



Національний університет
водного господарства та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Навчально-науковий інститут водного господарства та природооблаштування
Кафедра гідроінформатики

01-02-163

Методичні вказівки

до лабораторних робіт та самостійної роботи з навчальної дисципліни
«Основи гідроінформатики» для здобувачів вищої освіти першого
(бакалаврського) рівня за спеціальністю
194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною
комісією зі спеціальності 194
«Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології»
протокол № 4 від 26.02.2019 р.

Рівне – 2019



Національний університет

Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Основи гідроінформатики» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» денної та заочної форми навчання / Новачок О. М. – Рівне : НУВГП, 2019. – 32 с.

Укладач: Новачок О. М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри гідро інформатики.

Відповідальний за випуск: Клімов С. В., кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри гідро інформатики.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

©Новачок О. М., 2019
©НУВГП, 2019



1. Загальні вказівки.....	3
1.1. Загальні рекомендації до вивчення дисципліни.....	3
1.2. Мета та завдання навчальної дисципліни.....	4
1.3. Рекомендована література	4
2. Методичні рекомендації до виконання лабораторних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни	6
Тема 1. Основні поняття гідроінформатики.....	6
Тема 2. Програмне забезпечення для обчислювальної гідродинаміки Computational fluid dynamics (CFD).....	9
Тема 3. Програмне забезпечення для аналізу річкових систем	13
Тема 4. Програмне забезпечення для гідрологічного моделювання систем ..	16
Тема 5. Геоінформаційні системи (ГІС).....	18
Тема 6. Векторний і растровий формати даних	22
Тема 7. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ).....	23
Тема 8. Система підтримки аналізу географічних ресурсів - Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS)	28
Тема 9. R - мова програмування і програмне середовище для статистичних обчислень, аналізу та представлення даних в графічному вигляді	30



1. Загальні вказівки

1.1. Загальні рекомендації до вивчення дисципліни

Дисципліна «Основи гідроінформатики» відповідно до освітньої програми спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» відноситься до дисциплін фахової підготовки.

Гідроінформатика - це дисципліна та технологія, що стосується використання досягнень у галузі інформаційно-комунікаційних технологій, комп'ютерних наук та обчислювального інтелекту для вирішення проблем водного середовища. Вона розглядає ланцюжок: дані-моделі-рішення-люди, використовує системний підхід і прагне визначити оптимальні рішення у контексті різноманітних зацікавлених сторін. Математичне комп'ютерне моделювання є основою підходу гідроінформатики. Завдяки універсальності підходу сфера застосування гідроінформатики дуже широка: річкові басейни, управління водними ресурсами, управління підземними водами, управління ризиками повені, оптимізація пласта, управління прибережними системами, системи навколишнього середовища, міські системи водопостачання та ін. Перша у світі магістерська програма з Гідроінформатики розпочалася в 1990 році в Інституті водної освіти Делфта (Нідерланди) (IHE Delft Institute for Water Education) (раніше UNESCO-IHE).



1.2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є оволодіння студентами сучасними методами та засобами прийняття інженерних рішень у водогосподарській галузі на засадах математичного моделювання та комп'ютерних технологій; формування у студентів за допомогою математичних моделей та комп'ютерних технологій системного, аналітичного мислення для оцінки ситуацій, що виникають.

Основним завданням вивчення дисципліни «Основи гідроінформатики» є:

- ознайомлення студентів з можливостями сучасного математичного апарату та інформаційних (комп'ютерних) засобів з метою використання їх у водогосподарській галузі;
- розкриття можливості сучасного апаратного та програмного забезпечення для вирішення водогосподарських проблем;
- розкриття можливостей ефективного застосування інформаційних технологій в інженерній діяльності у водогосподарській галузі.

Після вивчення дисципліни студенти повинні **знати**:

- основні терміни інформаційних технологій;
- основні поняття та види геоінформаційних систем та технологій;
- суть векторного і растрового формату даних, їх відмінність і сфери застосування;
- основні поняття дистанційного зондування Землі;
- основні поняття штучних нейронних мереж;
- основне програмне забезпечення для управління водними ресурсами, виконання гідравлічних та гідрологічних розрахунків;
- види програмного забезпечення для обчислювальної гідродинаміки;

Після вивчення дисципліни студенти повинні **вміти**:

- використовувати геоінформаційні системи, джерела публічної інформації, спеціалізоване програмне забезпечення для вирішення водогосподарських проблем.

1.3. Рекомендована література

Базова

1. Abrahart, Robert J., Linda M. See, Dimitri P. Solomatine, eds. Practical hydroinformatics: computational intelligence and technological developments in water applications. Vol. 68. Springer Science & Business Media, 2008. 495 p.
2. Bates, Paul D., Stuart N. Lane, and Robert I. Ferguson, eds. Computational fluid dynamics: applications in environmental hydraulics. John Wiley & Sons, 2005. 532 p.



3. QGIS: Becoming a GIS Power User. Packt Publishing. 2017. 797 p.
4. Наглядная статистика. Используем R! А. Б. Шипунов, Е. М. Балдин, П. А. Волкова и др. 2014. 296 с.
URL: <https://cran.r-project.org/doc/contrib/Shipunov-rbook.pdf>
5. ggplot2 Elegant Graphics for Data Analysis. Hadley Wickham. Springer: 2016. 268 p.
6. Vojinovic, Zoran, Michael V. Abbott. "Twenty-Five Years of Hydroinformatics." (2017): 59 p.
7. Самойленко В.М. Географічні інформаційні системи та технології: підручник. К. : Ніка-Центр, 2010. 448 с.
8. Білик В. М., Костирко В. С. Інформаційні технології та системи : навч. посіб. Київ: ЦНІ, 2006. 232 с.

Допоміжна

9. Сергеев В. И., Григорьев М. Н., Уваров, С. А. Логистика. Информационные системы и технологии. Альфа-Пресс. 2008. 608с
10. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Информационные технологии: учеб. для вузов. М. : «Высшая школа». 2006. 263с.
11. Избачков Ю. С, Петров В. Н. Информационные системы : учебник для вузов. СПб: Питер. 2006. 656 с.

Інформаційні ресурси

12. Сайт розробників програмного забезпечення вільної геоінформаційної системи QGIS та документація до неї.
URL: <http://www.qgis.org/uk/docs/index.html>
13. Сайт розробників програмного забезпечення для управління водними ресурсами та документація до нього.
URL: <http://www.hec.usace.army.mil/>
14. Європейський інформаційний сайт з гідроінформатики.
URL: <http://www.hydroinformatics.org/index.php>
15. Сайт розробників мови програмування R, програмного середовища для статистичних обчислень, аналізу та представлення даних в графічному вигляді. URL: <https://cran.r-project.org/>
16. Сайт розробників програмного забезпечення для обчислювальної гідродинаміки з відкритим вихідним кодом Open source Field Operation And Manipulation (OpenFOAM) URL: <http://openfoam.org/>
17. Сайт розробників пропріетарного програмного забезпечення для обчислювальної гідродинаміки
URL: <http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Fluent>
18. Сайт розробників системи підтримки аналізу географічних ресурсів - Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS)
URL: <https://grass.osgeo.org/>
19. Сайт Державного агентства водних ресурсів України.
URL: <http://www.scwm.gov.ua/>



2. Методичні рекомендації до виконання лабораторних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни

Тема 1. Основні поняття гідроінформатики

Глобальний водний цикл - складний процес, який включає в себе фізичні, біогеохімічні, екологічні та штучні системи.

Фізична система складається з водою і шляхів проходження потоку води через фізичне середовище Землі, включаючи океани, атмосферу, озера, річки, ґрунти, водоносні шари... Багато процесів, пов'язані з рухом води (випаровування, транспірація, опади, річковий стік, потік ґрунтових вод, наноси).

Біогеохімічна система складається з хімічних компонентів води і перетворення в ній. До них відносяться цикли поживних речовин (наприклад, азоту і фосфору), цикл вуглецю, забруднюючі речовини та інші хімічні речовини, такі як пестициди, гормони...

Екологічна система складається з життєвих циклів організмів, які залежать від місця їх проживання, вегетації, впливу гідрологічної мінливості на функціонування наземних і водних екосистем.

Штучні системи включають інженерні роботи, їх вплив на потоки води, її хімічний склад, наноси, використання водних ресурсів та управління водними ресурсами.

Складність розуміння і прогнозування цих систем - величезна. Вона вимагає виявлення основних взаємозв'язків і зворотного зв'язку між ними. Важливим кроком у цьому напрямку є перехід від традиційного лабораторного підходу до натурних досліджень.

Лабораторний підхід полягає у вивченні процесів, що відбуваються в контрольованому середовищі лабораторії.

Натурні дослідження передбачають розгортання систем спостереження в природному середовищі. Проблеми, пов'язані з кожним з цих підходів - різні.

У традиційних лабораторних умовах дуже складно, якщо не неможливо, повністю відтворити складність процесів. У природному середовищі дуже важко ідентифікувати і спостерігати всі змінні, які призводять до складності природної системи. Натурні дослідження стають все більш поширеними, і багато нових систем спостереження в даний час розгорнуті по всій земній кулі. Ці системи забезпечують довгостроковий моніторинг або підтримують інтенсивні польові кампанії в короткі проміжки часу.

Дистанційне зондування з супутника, літака або датчиків наземного базування стає все більш цінним інструментом, а обсяг даних, отриманих таким чином, дуже великий.

Наприклад, кожен день супутники Terra і Aqua розгорнуті НАСА (Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору) збирають кілька терабайт даних, пов'язаних з безліччю змінних атмосфери і поверхні суші Землі. Ці дані в даний час потрапляють в моделі, які потім забезпе-



Цей процес збору даних і числового прогнозу моделей забезпечує величезні можливості для розробки і тестування нових гіпотез щодо динамічної поведінки водного циклу, взаємозв'язку між різними системами, що впливають на водний цикл.

Оскільки обсяг даних зростає, з'являються проблеми ефективного використання даних пов'язані зі зберіганням, пошуком, комунікацією, візуалізацією і виявленням знань. Крім того, наше наукове бачення ускладнене через використання розрізаних і обмежених наборів даних. Значення даних, як правило, ґрунтуються на нашій здатності отримувати з них більш високий рівень інформації: корисну інформацію - для кращого розуміння явищ, а також для соціально - економічного ефекту.

Так як обсяг і розмірність (число змінних) даних зростає, важливо розвивати і використовувати технології, які підтримують їх ефективно використання. Інакше вартість самих даних зменшується, а інвестиції втрачаються.

В останні роки були розроблені технології, які забезпечують нові способи обробки даних, і мають потенціал, щоб змінити спосіб, яким ми проводимо наукові дослідження, отже, забезпечення кращого моделювання і прогнозування підтримки на благо суспільства.

Великі дані популярні в галузі інформаційних технологій, торгівлі та біоінформатиці, ще знаходяться на ранній стадії в гідроінформатиці. Великі дані походять від надзвичайно великих масивів даних, які не можуть бути оброблені за допустимий час традиційними методами обробки даних. Використовуючи аналогію з об'єктно-орієнтованого програмування, великі дані слід розглядати в якості об'єктів, що охоплюють дані, їх характеристики і методи обробки. Гідроінформатика може отримати вигоду з технології великих даних, методів і аналітичних інструментів для обробки великих масивів даних, з яких можна було б здобути творчі ідеї і нові цінності.

Дослідження великих обсягів даних по опадах є важливою частиною гідрології для управління повеннями і посухами, а також розуміння глобального водного циклу. Об'єднання даних дистанційного зондування, метеорологічних радіолокаторів, дощомірів і числового моделювання погоди може бути досягнуто за рахунок паралельних обчислень і розподілених систем зберігання даних.

Гідроінформатика включає в себе: розробку теорій, методик, алгоритмів і інструментів; методи тестування концепцій, їх аналіз та верифікацію; встановлення взаємозв'язків, які відносяться до ефективного використання даних для характеристики водного циклу за допомогою різних систем.

Це породжує питання, пов'язані з отриманням даних, архівування, пошуку, комунікації, візуалізації і використання їх у моделюванні знань.



У цьому контексті гідроінформатика є прикладною наукою. Вона знаходиться на перетині гідрології, комп'ютерної науки і техніки, інформатики, географічних інформаційних систем...

Її область застосування широка і включає в себе гідрологію міст, річкових басейнів, гідрологію та гідрокліматологію.

Гідроінформатика ґрунтується на розробках в декількох суміжних дисциплінах - інформатики, комп'ютерних мереж, баз даних і гідрологічної науки.

Таким чином, основні принципи гідроінформатики різногалузеві, що робить їх складними для початківців.

Архітектура програмного забезпечення представлена через «Unified Modeling Language» або UML. UML є графічною мовою для візуалізації, конструювання та документування артефактів інтенсивної програмної системи. Це забезпечує стандартний спосіб представлення концептуальних об'єктів, таких як процеси і функції, а також класів, схем і програмних компонентів. Вступ до UML дозволить читачеві зрозуміти і створити UML - діаграми, які все частіше використовуються в таких областях, як географічні інформаційні системи (ГІС). Це розуміння також необхідно, щоб повністю зрозуміти деякі з останніх глав.

Концепція розвитку **цифрових бібліотек** для публікації даних. Хоча результати досліджень добре архівуються в журнальних публікаціях, дані, на яких засновані ці результати часто не доступні для спільноти в цілому. Це обмежує можливості для перевірки даних, результатів і їх висновки. Концепція цифрової бібліотеки спрямована на подолання цього розриву, забезпечуючи кращий шлях для публікації даних і пов'язаних з ними результатів. Інформація про дані, часто згадується як метадані, дуже важлива для отримання корисних даних. Вона містить інформацію про те, де були зібрані дані, які інструменти були використані для їх характеристики, які помилки, пов'язані з вимірами, які змінні були виміряні і т.д. Метадані також можуть бути пов'язані з результатами числового моделювання для того, щоб описати проблему, домени, змінні, тимчасові рамки і т.д. При пошуку певного набору даних, ми часто шукаємо метадані для ідентифікації відповідних даних. Метадані є важливим компонентом технології цифрової бібліотеки.

Оскільки нові дані доступні (часто в іншому форматі, ніж старі дані) об'єднання даних і подальший аналіз стає складним завданням. Для полегшення проведення таких операцій, нові моделі для представлення гідрологічних даних недавно були розроблені з використанням парадигми об'єктно-орієнтованого проектування баз геоданих.

Arc Hydro - це модель даних, яка стає популярною серед гідрологічної спільноти поверхневих вод, так як вона об'єднує кілька типів даних в загальні рамки.

Modelshed побудована на Arc Hydro і забезпечує інтеграцію дистанційного зондування і даних трьохмірних моделей поверхневих вод. Кругообіг води об'єднує широкий спектр процесів, таким чином, дані, пов'язані з цими про-

цесами поставляються в різних форматах. Ефективна концептуальна основа для інтеграції і управління такими даними необхідна для архівування і передачі з однієї системи в іншу. Ієрархічний формат даних (**HDF**) став популярним і ефективним уявленням для таких цілей.

XML (Extended Markup Language) став машино незалежним способом спільного використання даних в гетерогенних обчислювальних платформах. Цей протокол підвищує нашу здатність керувати різними форматами даних, розподілених по гетерогенній колекції систем (наприклад, Windows, Linux і т.д.), отже, дозволяє нам використовувати обчислювальні ресурси і дані, які розміщені в розподіленій мережі. Здатність прозоро управляти і спілкуватися між цими розподіленими ресурсами призвело до розвитку "розподілених обчислень". Ця нова технологія дозволяє новий і потужний засіб для досягнення високого класу обчислень з використанням розмірів даних і обчислювальної швидкості раніше неймовірних. Це привносить в життя концепцію "**мережі це комп'ютер**".

Soft Computing - аналітичні концепції, використовувані в гідроінформації.

Інтелектуальний статистичний аналіз даних використовуються для автоматичного вилучення інформації з великих масивів багатовимірних даних. Дана технологія стає все більш доступною за допомогою різних програмних пакетів.

Нейромережевий підхід до прогнозного моделювання особливо корисний, коли існує велика невизначеність щодо знання про фізику системи, але існує необхідність для достовірного передбачення.

Генетичні алгоритми - інструмент оптимізації, який використовується в широкому спектрі додатків.

Fuzzy Logic - можливість включати невизначену і суб'єктивну інформацію в аналізі.

Література: 1, 6, 7, 8, 14, 19.

Тема 2. Програмне забезпечення для обчислювальної гідродинаміки Computational fluid dynamics (CFD)

Обчислювальна гідродинаміка (англ. Computational fluid dynamics, CFD) - розділ механіки суцільних середовищ, що включає сукупність фізичних, математичних і чисельних методів, призначених для обчислення характеристик потокових процесів. Іронічний аналог «різнобарвна гідродинаміка» (англ. Colorful fluid dynamics) присвоєно технології в зв'язку з широкими можливостями візуалізації розрахункових даних.

Основні принципи

Основою будь-якого дослідження в галузі обчислювальної гідродинаміки є формулювання основних рівнянь гідро- або газодинаміки потоків, а саме:

- рівняння нерозривності;
- рівняння збереження імпульсу;



- рівняння збереження енергії;
- рівняння стану (для газів).

Рівняння збереження імпульсу може мати різний вигляд в залежності від наявності або відсутності тертя. Рівняння Нав'є - Стокса застосовується для потоків при наявності тертя, а рівняння Ейлера - для потоків без тертя. Залежно від умов завдання, середовище може розглядатися, як таке що стискується, або таке що не стискується. В останньому випадку рівняння значно спрощуються.

Вищеназвані рівняння описують модель течії середовища. Залежно від особливостей розв'язуваної задачі модель може бути доповнена рівняннями для врахування турбулентності, перенесення речовини, хімічних реакцій, багатофазності, електромагнітних взаємодій тощо.

З вищезгаданих рівнянь складається система нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Система має аналітичне рішення лише в дуже простих випадках, коли число Рейнольдса для завдання мале, а геометрія проста.

Для широкого спектра природних і технологічних процесів задачу можна вирішити чисельно в тому випадку, якщо похідні, які стоять в рівняннях, замінити на кінцеві різниці, створені на малих просторових і часових інтервалах. У разі моделювання реального процесу проводиться так звана дискретизація простору і часу, таким чином, що геометрія процесу розбивається на розрахункові осередки, обрані особливим чином, а час процесу - на розрахункові тимчасові інтервали.

Існують різні методи вирішення системи рівнянь, наприклад: метод кінцевих різниць; метод кінцевих обсягів; метод кінцевих елементів; метод згладжених частинок; метод з використанням функції розподілу ймовірності.

Процес розв'язку

Для вирішення завдань обчислювальної гідродинаміки спеціальне програмне забезпечення послідовно виконує дії, розділені на наступні етапи:

- підготовчий етап. На даному етапі формується геометрія моделі, формулюються необхідні фізичні умови, геометрія дискретизується, задаються початкові і граничні умови диференціальних рівнянь;
- розрахунок. На даному етапі машина, підкоряючись заданим алгоритмом, чисельно вирішує основні рівняння з точки зору фундаментальних фізичних параметрів (швидкість, тиск, щільність, температура...), а також записує результати розв'язку в пам'ять;
- аналіз. Результати розв'язку відображаються у вигляді графіків, таблиць, а також контурних і / або векторних схем, прив'язаних до вихідної геометрії.

ANSYS, Inc. зі штаб-квартирою в м. Сечіл, штат Пенсільванія, США, розробляє програми інженерного аналізу з цілого ряду дисциплін, включаючи аналіз методом кінцевих елементів, структурний аналіз, обчислювальної гідродинаміки, явні і неявні методи, і передачу тепла. **ANSYS Fluent, CFD, CFX**, і відповідне програмне забезпечення **Computational Fluid Dynamics**, що використовуються інженерами для проектування і аналізу, можуть моделювати

потоки рідини в віртуальному середовищі - наприклад, гідродинаміка корпусів суден, газотурбінні двигуни (включаючи компресори, камери згоряння, турбіни і форсаж), аеродинаміка літаків, насоси, вентилятори...

OpenFOAM (англ. Open Source Field Operation And Manipulation CFD ToolBox) - відкрита інтегрована платформа для чисельного моделювання задач механіки суцільних середовищ. OpenFOAM - вільно поширюваний інструментарій обчислювальної гідродинаміки для операцій з полями (скалярними, векторними і тензорними). На сьогодні є одним з «закінчених» і відомих додатків, призначених для FVM -Обчислення.

Код OpenFOAM, почав розроблятися у Великобританії компанією OpenCFD, Limited, в даний час підтримується і розвивається зусиллями некомерційної організації The OpenFOAM Foundation, засновниками якої є Henry Weller (засновник вихідного коду FOAM), Chris Greenshields і Cristel de Rouvray. Свою назву та ідеологію побудови код бере від попередника FOAM (Field Operation And Manipulation).

Спочатку програма призначалася для розрахунків на міцність, але в результаті багаторічного академічного і промислового розвитку на сьогоднішній момент дозволяє вирішувати безліч різних завдань механіки суцільних середовищ (не обмежуючи нею), зокрема:

- розрахунки на міцність;
- гідродинаміка ньютонівських і не ньютонівських в'язких рідин як в нестисливому, так і в стисливому наближенні з урахуванням конвективного теплообміну і дією сил гравітації. Для моделювання турбулентних течій можливе використання RANS -моделей, LES - і DNS-методів. Можливо вирішення дозвукових, навіколздукових і надзвукових завдань;
- завдання теплопровідності в твердому тілі;
- багатофазні завдання, в тому числі з описом хімічних реакцій компонентів потоку;
- завдання, пов'язані з деформацією розрахункової сітки;
- Зв'язані задачі;
- деякі інші завдання, при математичній постановці яких потрібно рішення диференціальних рівнянь в часткових похідних в умовах складної геометрії середовища;
- розпаралелювання розрахунку для запуску на багатопроцесорних системах (в т.ч. кластерних).

В основі коду лежить набір бібліотек, що надають інструменти для вирішення систем диференціальних рівнянь в часткових похідних як в просторі, так і в часі.

Робочою мовою коду є ООП C++. У термінах даної мови більшість математичних диференціальних і тензорних операторів в програмному коді (до трансляції в виконуваний файл) рівнянь може бути представлено в зрозумілій формі, а метод дискретизації і розв'язку для кожного оператора може бути обраний користувачем вже в процесі розрахунку.

Разом з кодом поставляється набір програм-«вирішувачів», в яких реалізовані різні математичні моделі механіки суцільних середовищ. Програма може працювати під Windows через віртуальну машину; є також реалізації, які не використовують додаткових надбудов.

ParaView - відкритий графічний крос-платформний пакет для інтерактивної візуалізації в дослідницьких цілях, що розробляється Національною Лабораторією Санді, компанією Kitware і Національною Лабораторією Лос-Аламоса. Пакет підтримує клієнт-серверну архітектуру для організації віддаленої візуалізації масивів даних і використовує метод рівня деталізації (level of detail, LOD) для підтримки візуалізації великих обсягів даних в інтерактивному режимі. Пакет ParaView реалізований на базі бібліотеки Visualization Toolkit (VTK). Пакет ParaView розроблявся для здійснення паралелізму даних на комп'ютерах із загальною, розподіленою пам'яттю і кластерів. При цьому ParaView може використовуватися і на персональних комп'ютерах. Пакет ParaView надає користувачеві можливості інтерактивної візуалізації та дослідження великих масивів даних для якісного і кількісного аналізу. Робота з пакетом може здійснюватися як в інтерактивному, так і пакетному режимі.

В даний час пакет може бути використаний на комп'ютерах з операційними системами Windows, Linux, Mac OS X. При розробці автори дотримуються наступних цілей:

- відкритість, крос-платформність - в пакеті використовуються тільки відкриті, мульти-платформні технології для візуалізації даних
- підтримка різних, в тому числі, гетерогенних обчислювальних систем
- створення гнучкого, інтуїтивного інтерфейсу.

Таким чином, пакет ParaView багато в чому є скоріше технологією обробки, ніж всього лише програмним засобом.

Основні можливості

В задачах механіки суцільних середовищ наступні можливості пакета можуть бути корисними при аналізі наступних результатів:

- візуалізація розрахункових сіток (поверхні, сіткові лінії, вершини, об'ємна візуалізація)
- візуалізація полів (тиск, швидкість, температура, зміщення і ін.)
- побудова зрізів геометрії - площиною або за допомогою заданої функції
- побудова ізо-поверхонь
- візуалізація векторних полів і ліній струму
- кількісний аналіз даних - інтегрування, побудова амплітудно-частотних характеристик
- створення фільмів, які демонструють розвиток процесу в 3D
- алгебраїчні перетворення над полями.

Література: 2, 14, 16, 17.



Тема 3. Програмне забезпечення для аналізу річкових систем

Одним зі світових центрів гідрологічних досліджень, програмне забезпечення яких можна використовувати безкоштовно, є гідрологічний інженерний центр (CEIWR-HEC) інженерного корпусу при армії США (The U.S. Army Corps of Engineers - USACE), який був утворений в 1964 році для технічної експертизи, яка згодом стала відома, як гідрологічна інженерія. Кадри інженерів, які прийшли до USACE після Другої світової війни були передпенсійного віку, і було висловлено побоювання, що їх досвід в галузі розвитку водних ресурсів USACE буде розпорошений і його буде важко відновити. CEIWR-HEC була створена в USACE округу Сакраменто в відділі інженерії. Ранніми програмними пакетами були HEC-1 (гідрологія), HEC-2 (гідраліка річок), HEC-3 (аналіз водосховищ), і HEC-4 (стохастична програма генерації руслового стоку). Протягом десяти років після створення, штат виріс до тридцяти інженерів і комп'ютерних фахівців. Зараз середній вік постійного штату CEIWR-HEC становить близько тридцяти п'яти років.

У своїй історії, CEIWR-HEC пройшов через серію організаційних перебудов, сімейство програмного забезпечення зросло до більш ніж двадцяти основних частин програмного забезпечення, які підтримуються бібліотекою сервісного програмного забезпечення, включаючи підтримку ПС. CEIWR-HEC, мабуть, найвідоміша серед інженерних програм водогосподарського призначення. CEIWR-HEC має три відділи: гідрології та гідраліки, систем використання водних ресурсів, систем управління водними ресурсами. Недавні досягнення включають в себе: розвиток наступного покоління програмного забезпечення CEIWR-HEC (HEC-RAS, HEC-HMS, HEC-FDA, і HEC-ResSim); аналіз ризиків для зменшення шкоди від повеней; розробка та впровадження системи управління водними ресурсами (CWMS), системи прогнозування і підтримки прийняття рішень в режимі реального часу, який використовується в режимі 24/7 при виконанні місії водного контролю та управлінні водними ресурсами USACE.

Основна мета CEIWR-HEC є підтримка нації в управлінні водними ресурсами за рахунок збільшення технічних можливостей USACE. Одним зі способів досягнення цієї мети є проведення найсучасніших наукових досліджень і розробок, які проводить CEIWR-HEC.

Процедури доступні для USACE і професіоналів по всьому світу через ефективну програму передачі технології технічної допомоги, публікацій та навчання.

Програмне забезпечення для аналізу річкових систем Hydrologic Engineering Center River Analysis System (HEC-RAS).

HEC-RAS призначений для одно- і двовірних гідралічних розрахунків для мережі природних і побудованих каналів.

Гідралічний аналіз компонентів

Система HEC-RAS містить кілька компонентів аналізу річки для:

- обчислень профілю поверхні води безперервного потоку;



- одно- і двовірне моделювання нестационарних течій;
- обчислення транспортування наносів;
- аналізу якості води.

Всі чотири компоненти використовують загальну геометричну модель даних і загальні геометричні та гідравлічні процедури обчислення. На додаток до цих компонентів аналізу річок, система містить кілька гідравлічних конструктивних особливостей, які можуть бути викликані як тільки основні профілі поверхні води обчислюються.

Стійкі профілі поверхні потоку води

Цей компонент системи моделювання призначений для розрахунку профілів поверхні води для стійкого потоку. Система може обробляти повну мережу каналів, дендритних систем, ділянок річок. Компонент стійкий потік здатний моделювати закритичні, надкритичні і змішані режими профілів потоків поверхні води.

Основна обчислювальна процедура заснована на розв'язку одновимірного рівняння енергії. Оцінюються втрати енергії від тертя (рівняння Меннінга) і стиснення / розширення (коефіцієнт множиться на зміну швидкісного напору). Рівняння імпульсів може бути використано в тих випадках, коли профіль поверхні води швидко змінюється. Ці ситуації включають в себе розрахунки змішаних режимів потоку, гідравліку мостів, а також оцінки профілів на приотках річок.

Моделювання одно- і двовимірних нестационарних течій

Цей компонент системи моделювання HEC-RAS може імітувати одновимірний, двовимірний і комбінований нестационарний потік через повну мережу відкритих каналів, заплав і алювіальних наносів. Компонент нестационарний потік може бути використаний для виконання закритичних, надкритичних і режимів змішаного потоку в модулі розрахунків несталоного потоку.

Гідравлічні розрахунки для перетинів, мостів, відводів і інших гідротехнічних споруд, які були розроблені для компонента сталого потоку були включені в модуль несталоного потоку.

Особливості компонента нестационарних течій включають в себе: великі гідравлічні можливості аналізу структури прориву греблі; переливу; насосних станцій; напірних трубопровідних систем; автоматизовані функції калібрування.

Транспортування наносів

Цей компонент системи моделювання призначений для моделювання одновимірного транспортування наносів в результаті розмиву і осаду за більш тривалі періоди часу (як правило, роки).

Осадовий транспортний потенціал обчислюється за розміром зерен фракції, тим самим дозволяючи моделювання гідравлічного сортування. Основні функції включають в себе можливість моделювати повну мережу потоків, днопоглиблення каналу, а також використання декількох різних рівнянь для розрахунку наносів.

Модель призначена для імітації довгострокових тенденцій розмиву і осаду в потоці каналу, який може виникнути в результаті зміни частоти і тривалості скидання води, або зміни геометрії каналу. Ця система може бути використана для оцінки осаду в резервуарах, каналах, які необхідні для підтримки навігаційних глибин, передбачення впливу днопоглиблювальних робіт на швидкість осаду, оцінки максимально можливого розмиву під час великих повеней, а також оцінки осідання в фіксованих каналах.

Аналіз якості води

Цей компонент системи моделювання призначений для аналізу якості річкової води. Модуль що входить в склад цієї версії HEC-RAS, дає можливість моделювати температуру води. Цей новий модуль використовує QUICKEST-ULTIMATE явну чисельну схему для розв'язку одновимірного рівняння адвекції-дисперсії з використанням об'ємного контролю повністю реалізованого бюджету теплової енергії. Найвні в даний час складові якості води: розчинений азот (NO₃-N, N-NO₂, NH₄-N, і орг-N); розчинений Фосфор (PO₄-P і орг-P); водорості; розчинений кисень (DO); і карбонатне біологічне споживання кисню (КБСК).

Зберігання даних і управління

Зберігання даних досягається за рахунок використання «плоских» файлів (ASCII і бінарних), HEC-DSS (система зберігання даних), і HDF5 (ієрархічний формат даних, версія 5). Вхідні дані користувача зберігаються в плоских файлах за окремими категоріями проекту, плану, геометрії, сталого потоку, турбулентного потоку, квазістаціонарного потоку, дані осаду, а також інформації про якість води. Вихідні дані переважно зберігаються в окремих файлах (DSS і HDF5). Дані можуть бути передані між HEC-RAS і іншими програмами шляхом використання HEC-DSS.

Управління даними здійснюється за допомогою призначеного для користувача інтерфейсу. Модель пропонує ввести одне ім'я файлу для проекту який розробляється. Після введення імені файлу проекту, решта файлів створюються автоматично по мірі необхідності. Інтерфейс забезпечує перейменування, переміщення та видалення файлів проекту.

Графіка і звітність

Графіка включає XY ділянки річкової системи, схеми перетину, профілі, рейтингові криві, гідрографи, і відображення затоплення. Тривимірні ділянки кількох поперечних перерізів також передбачені. Відображення затоплення здійснюється в HEC-RAS Mapper. Карти затоплень також можуть бути анімованими, і містити кілька фонових шарів (місцевості, аерофотозйомки...). Доступний табличний вивід. Користувачі можуть вибрати одну із передбачених таблиць або розробляти свої власні індивідуальні таблиці. Всі графічні і табличні результати можуть бути відображені на екрані, роздруковуватись або передаватись через буфер обміну Windows іншому програмному забезпеченню, такому як текстовий процесор або електронна таблиця.

ГЕС-RAS має можливість відображати результати затоплення через ГЕС-RAS Mapper. Щоб використовувати ГЕС-RAS Mapper, потрібно мати растрову модель місцевості в форматі з плаваючою точкою (.flt). Границі басейну зберігаються в форматі Shapefile від ESRI для використання геопросторового програмного забезпечення.

Література: 13, 14.

Тема 4. Програмне забезпечення для гідрологічного моделювання систем

Пакет **Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)** призначений для повної імітації гідрологічних процесів деревовидних систем водозбору. Програмне забезпечення включає в себе традиційні процедури гідрологічного аналізу, такі як інфільтрація, гідрографи, гідрологічна маршрутизація. ГЕС-HMS також включає в себе процедури, необхідні для безперервного моделювання, включаючи евапотранспірацію, сніготанення та облік вологості ґрунту. Розширені можливості передбачають моделювання з координатною прив'язкою поверхневого стоку з використанням лінійного перетворення квазі-розподіленого стоку (ModClark). Додаткові інструменти аналізу призначені для оптимізації моделі, прогнозування річкового стоку, зменшення глибини зони, оцінки невизначеності моделі, ерозії, наносів і якості води.

Програмне забезпечення має повністю інтегроване робоче середовище, в тому числі бази даних, утиліти для введення даних, блок обчислення та інструменти звітності. Графічний користувацький інтерфейс дозволяє користувачеві безперешкодне переміщення між різними частинами програмного забезпечення. Результати моделювання зберігаються в ГЕС-DSS (системі зберігання даних) і можуть бути використані в поєднанні з іншим програмним забезпеченням для досліджень доступності водних ресурсів, міського дренажу, прогнозування повеней, майбутніх наслідків урбанізації, проектування водосховищ, зменшення шкоди від повеней, заплавного регулювання...

Водозбір

Фізичне представлення водозбору здійснюється за допомогою моделі басейну. Гідрологічні елементи з'єднані в дендритній (деревовидній) мережі для моделювання процесів поверхневого стоку. Доступні елементи: суббасейн, вузол, резервуар, використання не за призначенням, джерело і стік. Розрахункові витрати вниз по течії.

Асортимент різних методів доступний для моделювання втрат інфільтрації. Одношаровий метод може бути використаний для простого безперервного моделювання. Тришаровий метод обліку вологості ґрунту може бути використаний для безперервного моделювання складної інфільтрації та евапотранспірації. Сім методів включені для перетворення надлишкових опадів в поверхневий стік. П'ять методів включені для визначення вкладів основного

потоків в відтік суббасейну. Метод дає експоненціально спадаючу меженю від однієї події або декількох послідовних подій. Постійний щомісячний метод може добре працювати для безперервного моделювання. Метод лінійного резервуара зберігає масу шляхом маршрутизації інфільтрації опадів у канал. Нелінійний метод Бусінеска забезпечує відгук, аналогічний методу спаду, але параметри можуть бути оцінені з вимірюваних характеристик вододілу.

В цілому шість гідроіндикаторів методів маршрутизації включені для моделювання потоків у відкритих каналах. Маршрутизація без ослаблення може бути змодельована за допомогою методу запізнювання.

Метеорологія

Аналіз метеорологічних даних включає в себе короткохвильове випромінювання, опади, евапотранспірацію і сніготанення. Не всі ці компоненти необхідні для всіх моделей. Просте моделювання подій вимагають тільки кількість опадів, в той час як безперервне моделювання додатково вимагає евапотранспірацію. Як правило, сніготанення потрібно тільки при роботі з водозбірних басейнів в умовах холодного клімату.

Включені чотири різні методи для аналізу історичних опадів.

Включені п'ять різних методів отримання синтетичних опадів. Частотний метод шторму використовує статистичні дані для створення збалансованих штормів з певною ймовірністю перевищення. Джерела підтримки включають в себе статистичні дані Департаменту торгівлі США, Національної служби погоди (NWS) і Національного управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) Atlas 2 і Atlas 14.

Потенціал випаровування вологи можна обчислити за допомогою щомісячних середніх значень. Існує також реалізація методу Прістлі-Тейлора. Варіант географічної координатної прив'язки методу Прістлі-Тейлора також доступний, де необхідні параметри температури і сонячної радіації визначаються на основі координатної прив'язкою. Метод Пенман-Монтейт використовує баланс енергії на поверхні землі. Метод заданий користувачем може бути використаний з даними розробленими на основі аналізу за межами програми.

Сніготанення може бути включене для відстеження накопичення і танення в сніговому покриві. Доступний метод температурного індексу, який динамічно обчислює швидкість танення, ґрунтуючись на поточних атмосферних умовах і минулих умовах в сніговому покриві.

Гідрологічне моделювання

Проміжок часу моделювання контролюється специфікаціями управління. Характеристики управління включають в себе початкову дату і час, кінцеву дату і час, а також інтервал часу.

У робочому циклі моделювання створюється шляхом об'єднання моделі басейну, метеорологічних моделей і специфікації управління. Виконуваний варіант включають опади, потоки, можливість зберігати всю інформацію про стан басейну в певний момент часу, а також можливість відновлення моделювання з раніше збереженого стану.



Результати моделювання можна розглядати з карти басейну. Всі графіки і таблиці можуть бути надруковані.

Модель оптимізації

Більшість параметрів методів, включених в суббасейн можуть бути оцінені автоматично з допомогою оптимізації випробувань. Параметри на будь-якому елементі вище за течією від місця спостережуваного потоку можуть бути оцінені. Сім різних цільових функцій доступні для оцінки ступеня згоди між розрахованими результатами і спостережуваного розряду. Існують два методи пошуку, які можуть бути використані для мінімізації цільової функції. Обмеження можуть бути накладені обмеженням простору параметрів методу пошуку.

Руслове прогнозування

Модель басейну включає в себе функції, призначені для покращення прогнозів майбутніх потоків в режимі реального часу. Зони можуть бути створені на основі аналогічних гідрологічних умов або регіональних особливостей. Зони можуть бути призначені окремо для швидкості втрати, перетворення, межені і маршрутизації каналу. Прогноз альтернативою є тип моделювання, який використовує модель басейну і метеорологічні моделі в поєднанні з параметрами управління для прогнозування майбутніх потоків. Значення параметрів можна регулювати за допомогою зони і змішування можуть бути застосовані в елементах з досліджуваним потоком.

ГІС Підключення

Сила і швидкість роботи програми дають можливість представляти вододіли з сотнями елементів гідроіндикаторів. Традиційно, ці елементи будуть визначені шляхом перевірки топографічної карти і ручної ідентифікації границь. Хоч цей метод ефективний, він вимагає багато часу, поки вододіл буде представлений з багатьма елементами. Географічна інформаційна система (ГІС) може використовувати висотні відмітки даних і геометричні алгоритми для виконання того ж завдання набагато швидше. ГІС компаньйон продукт був розроблений, щоб допомогти в створенні басейнових моделей для таких проєктів. Цей допоміжний продукт (HEC-GeoHMS), і може бути використаний для створення басейнових та метеорологічних моделей для використання з програмою.

Література: 13, 14.

Тема 5. Геоінформаційні системи (ГІС)

Геоінформаційна система — сучасна комп'ютерна технологія, що дозволяє поєднати модельне зображення території (електронне відображення карт, схем, космо-, аерозображень земної поверхні) з інформацією табличного типу (різноманітні статистичні дані, списки, економічні показники тощо). Також, під геоінформаційною системою розуміють систему управління просторовими даними та асоційованими з ними атрибутами. Конкретніше, це комп'ютерна система, що забезпечує можливість використання, збереження, ре-

дагування, аналізу та відображення географічних даних. Геоінформаційні технології — технологічна основа створення географічних інформаційних систем, що дозволяють реалізувати їхні функціональні можливості. Інформаційно-обчислювальна система, призначена для фіксації, збереження, модифікації, керування, аналізу і відображення усіх форм географічної інформації. ГІС використовується багатьма дослідниками в галузі вивчення проблем навколишнього середовища, для визначення різних показників на географічній сітці.

За територіальним поділом ГІС поділяються на глобальні ГІС, субконтинентальні ГІС, національні ГІС частіше мають статус державних, регіональних ГІС, субрегіональних ГІС та локальних або місцевих ГІС.

ГІС розрізняють за предметною областю інформаційного моделювання, наприклад, міські ГІС, або муніципальні ГІС, природоохоронні ГІС. Найпоширенішими ГІС — земельно-інформаційні системи. Проблема орієнтації ГІС визначається розв'язуваними задачами в ній, серед них інвентаризація ресурсів (в тому числі кадастр), аналіз, оцінка, моніторинг, управління і планування, підтримка прийняття рішень. Інтегровані ГІС, ІГІС (integrated GIS, IGIS) поєднують функціональні можливості ГІС і систем цифрової обробки зображень (даних дистанційного зондування) в єдиному інтегрованому середовищі.

Полімасштабні, або масштабно-незалежні ГІС засновані на множинних, або полімасштабних уявленнях просторових об'єктів, забезпечуючи графічне або картографічне відтворення даних на будь-якому з обраних рівнів масштабного ряду на основі єдиного набору даних з найбільшою просторовою роздільною здатністю.

Просторово-часові ГІС оперують просторово-часовими даними.

Реалізація геоінформаційних проєктів, створення ГІС в широкому сенсі слова, включає етапи:

- передпроектних досліджень у тому числі вивчення вимог користувача і функціональних можливостей використовуваних програмних засобів ГІС, техніко-економічне обґрунтування, оцінку співвідношення «витрати / прибуток»;
- системне проєктування ГІС, включаючи стадію пілот-проєкту, розробку ГІС;
- тестування на невеликому територіальному фрагменті, або тестовій ділянці, прототипування, або створення дослідного зразка, або прототипу;
- впровадження ГІС;
- експлуатацію та використання.

Наукові, технічні, технологічні та прикладні аспекти проєктування, створення та використання ГІС вивчаються геоінформатикою.

Особливості:

- візуалізація інформації у вигляді електронних карт.



- автоматична зміна зображеного образу об'єкта в залежності від зміни його характеристик.

- зміна масштабу та деталізація картографічної інформації.

Застосування ГІС є ефективним в різноманітних предметних областях, де важливі знання про взаємне розташування та форму об'єктів у просторі (екологія, сільське господарство, управління природними ресурсами, земельні та майнові кадастри, комунікації, містобудування та ландшафтне проектування).

Дані в ГІС поділяються на позиційні та атрибутивні.

Позиційні дані описують просторові характеристики різних об'єктів, таких як дороги, будівлі, водойми, лісові масиви. Реальні об'єкти можна розділити на дві абстрактні категорії: дискретні (будинки, територіальні зони) і неперервні (рельєф, рівень опадів, середньорічна температура).

Атрибутивна інформація

У ГІС до векторних об'єктів можуть бути прив'язані семантичні дані. Наприклад, на карті територіального зонування до просторових об'єктів, які становлять зони, може бути прив'язана характеристика типу зони. Структуру і типи даних визначає користувач. На основі атрибутивних значень, присвоєних векторним об'єктам на карті, може будуватися тематична карта, на якій ці значення позначені кольорами відповідно до шкали кольорів або різного роду штриховками чи крапом. Найчастіше атрибутивні дані зберігаються у таблицях реляційної бази даних та є прив'язаними до певних векторних об'єктів. У випадку використання растрового способу позиційна та атрибутивна інформація поєднуються — колір пікселя передає одночасно і розташування і характеристику.

Базова карта (англ. Base map) — карта, що містить основну (базову) топографічну інформацію в цифровому вигляді в одному чи кількох шарах. Використовується як стандартна структура, на яку накладаються додаткові конкретні дані та для контролю інших джерел просторових даних.

QGIS (раніше відомий як «Quantum GIS») — вільна крос-платформова геоінформаційна система (ГІС). QGIS є однією з найбільш функціональних і зручних настільних геоінформаційних систем та динамічно розвиваються.

Основним призначенням системи є обробка і аналіз просторових даних, підготовка різної картографічної продукції. Інтерфейс QGIS побудований на базі бібліотеки Qt. Пакет має гнучку систему розширень, які можна створювати на мовах C++ і Python. Підтримуються різноманітні векторні і растрові формати, включаючи ESRI Shapefile і GeoTIFF. GIS QGIS дозволяє користувачам створювати карти з безліччю шарів, використовуючи різні картографічні проєкції. Карти можуть бути зібрані в різні формати і використовуватися для різних цілей. У системі QGIS карти можуть складатися з растрових або векторних шарів. Типовими для такого роду програмного забезпечення, векторні дані зберігаються як точка, лінія, полігон.



Різні види растрових зображень підтримуються і програмне забезпечення може виконувати геоприв'язку зображень.

QGIS забезпечує інтеграцію з іншими відкритими ГІС-пакетами, в тому числі PostGIS, GRASS і MapServer, щоб дати користувачам широкі функціональні можливості. Плагіни, написані на Python, C++, розширюють можливості QGIS. Є плагіни для геокодування за допомогою Google Геокодування API, виконання геообробки (fTools) схожими на стандартні інструменти ArcGIS, інтерфейс з PostgreSQL/PostGIS, SpatiaLite і MySQL баз даних, і використання Mapnik як карту візуалізації.

Гарі Шерман почав розробку Quantum GIS на початку 2002 року, і це стало інкубатором проекту Open Source Geospatial Foundation в 2007 році. Версія 1.0 була випущена в січні 2009 року. QGIS широко використовує бібліотеки Qt. QGIS дозволяє інтеграцію плагінів, використовуючи C++ або Python. На додаток до Qt, необхідні залежності QGIS включають GEOS і SQLite. GDAL, GRASS GIS, PostGIS і PostgreSQL, так як вони забезпечують доступ до додаткових форматів даних.

QGIS працює під управлінням різних операційних систем, включаючи Mac OS X, Linux, UNIX та Windows. Для користувачів Mac, перевага QGIS над GRASS GIS у тому, що вона не вимагає віконної системи X11 для того, щоб переміщатися, а сам інтерфейс набагато чистіший і швидший.

QGIS може також використовуватися як графічний інтерфейс користувача у GRASS. QGIS має невеликий розмір файлу порівняно з комерційними ГІС і вимагає менше пам'яті і потужності процесора; отже, його можна використовувати на старих комп'ютерах або паралельно з іншими додатками, де потужності процесора можуть бути обмежені.

QGIS веде активна група добровольців-розробників, які регулярно випускає оновлення та виправлення. Станом на 2012 рік, розробники перевели QGIS на 48 мов і цей додаток використовується на міжнародному рівні в академічному або професійному середовищі.

Як вільне програмне забезпечення відповідно до ліцензії GNU GPL, QGIS може бути вільно змінена для виконання різних або більш спеціалізованих завдань.

Є два приклади: QGIS Браузер і QGIS серверних додатків, які використовують один і той же код для доступу до даних і візуалізації, але представляють різні інтерфейси. Також є безліч плагінів, що розширюють базову функціональність програмного забезпечення.

QGIS дозволяє використання DXF, шейп файли, покриття і персональні бази геоданих. MapInfo, PostGIS і ряд інших форматів підтримуються в QGIS. Веб-сервіси, в тому числі Web Map Service та Web Feature Service, також підтримуються, щоб дозволити використання даних із зовнішніх джерел.

Ряд державних і приватних організацій взяли QGIS. Серед інших, це програмне забезпечення є в Австрійському штаті Форарльберг, і в Швейцарії, в Кантоні Золотурн.



Тема 6. Векторний і растровий формати даних

Існує два способи представлення позиційної інформації — векторний та растровий.

Растровий спосіб: растрові дані зберігаються у вигляді наборів величин, упорядкованих у формі прямокутної сітки. Осередки цієї сітки називаються пікселями. Найпоширенішим способом отримання растрових даних про поверхню Землі є дистанційне зондування, проведене за допомогою супутників. Зберігання растрових даних може здійснюватися в графічних форматах, наприклад TIF або JPEG, або в бінарному вигляді в базах даних. Найчастіше растр використовують для безперервних об'єктів.

Векторний спосіб: дискретні об'єкти та безперервні поля величин представляють за допомогою сукупності геометричних фігур — векторних об'єктів. Найпоширенішими типами векторних об'єктів є:

Точки - використовуються для позначення географічних об'єктів, для яких важливо розташування, а не їхня форма або розміри. Можливість позначення об'єкта точкою залежить від масштабу карти. У той час як на карті світу міста доцільно позначати точковими об'єктами, то на мапі міста саме місто представляється у вигляді безлічі об'єктів. У ГІС точковий об'єкт зображується у вигляді деякої геометричної фігури невеликих розмірів (квадратик, хрестик), або піктограмою, що передає тип реального об'єкта.

Полілінії - служать для зображення лінійних об'єктів. Полілінія — ламана лінія, складена з відрізків прямих. Полілінією зображуються дороги, залізничні колії, річки, вулиці, водопровід. Допустимість зображення об'єктів полілінією також залежить від масштабу карти. Наприклад, велика річка в масштабах континенту цілком може зображуватися лінійним об'єктом, тоді як в масштабах міста потрібно її зображати просторовим об'єктом. Характеристикою лінійного об'єкта є довжина.

Багатокутники (многокутники чи полігони) — служать для позначення просторових об'єктів з чіткими кордонами. Прикладами можуть служити озеро, парки, будівлі, країни, континенти. Характеризуються площею і довжиною периметра.

Векторні дані добре підходять для передачі інформації про дискретні географічні об'єкти, але можуть описувати також безперервні поля величин. Поля при цьому зображуються у вигляді ізоліній або контурних ліній. Одним із способів подання рельєфу є нерегулярна триангуляційна сітка. Така сітка формується безліччю точок з прив'язаними значеннями (в даному випадку висота). Значення в довільній точці всередині сітки знаходять шляхом інтерполяції значень у вузлах трикутника, в який потрапляє ця точка. Векторні дані зазвичай мають набагато менший розмір, ніж растрові. Їх легко трансформувати і проводити над ними бінарні операції. Векторні дані легко перетворити на растрові в той час як обернена операція набагато складніша. Векторні дані

дозволяють проводити різні типи просторового аналізу, наприклад пошук найкоротшого шляху в дорожній мережі. Проте з растром простіше проводити оверлейний аналіз.

Алгебра карт є алгебра для маніпулювання географічними даними, запропоновані доктором Дана Томлін на початку 1980 - х років. Він являє собою набір примітивних операцій в географічній інформаційній системі (ГІС), який дозволяє з двох або більше растрових шарів ("карт") аналогічних розмірів створювати новий растровий шар (карту) за допомогою алгебраїчних операцій, таких як додавання, віднімання і т.д. В залежності від просторового оточення, ГІС - перетворення діляться на чотири класи: локальні, центральні, глобальні і зональні.

Локальні операції працюють на індивідуальних клітинах растра, або пікселях. **Центральні** операції працюють на клітинах і їх сусідах, в той час як **глобальні** операції працюють на весь шар. **Зональні** операції працюють на множинах клітин, які мають однакову величину.

Входом і виходом для кожного оператора є карти. Оператори можуть бути об'єднані в процедуру або сценарій, для виконання складних завдань.

Коли алгебра карт виконує локальні операції, можуть бути використані різні типи операцій:

арифметичні операції використовують основні математичні функції, такі як додавання, віднімання, множення і ділення.

статистичні операції використовують статистичні операції, такі як мінімальне, максимальне, середнє і медіана.

відносні операції порівнюють клітини з використанням таких функцій, як більше, менше або дорівнює.

тригонометричні операції використовують синус, косинус, тангенс, арксинус між двома або більше растровими шарами.

експоненціальні і логарифмічні операції використовують експоненту і логарифм функції.

Кілька основних систем ГІС використовують поняття алгебри карт, включаючи ERDAS Imagine і ArcGIS. ArcGIS 10 реалізує алгебри карт в Python; функції імпортують методи Python і можливості мови Python використовуються для операторів. Наприклад, растри можуть бути помножені з допомогою "*" арифметичний оператор.

Література: 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12.

Тема 7. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ)

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) — спостереження поверхні Землі авіаційними і космічними засобами, оснащеними різноманітними видами знімальної апаратури. У світі нараховується понад два десятки космічних апаратів дистанційного зондування Землі, а в безпосередній реалізації програм супутникових спостережень беруть участь 25 країн. Космічні апарати

дистанційного зондування можуть використовуватись для цивільних завдань і для здійснення розвідки. Космічні технології знімання земної поверхні дозволяють суттєво підвищити ефективність досліджень у різних галузях геології: геологічній зйомці та пошук корисних копалин, неотектонічних дослідженнях, геоecології тощо. Сучасні матеріали космічних зйомок мають роздільну здатність на місцевості від десятків кілометрів до десятків сантиметрів. Отримувати такі дані зараз набагато простіше, ніж кілька років тому. Кількість спектральних діапазонів, в яких може здійснюватись зйомка з космічних апаратів, постійно зростає. Зараз існують знімальні системи, які здійснюють знімання у 7, 20, 220 діапазонах. Стрімке зростання науково-технічного космічно-знімального арсеналу, впровадження технологій гіперспектральних зйомок з високим рівнем розрізнення вимагає адекватних технологій їхньої інтерпретації для потреб української геології. Основою сучасних дистанційних досліджень є цифрова обробка, дешифрування та геологічна інтерпретація матеріалів космічних зйомок (МКЗ) залежно від особливостей знімальної апаратури, ландшафтних та геологічних умов територій, що вивчаються.

Загалом дані ДЗЗ при геологічних дослідженнях дозволяють вирішувати такі питання:

- уточнення тектонічної будови території, зокрема виділення складчастих і кільцевих структур;

- уточнення контурів (геологічних границь) геологічних тіл з урахуванням природної генералізації;

- отримання додаткової інформації про закономірності розміщення корисних копалин;

- геоморфологічний аналіз, що включає загально-геоморфологічне і структурно-геоморфологічне картографування, створення об'ємних моделей місцевості (технологія 3D);

- оцінка неотектонічної активності території;

- геоecологічні дослідження, що включають:

- оцінку ландшафтно-ecологічних умов;

- виявлення геологічних процесів і явищ, потенційно небезпечних для життя і діяльності людини, і прогноз їхнього розвитку; виявлення техногенних комплексів і об'єктів, що впливають на геологічне середовище;

- моніторинг стану геосистем;

- впровадження ГІС-технологій у геолого-картографічний процес.

Однією з вимог до даних ДЗЗ є оперативність одержання актуальної просторової інформації про земну поверхню. Дані ДЗЗ з успіхом використовуються для:

- прогнозу погоди і моніторингу небезпечних природних явищ;

- прогнозу і контролю розвитку повеней та паводків, оцінки завданого ними збитку;

- оцінки збитків від лісових пожеж і їхніх наслідків;



контролю стану гідротехнічних споруд на каскадах водоймищ;
природоохоронного моніторингу;
спостереження за льодовою обстановкою в районах морських шляхів й в акваторіях видобутку нафти на шельфі;
моніторингу розливів нафти і руху нафтової плями;
реального місцезнаходження морських суден у тій чи іншій акваторії;
відстеження динаміки і стану вирубки лісу;
прогнозу врожайності сільськогосподарських культур;
відновлення топографічних карт, що відображають реальний стан території;
дотримання ліцензійних угод при освоєнні родовищ корисних копалин;
контролю несанкціонованого будівництва;

Пасивні датчики збирають випромінювання, яке випускається або відбивається об'єктом або навколишніми областями. Відбите сонячне світло є найбільш поширеним джерелом випромінювання вимірюється за допомогою пасивних датчиків. Приклади пасивних дистанційних датчиків включають в себе плівки фотографії, приладів з зарядовим зв'язком і радіометри.

Активний збір випромінює енергію для сканування об'єктів і областей, після чого датчик потім виявляє і вимірює відбите випромінювання.

RADAR і LiDAR є прикладами активного дистанційного зондування, де вимірюється час затримки між випромінюванням і поверненням, встановлюють місце розташування, швидкість і напрямок об'єкта.

Дистанційне зондування дозволяє збирати дані у небезпечних або важкодоступних районах. Дистанційне зондування включають в себе моніторинг вирубки лісів в таких областях, як басейн річки Амазонки, льодовикових особливостей в арктичних і антарктичних районах, зондування прибережних частин океану.

Дистанційне зондування також замінює дорогий і повільний збір даних на місцях, при цьому ділянки або об'єкти не порушуються.

Орбітальні платформи збирають і передають дані з різних частин електромагнітного спектра, які в поєднанні з повітряним або наземним зондуванням та аналізом, надають дослідникам досить інформації для моніторингу тенденцій, таких як Ель - Ніньо і інших природних довгострокових і короткострокових явищ.

Інші галузі застосування включають різні науки про Землю, такі як раціональне використання природних ресурсів, сільськогосподарських полів, використання і охорону земель, використання і охорону водних ресурсів.

Інтерферометричні РЛС з синтезованою апертурою використовуються для отримання точних цифрових моделей рельєфу великомасштабних місцевостей (див RADARSAT, TerraSAR-X, Magellan).

Лазерні і радіолокаційні висотоміри на супутниках забезпечили широкий спектр даних шляхом вимірювання опуклості води, викликаного дією сили



тяжіння, вони відображають особливості на дні моря з дозволом милі або близько того.

Світло локатора інфрачервоного діапазону (LiDAR) використовується для виявлення і вимірювання концентрації різних хімічних речовин в атмосфері, висоти об'єктів точніше, ніж при радіолокації. Дистанційне зондування рослинності є основним застосуванням LiDAR.

Радіометри та фотометри є найбільш поширеним інструментом, який збирає відбите випромінювання в широкому діапазоні частот.

Найбільш поширеними датчиками є: видимі та інфрачервоні, датчики мікрохвильового випромінювання, гамма - променів і рідко, ультрафіолету. Вони також можуть бути використані для виявлення емісійних спектрів різних хімічних речовин, надаючи дані про концентрацію хімічної речовини в атмосфері.

Стереографічна пара з аерофотознімків часто використовується для виготовлення топографічних карт по знімках, моделювання наземних особливостей середовища проживання.

Багатоспектральні платформи, такі як Landsat були в експлуатації з 1970 року. Ці тематичні картобудівники приймають зображення в декількох довжинах хвиль електромагнітного випромінювання (мультиспектрального) і зазвичай знаходяться на супутниках спостереження Землі, використовуються для побудови карт рослинного покриву, тематичних карт землекористування, розвідки корисних копалин, моніторингу використання земель, виявлення інвазивної рослинності, вирубки лісу, стану рослин і культур цілих сільськогосподарських регіонів або лісу.

Метеорологічні супутники використовуються в метеорології і кліматології. Гіперспектральне зображення формує зображення, де кожен піксель має повну спектральну інформацію з відображенням вузьких спектральних смуг над прилеглою областю спектра. Гіперспектральні тепловізори використовуються в різних додатках, в тому числі мінералогії, біології, обороні та вимірювань параметрів навколишнього середовища. В рамках боротьби з опустелюванням, дистанційне зондування дозволяє відстежувати і контролювати зони ризику в довгостроковій перспективі, щоб визначити чинники опустелювання, для підтримки осіб, які приймають рішення у визначенні відповідних заходів екологічного менеджменту, а також для оцінки їх впливу.

Геодезичне дистанційне зондування може бути гравіметричним або геометричним. Колекція гравіметричних даних була вперше використана для виявлення підводних човнів з повітря. Ці дані показали, дрібні збурення в земному гравітаційному полі, які можуть бути використані для визначення змін в розподілі маси Землі, що, в свою чергу, може бути використаний для геофізичних досліджень, як і в GRACE (супутникове телебачення).

Для координації ряду великомасштабних спостережень, більшість систем зондування залежить від наступних факторів: розташування платформи і орі-

ентації датчика. Високоякісні інструменти в даний час часто використовують позиційну інформацію від супутникових навігаційних систем.

Дистанційне зондування виконується за принципом оберненої задачі. У той час як об'єкт або явище не може бути вимірне, існує якась інша змінна, яка може бути виявлена і виміряна, яку можна пов'язати з об'єктом інтересу через обчислення. Загальна аналогія - визначити тип тварини через її сліди.

Наприклад, в той час як неможливо безпосередньо виміряти температуру у верхніх шарах атмосфери, можна виміряти спектральну емісію з відомих видів хімічних речовин (таких, як діоксид вуглецю) в цьому регіоні.

Якість даних дистанційного зондування складається з просторової, спектральної, радіометричної і часової роздільної здатності.

Просторова роздільна здатність. Розмір пікселя, який записується в просторовому зображенні - як правило, пікселі можуть відповідати площі області, починаючи з довжиною сторони від 1 до 1000 метрів.

Спектральна роздільна здатність. Ширина довжина хвилі різних частотних діапазонів записані - як правило, це пов'язано з числом смуг частот, записаних на платформі. Поточна Landsat колекція складається з семи смуг, в тому числі кілька в інфрачервоному спектрі, починаючи від 0,07 до 2,1 мкм. Датчик на Гіперіон спостереження Землі-1 дозволяє 220 смуг від 0,4 до 2,5 мкм, зі спектральним дозволом від 0,10 до 0,11 мкм на смугу.

Радіометрична роздільна здатність. Число різних інтенсивностей випромінювання які датчик здатний розрізнити. Як правило, це становить від 8 до 14 біт, що відповідає 256 рівнів сірої шкали і до 16384 інтенсивностей або "відтінків" кольору, в кожній групі. Це також залежить від приладового шуму.

Часова роздільна здатність. Частота повторів з супутника або літака, має значення тільки в дослідженнях часових рядів, які вимагають усереднене або мозаїчне зображення, як моніторинг вирубки. Хмарний покрив над об'єктом вимагає повторного збору інформації з вказаного місця.

Для створення карт на основі датчиків, більшість систем дистанційного зондування очікують екстраполювати дані датчика по відношенню до контрольної точки, включаючи відстані між відомими точками на землі. Це залежить від типу використовуваного датчика. Наприклад, в звичайних фотографіях, відстані точні в центрі зображення, спотворюються далі від центру. Вирішення цієї проблема називається **геореференціюванням**, і включає в себе комп'ютерне узгодження точок на зображенні (зазвичай 30 або більше точок на кожне зображення).

Радіометрична корекція. Дозволяє уникнути помилок і радіометричних спотворень. Освітлення об'єктів на поверхні Землі нерівномірне через різні властивості рельєфу. Цей фактор враховується в методі радіометричної корекції спотворень.

Топографічна корекція (також звана корекція місцевості). У високих горах ефективно освітлення пікселів значно змінюється. В дистанційного зо-

браження, піксель на тіншовому схилі отримує слабке освітлення і має низьке значення випромінювання, піксель на сонячному схилі отримує сильне освітлення і має високе значення яскравості. Для того ж об'єкта, значення яскравості пікселя на тіншовому схилі буде відрізняться від того, на сонячному схилі. Крім того, різні об'єкти можуть мати однакові значення яскравості.

Атмосферна корекція. Усунення атмосферної димки до перемасштабування кожної смуги частот таким чином, щоб її мінімальне значення (як правило, реалізується в водоймах) відповідало значенню пікселя 0.

Інтерпретація є критичним процесом осмислення даних.

Дистанційне зондування має зростаючу актуальність в сучасному інформаційному суспільстві. Воно є ключовою технологією в рамках авіаційно - космічної промисловості і має підвищене економічне значення. Дистанційне зондування надзвичайно впливає на повсякденне життя, починаючи від прогнозів погоди до звітів по зміні клімату або стихійних лих.

Дані дистанційного зондування обробляються і аналізуються комп'ютерним програмним забезпеченням, відомим як додатки дистанційного зондування. До них відносяться: ERDAS IMAGINE, PCI Geomatica, TacitView, TNTmips, IDRISI, eCognition, RemoteView, Dragon/ips, ENVI, Opticks, Orfeo toolbox, GRASS GIS, ILWIS, QGIS, TerraLook.

Згідно з дослідженнями NOAA, серед азійських академічних груп, найчастіше використовуються в галузі дистанційного зондування: ERDAS 36%; ESRI 30%; ITT Visual Information Solutions ENVI 17%; MapInfo 17%.

Серед західних академічних груп: ESRI 39%, ERDAS IMAGINE 27%, MapInfo 9% і AutoDesk 7%.

Література: 7, 14.

Тема 8. Система підтримки аналізу географічних ресурсів - Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS)

GRASS (англ. Geographic Resources Analysis Support System — Система Підтримки Аналізу Географічних Ресурсів) — це безплатна геоінформаційна система (ГІС) з відкритим кодом, призначена для геомодельовання, управління просторовими растровими, векторними даними та комп'ютерної графіки, обробки супутникових знімків, створення карт, просторового моделювання і візуалізації. GRASS GIS містить понад 350 модулів для рендерингу карт; маніпулювання растровими і векторними даними, в тому числі векторними мережами; обробляти дані мультиспектральних зображень; а також створювати, управляти і зберігати просторові дані. Вона має ліцензію і випущена безкоштовно, з відкритим вихідним кодом під ліцензією GNU General Public License (GPL). GRASS GIS працює на декількох операційних системах, включаючи OS X, Windows і Linux. Користувачі можуть взаємодіяти з функціями програмного забезпечення за допомогою графічного інтерфейсу користувача (GUI) або шляхом підключення до GRASS за допомогою іншого програмного забезпечення, такого як QGIS. Вони можуть також взаємодіяти з модулями

безпосередньо через зроблені на замовлення оболонки, які запускають додаток або шляхом виклику окремих модулів безпосередньо зі стандартної оболонки. Остання версія стабільний реліз (LTS) є GRASS GIS 7, який доступний з 2015 року. Команда розробників GRASS є багатонаціональною групою, яка складається з розробників у багатьох місцях. GRASS є одним з восьми вихідних програмних проектів в Geospatial Foundation Open Source.

GRASS підтримує обробку растрових і векторних даних в двох та трьох вимірах. Модель векторних даних ґрунтується на топології, що означає, що області визначаються границями та центроїдами; границі не можуть перекриватись на одному шарі. Такий підхід протилежний стандарту Simple Features консорціуму OpenGIS, який визначає вектори набагато вільніше, подібно до систем векторної графіки загального призначення.

GRASS розроблено як середовище, в якому виконуються різні інструменти, призначені для виконання специфічних для ГІС функцій. На відміну від звичайного прикладного програмного забезпечення, після запуску GRASS користувачу відображається модифікований командний процесор UNIX для виклику команд GRASS (також має назву модулів).

Більшість із модулів GRASS та можливостей системи доступні через графічний інтерфейс користувача (який реалізовано в модулі GRASS). В базову поставку GRASS включено приблизно 350 основних модулів, і понад 100 модулів доступні на сайті GRASS. Бібліотеки GRASS та основні модулі написано мовою програмування C; інші модулі написано на C, C++, Python, UNIX shell, Tcl та інших мовах програмування.

Модулі GRASS створювались відповідно до філософії UNIX, і, тому, можуть комбінуватись в скриптах для створення нових модулів, що розв'язують специфічні задачі користувачів. Існує модуль підтримки взаємодії з Quantum GIS (QGIS). Останні версії QGIS можуть виконуватись в середовищі GRASS, перетворюючи QGIS на дружній графічний інтерфейс, більш схожий на графічні інтерфейси типових ГІС. Також існує проект, реалізації GRASS на платформі Java, відомий як JGRASS.

GRASS є однією із найстаріших ГІС і бере початок з розробок Армії США, що проводилися на початку 1980-х років. Розробка GRASS розпочалась в 1982 році, в ній брала участь велика кількість Федеральних агенцій США, навчальних закладів, приватних підприємств. Основні компоненти GRASS і координація зусиль учасників проекту GRASS знаходились у відомстві дослідницької лабораторії збройних сил США (USA-CERL). USA-CERL завершила свій останній випуск GRASS як версію 4.1 в 1992 році, і забезпечила п'ять оновлень і виправлень до цього випуску до 1995 року. USA-CERL також розробила основні компоненти GRASS 5.

Вихідний код проекту був відкритий в 1995 році під ліцензією GPL. У 2005 році випуск GRASS 6 додав підтримку нових 2D/3D топологічних даних та аналіз векторних мереж. Атрибути даних зберігаються в .dbf файлах або в основаних на SQL СУБД як, наприклад MySQL, PostgreSQL/PostGIS, і

SQLite. Система може застосовуватись для візуалізації 3D векторної та воксельної графіки. GRASS підтримує широкий діапазон растрових і векторних форматів через використання бібліотеки GDAL/OGR. У випуску 7, що вийшов у лютому 2015, на зміну старому графічному інтерфейсу, написаному з використанням Tcl/Tk, прийшов новий мобільний інтерфейс на базі Cairo і wxPython. У інтерфейсі максимально спрощено виконання складних ГІС-операцій. Доданий новий Python API для доступу до функцій написаного на мові С ядра GRASS, що значно спрощує створення модулів GIS — Python. Усі модулі на мові bash перетворені в модулі на мові Python. Як драйвер БД за умовчанням замість DBF задіяний SQLite. Значно розширені можливості векторної бібліотеки і прискорена обробка векторних даних (наприклад, продуктивність деяких векторних модулів зросла в тисячу разів. Додана велика підбірка нових модулів для обробки і класифікації зображень, оцінки наростання біомаси і сумарного випаровування, визначення хмар на знімках, перевірки стану контрольних точок і таке інше. Додана можливість виведення в стандартних растрових форматах. Реалізовані модулі для роботи з тривимірними растровими даними.

Література: 18.

Тема 9. R - мова програмування і програмне середовище для статистичних обчислень, аналізу та представлення даних в графічному вигляді

Розробка R відбувалась під істотним впливом двох наявних мов програмування: мови програмування S з семантикою успадкованою від Scheme. R названа за першою літерою імен її засновників Роса Іхаки (Ross Ihaka) та Роберта Джентлмена (Robert Gentleman) працівників Оклендського Університету в Новій Зеландії.

Незважаючи на деякі принципові відмінності, більшість програм, написаних мовою програмування S запускаються в середовищі R. R розповсюджується безкоштовно за ліцензією GNU General Public License у вигляді вільнодоступного вихідного коду або відкомпільованих бінарних версій більшості операційних систем: Linux, FreeBSD, Microsoft Windows, Mac OS X, Solaris. R використовує текстовий інтерфейс, однак існують різні графічні інтерфейси ористувача. R має значні можливості для здійснення статистичних аналізів, включаючи лінійну і нелінійну регресію, класичні статистичні тести, аналіз часових рядів (серій), кластерний аналіз і багато іншого. R легко розширюється завдяки використанню додаткових функцій і пакетів доступних на сайті Comprehensive R Archive Network (CRAN). Більша частина стандартних функцій R, написана мовою R, однак існує можливість підключати код написаний С, С++, або Фортраном. Також за допомогою програмного коду на С, С++, Java, .NET або Python можна безпосередньо маніпулювати R об'єктами.

Завдяки своїй S спадщині, R має більш сильне об'єктно-орієнтоване програмування об'єктів, ніж більшість статистичних мов обчислень. Розширення

R також полегшується завдяки її лексичній області видимості правил. Іншою силою R є статичні графіки, які можуть виробляти графіки типографської якості, в тому числі математичні символи. Динамічні та інтерактивні графіки доступні через додаткові пакети. R має Rd, свій власний LaTeX формат документації, яка використовується для забезпечення вичерпної документації, як онлайн в різних форматах, так і в друкованому вигляді.

R належить до інтерпретованих мов програмування і для роботи використовується командний інтерпретатор.

R підтримує концепцію об'єктно-орієнтованого програмування (ООП) включаючи генеріс функції, результат виконання яких залежить від аргументів (типу об'єктів), що передаються генеріс функції. В мові програмування R всі змінні є об'єктами, кожен об'єкт належить до певного класу. При цьому R має дві класові моделі: S3 та S4. Перша була реалізована від початку існування R, друга була додана у версії 1.7.0 з пакетом methods. S3 не є справжньою класовою системою, класи S3-об'єкта визначаються простим атрибутом — вектором символічних рядків. При цьому, при виконанні генеріс функцій, таких як plot() чи summary(), диспетчер методів шукає в таблиці методів метод, який узгоджується з іменем першого аргумента.

Хоча R орієнтована на розв'язок і аналіз статистичних задач, вона може використовуватися для матричних обчислень з порівняльною швидкістю до математичних пакетів GNU Octave або MATLAB. Створено багато пакетів для статистичних обчислень, біоінформатики, оптимізації тощо. Середовище R містить засоби для візуалізації результатів обчислень (двовимірні, тривимірні графіки, діаграми, гістограми, діаграми (схеми) Ганта тощо). Графічні можливості R дозволяють створювати високоякісні графіки з різними атрибутами, зокрема математичні формули і символи. Іншою особливістю є функція Sweave яка дозволяє інтеграцію і виконання коду R в документах написаних за допомогою LaTeX з метою створення динамічних звітів. R de-facto став стандартом у міжнародній спільноті спеціалістів в галузі статистики, і широко використовується в розробках статистичних програм та аналізі даних. Згідно щорічного опитування Rexter's Annual Data Miner Survey в 2010 році, більшість (43%) серед опитаних спеціалістів з аналізу даних використовують у своїй роботі середовище R.

Можливості R значно розширюються додатковими пакетами (бібліотеками). Пакети розробляються безпосередньо користувачами R. Існує понад 12000 пакетів, доступних на сайті Comprehensive R Archive Network (CRAN), OmegaHat, Bioconductor, R-Forge. На сторінці "Task View" веб-сайту CRAN розміщено список напрямків (Фінанси, Генетика, Хеміометрія і Математична Фізика, Навколишнє середовище, Суспільні науки) в яких використовується R і для яких доступні пакети на сайті.

Для роботи з R існує кілька графічних інтерфейсів (GUI). Графічна оболонка RGui разом з командною оболонкою (терміналом) R Console входять до базового пакету R у версії для Windows.



RStudio — зручне кросплатформне середовище розробки з відкритим кодом (існує можливість запуску на віддаленому linux сервері).

RKward — розширюване середовище розробки IDE

RapidMiner і розширення **RapidMiner R** — середовище розробки для аналізу і обробки даних з використанням R.

WEKA Java Gui for R (JGR) — кросплатформний термінал і редактор R написаний на Java Deducer — графічний інтерфейс для аналізів даних з використанням системи меню (подібний до SPSS). Розроблений для використання разом з JGR та RGui.

Rattle GUI — кросплатформний графічний інтерфейс, розроблений для добування даних (збору та аналізу даних).

R Commander — кросплатформний GUI з системою меню і доступними додатковими плагінами (базується Tcl/Tk).

RExcel — додаток до Microsoft Excel, який дозволяє використовувати можливості R.

Sage — середовище для математичних розрахунків з використанням інтерфейсу веб-браузера, бібліотек R і підтримкою гру.

Red-R — інтерфейс для аналізу, що використовує R.

Tinn-R — графічний інтерфейс.

Текстові редактори та середовища розробки (IDE) з частковою підтримкою R: gedit, Bluefish, IDE Eclipse, Kate, Vim, Emacs (Emacs Speaks Statistics), Crimson Editor, ConTEXT, Tinn-R[15], Geany, jEdit, Syn, TextMate — The Missing Editor for Mac OS X, SciTE, WinEdt (R Package RWinEdt), WPE, notepad++ і SciViews.

R доступна для використання у мовах програмування Python (за допомогою пакета RPy), Perl (за допомогою модуля Statistics::R) і Ruby (за допомогою RSRuby).

Деякі пропріетарні програмні продукти призначені для аналізу статистичних даних (напр. SPSS, STATISTICA, SAS) мають розширення, розроблені для інтеграції у свої структури функціоналу R. Заснована 2007 року компанія Revolution Analytics розпочала комерційну підтримку версії R під назвою ParallelR, розробленої спеціально для кластерів робочих станцій. В 2011 з'явилася можливість зчитувати і записувати дані у формат файлів SAS за допомогою пропріетарного Enterprise R.

Література: 4, 5, 15.