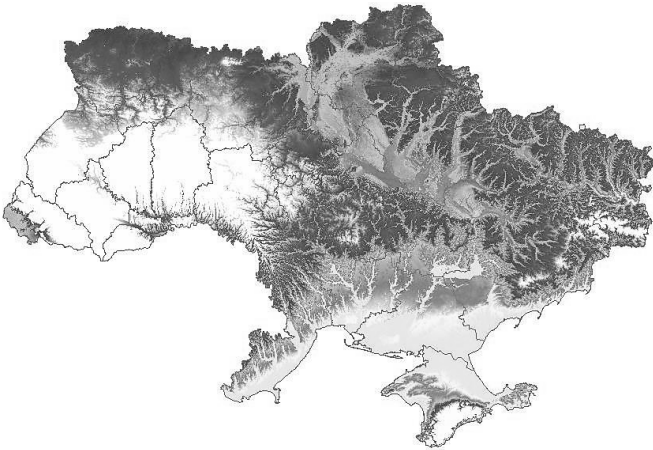


Рис. 20. Шар рельєфу України

Після утворення шару рельєфу за допомогою набору інструментів Spatial Analyst та його групи інструментів Hydrology створюється полігональний шар басейну річки Дніпро (рис. 21). Далі на базі створених шару рельєфу та шару басейна річки Дніпро отримуємо шар водної мережі річок басейну Дніпра (рис. 22). Далі додається набір географічних даних SWBD у вигляді полігональних шарів поверхневих водних об'єктів (рис. 23, 24).

Для створення векторного шару річки Дніпро використано супутникові знімки Landsat-8 та створено мозаїку знімків для подальшої роботи з ними (рис. 25).

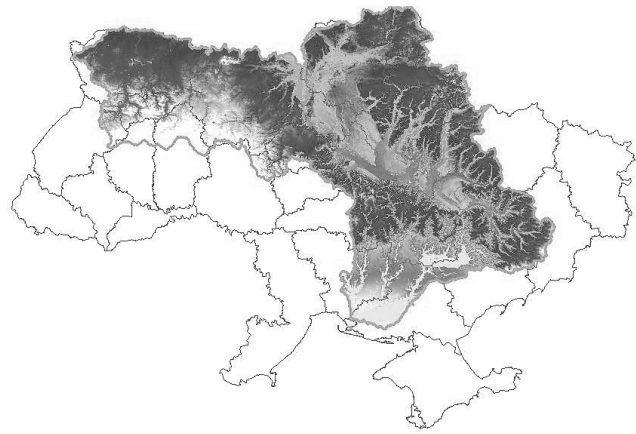


Рис. 21. Шар басейну річки Дніпро

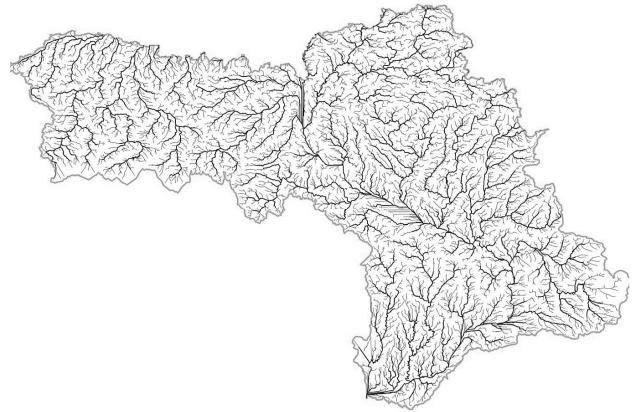


Рис. 22. Шар гідрологічної мережі річок басейну Дніпра

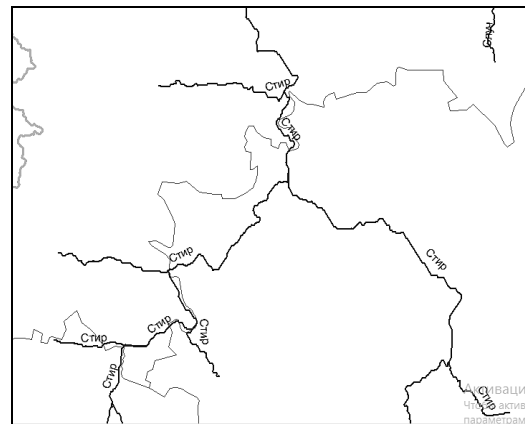


Рис. 23. Річкова мережа річки Стир басейну Дніпра

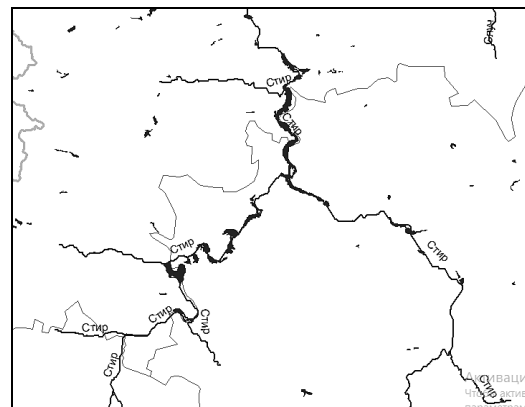


Рис. 24. Шар поверхневих вод басейну річки Стир басейну Дніпра

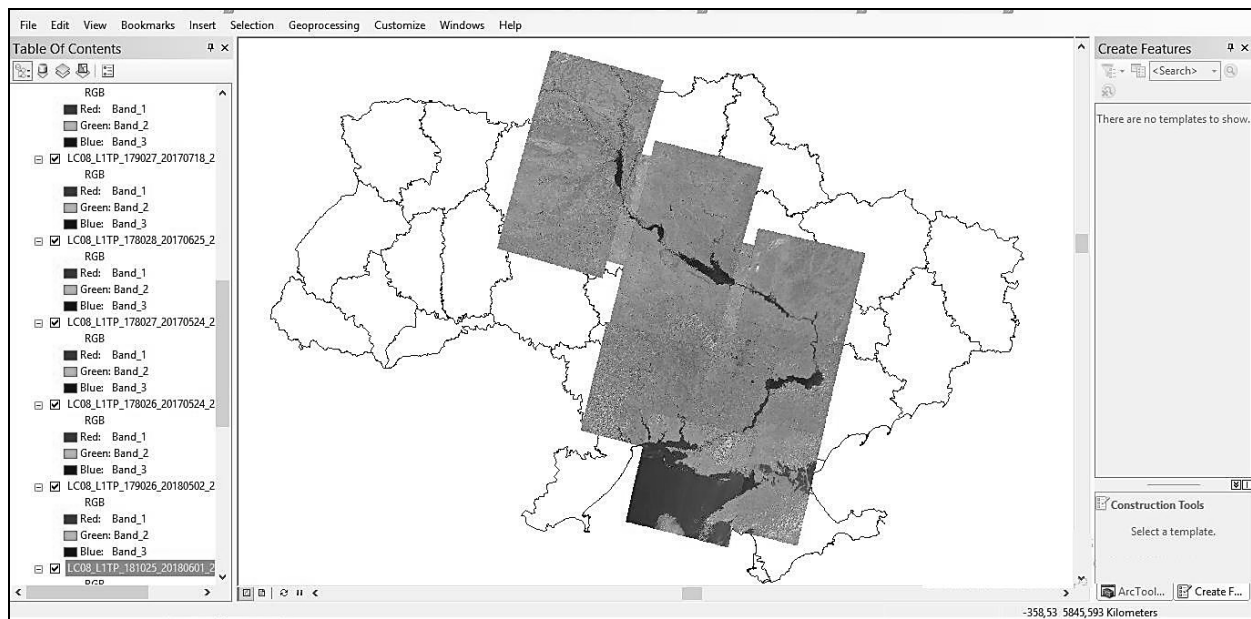


Рис. 25. Мозаїка супутникових знімків річки Дніпро (в середовищі ArcGIS)

На основі створеної мозаїки знімків побудовано полігональний шар русла річки Дніпро за допомогою набору інструментів Spatial Analyst та групи інструментів Multivariate (рис. 26).

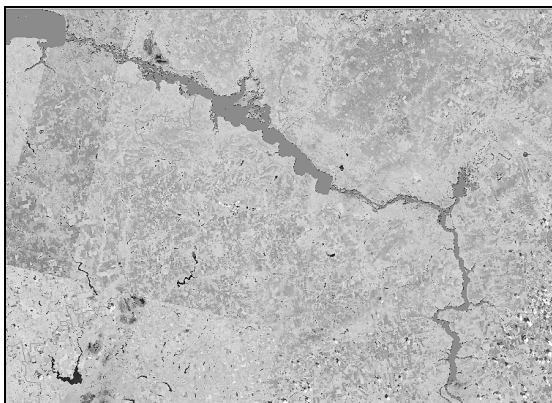


Рис. 26. Полігональний шар русла річки Дніпро, створений за супутниковими знімками

В результаті отримано базовий комплекс шарів гідрологічної мережі басейну річки Дніпро (рис. 27).

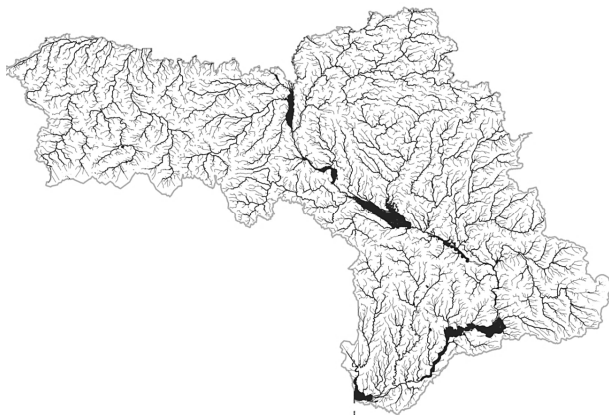


Рис. 27. Шар поверхневих вод басейну річки Дніпро

Наступним кроком є створення змісту карти, застосування комплексу умовних знаків, проведення

генералізації та стилістичного оформлення. В результаті створено картографічну модель гідрологічних ресурсів басейна річки Дніпро. Врешті, картографічна модель готова до видання (рис. 28).

Видання картографічної моделі. Взагалі, програмні засоби ГІС мають досить широкий набір засобів виведення з електронних картографічних моделей різноманітних даних, включаючи їх картографічну візуалізацію як найбільш технологічно складний вид підсумкової або проміжної документації. До документів, що зазвичай містять картографічні моделі, належать таблиці, картографічні та графічні матеріали. В даній роботі блок візуалізації даних у вигляді цифрових карт виступає в якості одного з основних елементів. Високоякісна картографічна графіка, яка імітує традиційні засоби картографічної мови та способи картографічного зображення за підтримки різноманітних пристроїв відображення, належить до числа обов'язкових засобів програмного забезпечення ГІС. Карта є моделлю дійсності і має гносеологічні властивості, такі як змістовна відповідність, абстрактність, просторово-часова подоба, вибірковість, синтетичність тощо.

Цифрова карта дозволяє більш повно аналізувати наявні дані, отримувати нову інформацію з певними властивостями. Вона містить не тільки картографічні дані про просторові об'єкти, але й описову інформацію (атрибути). Також цифрова карта має ряд можливостей для подальшого використання при створенні інших картографічних моделей (рис. 28).

Висновки

На підставі проведеного аналізу класифікації географічних карт за змістом, масштабом та просторовим охопленням визначено місце гідрологічних карт вод суші в загальній класифікації карт. Проведено детальний аналіз різновидів гідрологічних карт і карт водного господарства з урахуванням призначення і складових гідрологічної науки, методів отримання та обробки гідрологічних даних.

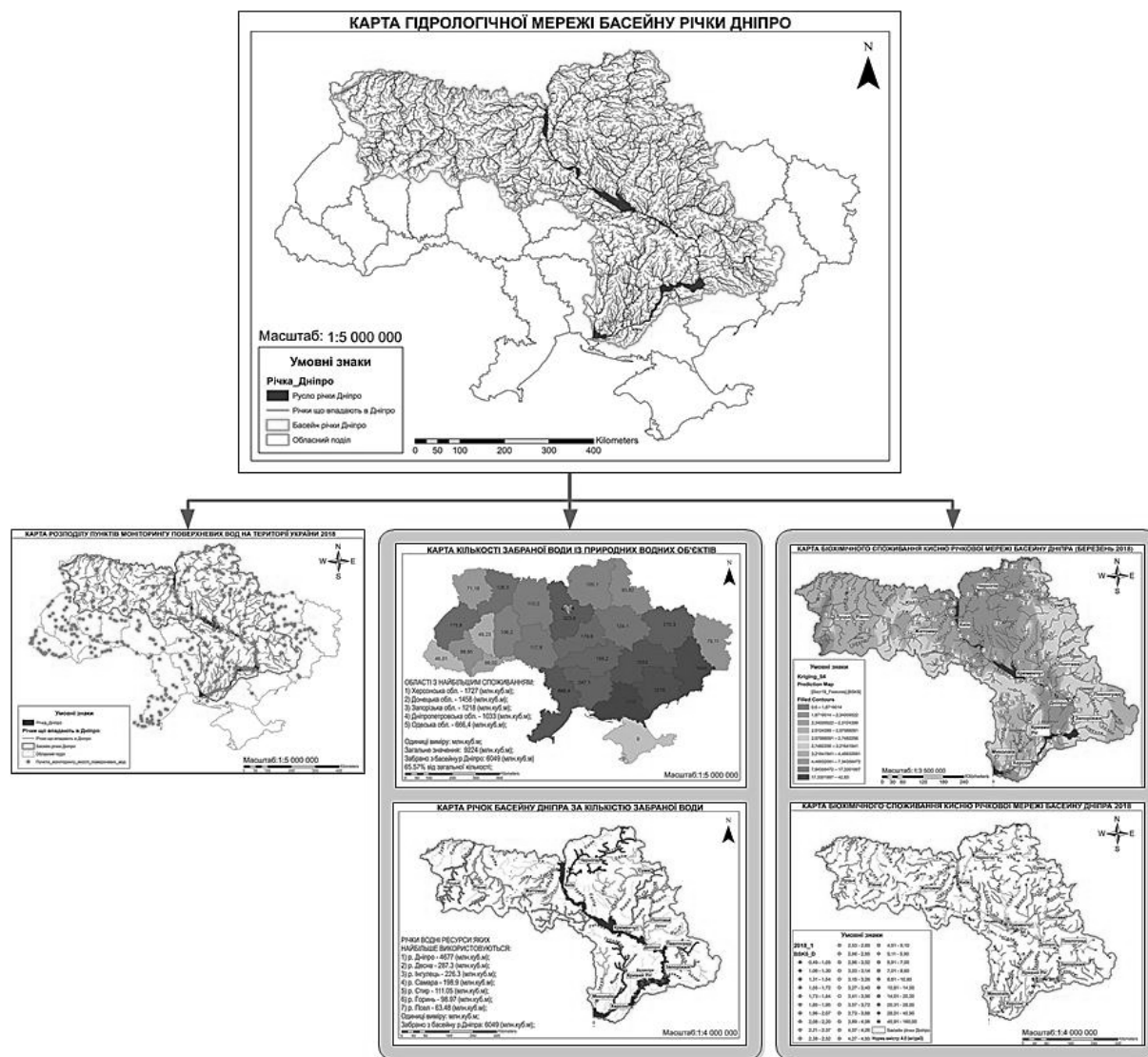


Рис. 28. Схема подальшого використання створеної гідрологічної картографічної моделі басейну річкової мережі Дніпра

Проаналізовано основні завдання водного господарства як області діяльності, що має забезпечувати управління раціональним використанням водних ресурсів, а також завдання картографування водного господарства і класифікацію відповідних карт. Розглянуто господарський та екологічний аспекти картографування вод.

Проведено аналіз існуючих досліджень використання технологій геоінформаційних системи у гідрології та розробці гідрологічних карт, у тому числі розглянуто дослідницькі досягнення України в даній галузі. Разом з тим, проведено аналіз сучасних параметрів та стану річки Дніпро як прикладу предметного дослідження.

Все зазначене забезпечує актуальність і методологічні основи для розроблення методики побудови гідрологічних картографічних моделей за даними дистанційного зондування Землі.

В процесі розроблення вказаної методики детально проаналізовано джерела даних для побудови

картографічних моделей, а також етапи створення карт — від редакційно-підготовчого до етапів введення та обробки даних і завершального етапу видання карти. Запропоновану методику в подробицях описано структурно й покроково, що надає користувачеві повне уявлення щодо необхідних до виконання процедур, ресурсів вхідних даних та відповідного програмного забезпечення для отримання будь-якої гідрологічної картографічної моделі із заданими параметрами і тематичним наповненням. Отримані із використанням запропонованої методики електронні гідрологічні картографічні моделі забезпечують на вимогу користувача видання за допомогою програмного пакету ArcGIS баз даних, графічних, картографічних та інших матеріалів, що стосуються заданого об'єкту водного господарства. Таким чином, природозахисні заклади матимуть актуалізовані із завданню регулярністю тематичні гідрологічні карти, що відображають стан прісноводних природних ресурсів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреев С. М., Жилин В. А., Мельник А. П. Застосування анаморфозних картографічних моделей для аналізу геоданих. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 3. С. 5-16. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.01>.

2. Андреев С. М., Жилин В. А. Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості. Системи управління, навігації та зв'язку: Полтава: Полтавський НТУ ім. Юрія Кондратюка, 2019. Вип. 1(53). С. 3-16. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.1.003>.
3. Андреев С. М., Жилин В. А. Геоінформаційна система підтримки прийняття рішень на базі сховища просторових даних геопорталу. *Сучасні інформаційні системи*. 2020. Т. 4, № 2. С. 60-79. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.11>.
4. Де Мерс, Майкл Н. Географічні інформаційні системи. Основи. Дата +, Москва, 1999, 506 с.
5. Чалов Р. С. Принципы и методические подходы к подготовке карт гидрологической изученности речных бассейнов с помощью ГИС-технологии. *Тр. Академии проблем водохозяйственных наук*. М.: МГУ, 2003. Вып. 9. С. 44-54.
6. Шихов А. Н., Черепанова Е. С., Пономарчук А. И. Геоинформационные системы: применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач: практикум. Пермь, ПГНИУ, 2014. 91 с.
7. Методические указания по формализации качественной оценки вод по гидрохимическим показателям. Москва: Гидромет, 1985.
8. Чалов Р. С. О применении ГИС-технологий для расчета гидрографических характеристик. *Результаты исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды*. СПб.: Гидрометеоздат, 2002. С. 150-151.
9. Введение в ArcGIS Geostatistical Analyst Extension. 2019. URL: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/guide-books/extensions/geostatistical-analyst/what-is-geostatistics-.htm>.
10. Офіційний сайт Міністерства екології та природних ресурсів України. URL: <http://www.menr.gov.ua>.
11. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
12. Карти водного господарства. URL: <https://bookonlime.ru/lecture/glava-15-karty-vodnogo-hozyaystva>.
13. Определение гидрологических характеристик водных объектов и земной поверхности на которой они размещены с использованием ГИС-технологий. URL: http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=34&table=news.
14. Обзор группы инструментов Гидрология (Hydrology). URL: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm>.
15. Чиста вода. URL: <http://texty.org.ua/water>.
16. Типы загрязнения воды и их последствия. URL: <https://www.akvantis.com.ua/stati-i-obzory/typy-zagryazneniya-vody-i-ih-posledstviya>.

REFERENCES

1. Andrieiev, S.M., Zhilin, V.A. and Melnyk, A.P. (2019), "The use of anamorphosis cartographic models for geodata analysis", *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No. 3, pp. 5-16, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.01>.
2. Andreev, S. and Zhilin, V. (2019), "Application of aerophotic data with unmanned aircraft for developing 3D models of terrain", *Control, navigation and communication systems*, No. 1(53), pp. 3-16, DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.1.003>.
3. Andrieiev, S.M. and Zhilin, V.A. (2020), "Geoinformation system of decision support based on the geoportal spatial data storage", *Advanced Information Systems*, Vol. 4, No. 2, pp. 60-79, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.11>.
4. De Mers and Michael, N. (1999), *Geographic information systems. Foundations*, Date +, Moscow, 506 p.
5. Chalov, R.S. (2003), "Principles and methodological approaches to the preparation of maps of hydrological study of river basins using GIS technology", *Coll. Academy of Problems of Water Management Sciences*, MSU, Moscow, Vol. 9, pp. 44-54.
6. Shikhov, A.N., Cherepanova, E.S. and Ponomarchuk, A.I. (2014), *Geoinformation systems: the use of GIS technologies in solving hydrological problems, a workshop, textbook. manual*, Perm, 91 p.
7. (1985), *Methodical instructions on formalization of qualitative assessment of waters on hydrochemical indicators*, Hydromet, Moscow.
8. Chalov R.S. (2002), "On the application of GIS technologies for the calculation of hydrographic characteristics", *Sc. conf. on the results of research in the field of hydrometeorology and pollution monitoring*, Hydrometeoizdat, St.P., pp. 150-151.
9. Introduction to ArcGIS Geostatistical Analyst Extension, available at: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/guide-books/extensions/geostatistical-analyst/what-is-geostatistics-.htm>.
10. Official site of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, available at: <http://www.menr.gov.ua>.
11. State Statistics Service of Ukraine, available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
12. Water management maps, available at: <https://bookonlime.ru/lecture/glava-15-karty-vodnogo-hozyaystva>.
13. Determination of hydrological characteristics of water bodies and the earth's surface on which they are located using GIS technologies, available at: http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=34&table=news.
14. Overview of the Hydrology toolkit, available at: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm>.
15. Clean water, available at: <http://texty.org.ua/water>.
16. Types of water pollution and their consequences, available at: <https://www.akvantis.com.ua/stati-i-obzory/typy-zagryazneniya-vody-i-ih-posledstviya>.

Received (Надійшла) 20.05.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 01.07.2020

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Андреев Сергей Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;
Sergey Andrieiev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Geoinformation Technologies and Space Monitoring of the Earth Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine;
 e-mail: AndreevSM@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4256-2637>

Жилин Владимир Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;

Volodymyr Zhilin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Geoinformation Technologies and Space Monitoring of the Earth Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: v.zhilin@khai.edu; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7342-3456>

Методика построения гидрологических картографических моделей по данным дистанционного зондирования Земли

С. М. Андреев, В. А. Жилин

Аннотация. Предметом исследования является разработка методики построения гидрологических картографических моделей по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Объектом исследования является процесс непрерывного обеспечения природоохранных учреждений государства тематическими гидрологическими картами, которые постоянно актуализируются и отражают текущее состояние пресноводных природных ресурсов. Целью работы является повышение информативности, оперативности и достоверности статистического и прогнозного анализа геоданных ДЗЗ о состоянии пресноводных природных ресурсов за счет непрерывной актуализации их картографических моделей. **Выводы.** На основании проведенного анализа классификации географических карт по содержанию, масштабу и пространственному охвату определено место гидрологических карт вод суши в общей классификации карт. Проведен детальный анализ разновидностей гидрологических карт и карт водного хозяйства с учетом назначения и составляющих гидрологической науки, методов получения и обработки гидрологических данных. Проанализированы основные задачи водного хозяйства как области деятельности, которая должна обеспечивать управление рациональным использованием водных ресурсов, а также задачи картографирования водного хозяйства и классификация соответствующих карт. Рассмотрены хозяйственный и экологический аспекты картографирования вод. Проведен анализ существующих исследований использования технологий геоинформационных систем в гидрологии и разработке гидрологических карт, в том числе рассмотрены исследовательские достижения Украины в данной отрасли. Вместе с тем, проведен анализ современных параметров и состояния реки Днепр как примера предметного исследования. Все указанное обеспечивает актуальность и методологические основы для разработки методики построения гидрологических картографических моделей по данным дистанционного зондирования Земли. В процессе разработки указанной методики подробно проанализированы источники данных для построения картографических моделей, а также этапы создания карт — от редакционно-подготовительного к этапам ввода и обработки данных и завершающего этапа издания карты. Предложенная методика подробно описана структурно и пошагово, что предоставляет пользователю полное представление о необходимых к выполнению процедур, ресурсов входных данных и соответствующего программного обеспечения для получения любой гидрологической картографической модели с заданными параметрами и тематическим наполнением. Полученные с использованием предложенной методики электронные гидрологические картографические модели обеспечивают по требованию пользователя издание с помощью программного пакета ArcGIS баз данных, графических, картографических и других материалов, касающихся определенного объекта водного хозяйства. Таким образом, природоохранные учреждения будут иметь возможность получать актуализированные с заданной регулярностью тематические гидрологические карты, отражающие состояние пресноводных природных ресурсов.

Ключевые слова: водные ресурсы; гидрологические картографические модели; дистанционное зондирование Земли; технологии ГИС.

Methods of construction of hydrological cartographic models according to remote sensing of the Earth data

Sergey Andrieiev, Volodymyr Zhilin

Abstract. The subject of the study is the development of methods for constructing hydrological cartographic models based on remote sensing of the Earth (RSE). The object of the study is the process of continuous provision of nature protection institutions of the state with thematic hydrological maps, which are constantly updated and reflect the current state of freshwater natural resources. The aim of the work is to increase the informativeness, efficiency and reliability of statistical and forecast analysis of remote sensing geodata on the state of freshwater natural resources through continuous updating of their cartographic models. **Conclusions.** Based on the analysis of the classification of geographical maps by content, scale and spatial coverage, the place of hydrological maps of inland waters in the general classification of maps was determined. A detailed analysis of the types of hydrological maps and water management maps, taking into account the purpose and components of hydrological science, methods of obtaining and processing hydrological data. The main tasks of water management as an area of activity that should ensure the management of rational use of water resources, as well as the task of mapping water management and classification of relevant maps are analyzed. The economic and ecological aspects of water mapping are considered. The analysis of existing researches about the geoinformation technologies usage in hydrology and development of hydrological maps is carried out, including research achievements of Ukraine in this branch. At the same time, the analysis of modern parameters and condition of the Dnieper river as an example of subject research is carried out. Aspects mentioned above provide relevance and methodological basis for the development of methods for constructing hydrological cartographic models according to remote sensing of the Earth. In the process of developing this methodology, data sources for the construction of cartographic models are analyzed in detail, as well as the stages of maps creating process - from editorial and preparatory to the stages of data entry and processing and the final stage of map publication. The proposed method is described in detail structurally and step by step, which gives the user a complete picture of the necessary procedures, input resources and appropriate software to obtain any hydrological cartographic model with the specified parameters and thematic content. The obtained by using the proposed technique electronic hydrological cartographic models provide, at the request of the user of the publication, with the help of the ArcGIS software package the export of created databases, graphic, cartographic and other materials related to a certain water management facility. Thus, nature protection institutions will have thematic hydrological maps updated with a given regularity, reflecting the state of freshwater natural resources.

Keywords: water resources; hydrological cartographic models; remote sensing of the Earth; GIS technologies.