

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Методичні рекомендації
до практичних робіт з дисципліни
«Моделювання та прогнозування якості довкілля»
для студентів
спеціальності 101 Екологія (ОР бакалавр)

м. Івано-Франківськ 2021

*Рекомендовано до друку Вченою радою Факультету природничих наук
як навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 101
Екологія (ОР бакалавр)
(протокол засідання Вченої ради № _ від _____ 2021 року)*

Автор:

Шпарик Віктор Юрійович – кандидат біологічних наук, доцент (м. Івано-Франківськ).

Рецензенти:

Миленька М.М. – кандидат біологічних наук, доцент, завідувачка кафедри біології та екології Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (м. Івано-Франківськ).

Клід Віктор Васильович – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри лісового і аграрного менеджменту Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (м. Івано-Франківськ).

Шпарик В.Ю. Методичні рекомендації до практичних робіт з дисципліни «Моделювання та прогнозування якості довкілля» для студентів спеціальності 101 Екологія (ОР бакалавр) – Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2021. – 16.

© Прикарпатський національний
університет імені Василя Стефаника,
2021
©Шпарик В.Ю., 2021

Практична робота №1

Тема: Геоінформаційний моніторинг лісових екосистем

Мета роботи: полягає у апробації запропонованих методів моніторингу на прикладі моніторингу зміни динаміки лісового покриву на території Чорнобильської зони відчуження, використовуючи програмне забезпечення QGIS версії 3.4.15 Maderia.

В якості вихідних даних було взято із джерел відкритих геоданих динаміку лісового покриву [Global Land Analysis and Discovery \(GLAD\) laboratory](#). В якості підложки було використано карту OpenStreetMap. Границі Зони відчуження Чорнобильської ЧАЕС [взято за допомогою проекту «Природоохоронні ГІС України» \(scgis.org.ua\)](#).

Об'єктом моніторингу території є вкриті лісами ділянки Зони відчуження Чорнобильської ЧАЕС що знаходиться під конторлем Біосферного Чорнобильського заповідника.

В роботі було застосовано методи ГІС аналізу. Геопросторовий аналіз — це підхід до застосування методів [статистичного аналізу](#) та різних [інформаційних технологій](#) до даних [географічного](#) або [геопросторового](#) характеру ([геоданих](#)). Такий аналіз передбачає використання спеціалізованого [ПЗ](#) для геопросторового опрацювання та представлення, застосування [аналітичних методів](#) до наземних чи географічних даних, зокрема засобам та [геоінформатики](#).

Перший підхід – це аналіз відкритих даних The Global Land Analysis and Discovery (GLAD)¹ Laboratory in the Department of Geographical Sciences at the University of Maryland що досліджує причини та наслідки глобальних змін поверхні землі лісового покриву планети.

Веб інтерфейс дозволяє зробити попередній аналіз змін лісового покриву композицій знімків з супутника LANDSAT з 2011 до 2017 років.

¹ <https://glad.umd.edu/>

але також існує можливість завантаження в середовище GIS для детального аналізу.

Завантаження здійснено шляхом автоматичного вибору необхідного просторового охоплення завантажуваних даних. Для цього на сервер надіслано векторний файл меж території Зони відчуження у форматі *.kml. У відповідь сервер надсилає растрові зображення територій, що втратили лісовий покрив за зазначений період та базові знімки LANDSAT на початок і кінець досліджуваного періоду у форматі *.geotif. Зручність цього формату полягає у наявності координатної привязки растрового зображення і можливості відразу відкрити його у робочому просторі QGIS.

Ми скористалися відкритими ГІС даними лісового покриття GLAD та застосували підхід оверлейного аналізу - накладання один на одного двох або більше шарів, а саме лісового покриття GLAD за 2011 та 2017 роки на карту території зони відчуження Чорнобильської ЧАЕС, результатом якого є графічна композиція (графічний оверлей) використовуваних шарів, що накопичує в собі набір просторових об'єктів вихідних шарів та атрибути, які є похідними від значень атрибутів вихідних об'єктів.

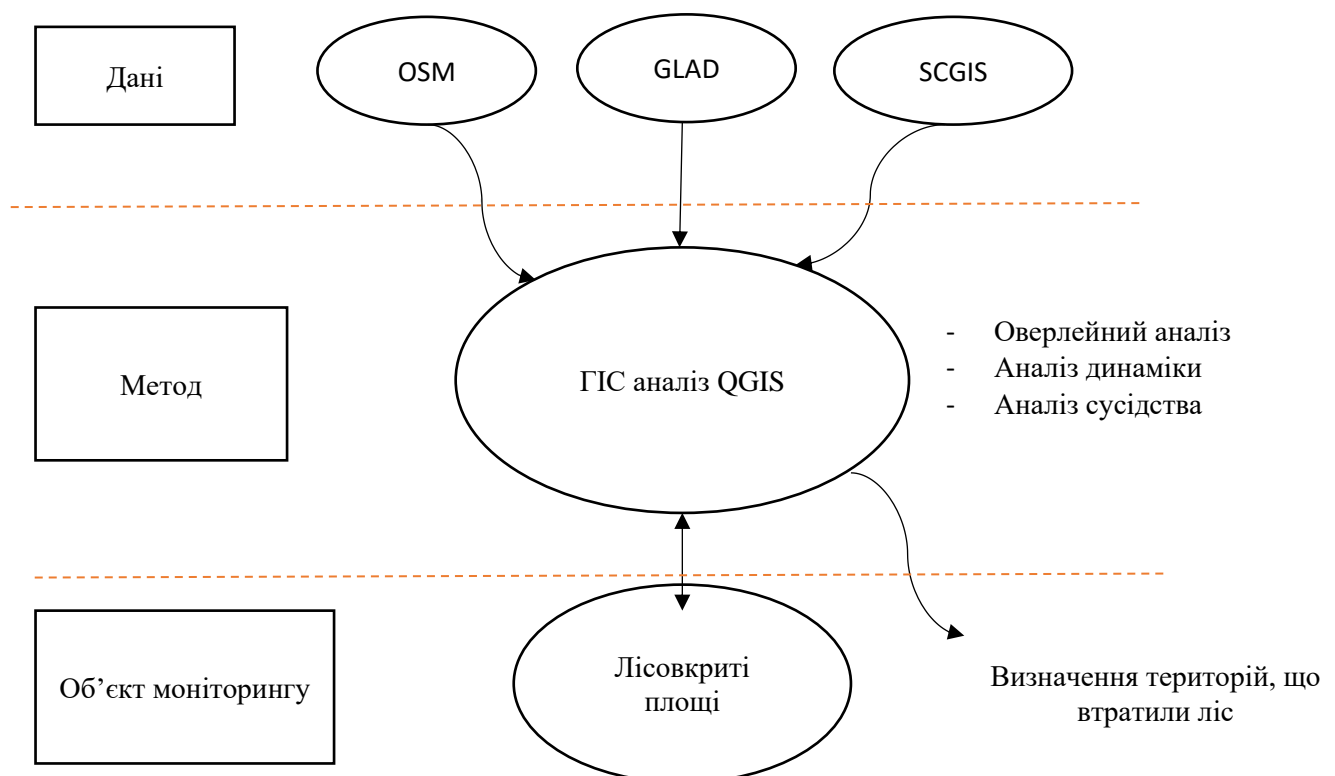


Рисунок 3.4 – Організація робіт з геоінформаційного екомоніторингу лісів.

Наступний крок – визначення площ пошкоджених ділянок. Для цього в QGIS створюється новий шар в якому вручну здійснюється побудова векторних об'єктів, що дозволяє за допомогою інструментарію ГІС визначити площу кожної конкретної ділянки. На рисунку нижче представлено фрагмент векторного шару згарищ з підписами площ цих ділянок.

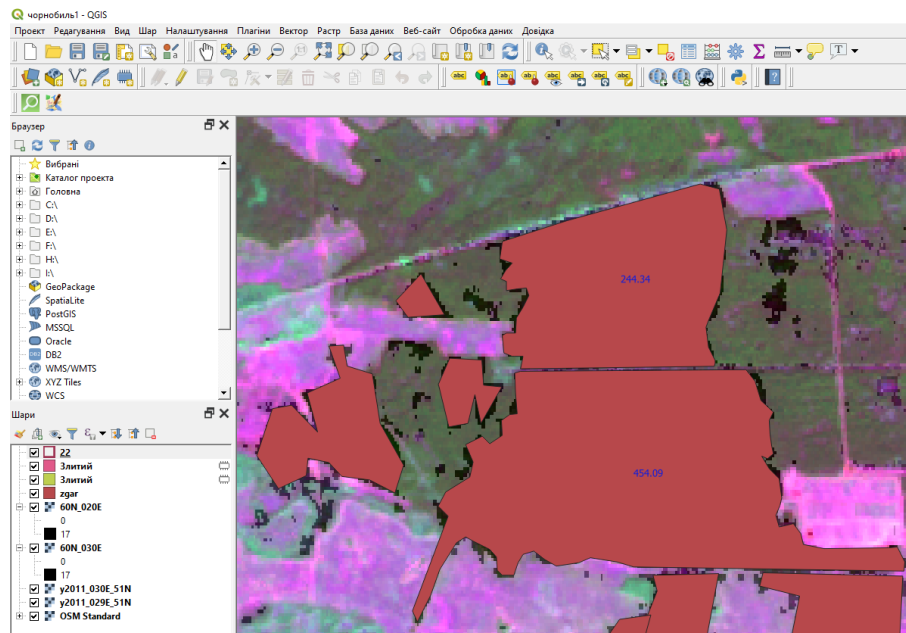


Рисунок 3.5 – Векторизація територій, що втратили ліс та визначення площ пошкоджених ділянок.

Для візуалізації динаміки лісовкритих площ застосовано технологію GIF. Формат графічного обміну (GIF) - це формат зображення растрових зображень, який був розроблений командою інтернет-провайдера CompuServe під керівництвом американського комп'ютерного вченого Стіва Вілхіте 15 червня 1987 року.

Технологія набула широкого використання у мережі завдяки широкій підтримці та портативності між багатьма програмами та операційними системами. Хоча GIF не був розроблений як носій анімацій, його здатність зберігати кілька зображень в одному файлі дозволяє використовувати формат для зберігання кадрів послідовності анімації. Специфікація GIF89a додала розширення Graphics Control Extension (GCE), яке дозволяє

зображення (кадри) у файлі фарбуватись із затримкою у часі, утворюючи відеокліп.

1. На рисунку нижче представлено використання онлайн сервісу Gifius.ru для створення анімацій у форматі GIF для візуалізації даних щодо стану лісів кожен рік за період з 2011 до 2021 роки.



Рисунок 3.6 – створення анімації змін територій, що втратили ліс онлайн сервісу Gifius.ru

Висновки

Запропонована методика дозволяє здійснити моніторинг змін лісового покриву з 2011 по 2021 рік на досліджуваній території.

Перевагами запропонованої методики є: використання загальнодоступних джерел дистанційних даних; використання вільного програмного забезпечення; можливість порівняння просторових даних з різних джерел, можливість підраховувати площі пошкоджених ділянок. Окремо протестована можливість створення анімацій лісовкритих площ засобами онлайн сервісу Gifius.ru на різні моменти часу.

Практична робота № 2

Тема роботи. Описова статистика в MS Excel. Виявлення та виключення неоднорідних результатів аналізу. Перевірка результатів експерименту на відтворюваність

Мета роботи: набути навичок виконання статистичного аналізу даних для узагальнення первинних результатів, отриманих у результаті спостережень експериментів. Навчитись виявляти в серії результатів вимірювання деякої величини «грубі» помилки. Набути навичок виконання первинної обробки даних, отриманих під час експерименту.

Короткі теоретичні відомості

Робота складається з трьох етапів. На першому етапі необхідно розрахувати параметри положення, розкиду та статистичного розподілу вибірки експериментальних даних.

На другому етапі треба провести аналіз даних на предмет наявності викидів і за необхідністю змінити розмір вибірки.

На третьому етапі слід провести аналіз вибірки на відтворюваність результатів.

Математична статистика підрозділяється на дві основні галузі: описову та аналітичну статистику. Описова статистика охоплює методи опису статистичних даних, подання їх у формі таблиць, розподілень.

Аналітична статистика чи теорія статистичних висновків орієнтована на обробку даних, отриманих під час експерименту, з метою формулювання висновків, що мають прикладне значення для різних галузей людської діяльності.

Одержавши в результаті спостережень серію результатів вимірювань деякої фізичної величини, необхідно:

- впевнитись, що результати у виборці розподілені нормально;
- виявити й усунути «грубі» помилки;
- розрахувати середнє значення та характеристику розсіювання результатів відносно середнього.

У разі багаторазового повторювання деякого вимірювання якесь одне значення особливо сильно може відхилитись у той чи інший бік без достатніх для того причин. Тоді важливо вирішити, чи йде мова лише про випадкове особливо різке відхилення чи про дійсно «грубу помилку». Навіть одна «груба» помилка може сильно викривити результати невеликого ряду вимірювань. Тому в аналітичній роботі, як і в усякому вимірювальному процесі, слід мати критерії для оцінювання різко виділених результатів.

Поява грубих похибок має випадковий характер. Їх джерелами можуть бути похибка оператора, різка короточасна зміна умов («стрибок» напруги в електромережі, поява протягу з відчиненого вікна під час відчинення дверей таін.), несправність засобу вимірювання.

Єдиним цілком надійним методом виявлення грубих помилок є детальний аналіз умов експерименту, що дозволяє усунути результати тих спостережень, за яких були порушені стандартні умови вимірювання. У цьому випадку сумнівні результати відкидаються незалежно від їх значення.

Однак практично не завжди вдається провести такий аналіз умов вимірювань, тому для оцінювання «грубих» помилок доводиться звертатись до статистичних критеріїв.

Один із способів перевірки гіпотези про однорідність результатів – оцінювання різко виділених значень за допомогою ***r-критерію***:

–

$$r_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s \sqrt{\frac{n-1}{n}}}, \quad (1.1)$$

де x_i – i -й результат з вибірки; \bar{x} – середнє арифметичне значення; s_x – стандартне відхилення; n – число результатів спостережень у виборці.

У випадку перевірки мінімального або максимального із значень користуються цією формулою в дещо зміненому вигляді:

$$r_{\max} = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{s \sqrt{\frac{n-1}{n}}} \quad (1.2)$$

$$r_{\min} = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{s \sqrt{\frac{n-1}{n}}} \quad (1.3)$$

Знайдене значення r_{\max} (або r_{\min}) співставляють з табличним значенням. У табл. 1.1 наведені значення r_{\max} (або r_{\min}) для довірчої вірогідності $P = 0,95$ та різних ступенів свободи $f=n-1$.

Якщо розраховане значення r_{\max} (або r_{\min}) виявиться більше відповідного табличного значення, то такий результат може вважатись за «грубу» помилку і повинен бути усунений з вибірки.

Якщо підозру викликають кілька значень, перевірку починають з того, яке найбільше відрізняється від середнього арифметичного значення. Якщо це значення у результаті перевірки не можна вважати «грубою» помилкою, решта «підозрілих» значень не перевіряються – зрозуміло, що відповідь буде негативна.

Таблиця 1.1
Значення r_{\max} (або r_{\min})

f	r_{\max} (r_{\min})	f	r_{\max} (r_{\min})	f	r_{\max} (r_{\min})
1	1,412	9	2,343	17	2,600
2	1,689	10	2,387	18	2,623
3	1,869	11	2,426	19	2,644
4	1,996	12	2,461	20	2,664

5	2,093	13	2,493	21	2,683
6	2,172	14	2,523	22	2,701
7	2,237	15	2,551	23	2,717
8	2,294	16	2,577		

Якщо значення, що найбільше відрізняється від середнього арифметичного значення, виявляється грубою помилкою, його відкидають, а для решти значень вибірки, для якої n зменшилось на одиницю та стали іншими середнє арифметичне та стандартне відхилення, обчислюють нові значення цих величин і повторюють перевірку наступного «підозрілого» значення. Цю процедуру повторюють до усунення всіх грубих помилок.

Кількість грубих помилок у виборці, що заслуговує на довіру, обмежена: так у виборці, що містить 10 результатів, може бути лише одна–дві грубих помилки – інакше вся вибірка ставиться під сумнів, і проводиться глибокий аналіз джерел помилок, який може привести навіть до забракування всієї вибірки.

Коефіцієнт варіації – найчастіше вживаний показник, що характеризує однорідність сукупності. Сукупність вважається однорідною, якщо коефіцієнт варіації не перевищує 33 % для розподілів, близьких до нормального. Коефіцієнт варіації часто використовується для порівняння розмірів варіації в сукупностях, що відрізняються один від одного величиною середньої (у сукупностях з різними рівнями). Коефіцієнт варіації обчислюється за формулою:

$$V = \frac{\sigma}{x} \times 100 \%, \quad (1.4)$$

Властивості досліджуваного об'єкта повинні бути **відтворювані**. Тобто, якщо експеримент проведений в деяких умовах, за вибраних рівнях чинників, що впливають, то результати повторного проведення

експерименту через нерівні проміжки часу не повинні істотно (в межах заданої похибки) відрізнятися один від одного. Розкид значень результатів не повинен перевищувати помилки експерименту.

Під час попередньої обробки даних експерименту проводиться перевірка однорідності дисперсії відтворюваності його результатів. Перевірка відтворюваності або сталості дисперсії відгуку зводиться до перевірки гіпотези про однорідність дисперсій s^2, s^2, \dots, s^2 , знайдених за результатами N дослідів.

Уточнена величина вибіркової дисперсії відгуку s^2 для i -го досвіду дорівнює:

$$s_i^2 = \frac{\sum_{q=1}^m (y_{iq} - \bar{y}_i)^2}{m - 1} \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad (1.5)$$

де y_{iq} – відгуки i -го досвіду при q -му його повторі; m – кількість повторів

досвіду; \bar{y}_i – середнє значення відгуку в i -м досвіді.

Для перевірки гіпотези про однорідність багатьох дисперсій за однакового для кожного досвіду числа повторів застосовується критерій Кохрена (G -критерій):

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N s_i^2}, \quad (1.6)$$

де S_{\max}^2 – найбільша знайдена вибіркова дисперсія.

Гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, якщо обчислене значення G -критерію не перевищує критичного, визначеного за відповідними таблицями залежно від числа ступенів свободи $k_{G1} = m - 1$, $k_{G2} = N$ і вибраного рівня значущості. Гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, якщо обчислене значення G -критерію не перевищує критичного, визначеного за відповідними таблицями залежно від числа ступенів свободи $k_{G1} = m - 1$, $k_{G2} = N$ і вибраного рівня значущості.

Порядок виконання роботи

Частина 1

Знайдіть розв'язок таких задач аналізу даних за допомогою стандартного пакета Excel.

1. Вимірювання довжини змій в чотирьох локаціях в експериментальній (20 осіб) та контрольній (30 осіб) точках дали значення (відповідно): 18, 20, 20, 18 і 15, 23, 10, 28. Потрібно знайти середнє значення, стандартне відхилення, медіану та квартилі цих даних.

2. Знайти середнє значення, медіану, стандартне відхилення та квартилі результатів швидкості пересування на 100 м черепах однієї популяції (с): 12,8; 13,2; 13,0; 12,9; 13,5; 13,1.

3. Визначте верхню та нижню квартиль, вибіркиму асиметрію й ексцес для замірів росту самиць горил: 164, 160, 157, 166, 162, 160, 161, 159, 160, 163, 170, 171.

4. Знайти найбільш відвідуваний біотоп з чотирьох реалізованих можливих, якщо за тиждень послідовно були відвідані такі точки: 1, 3, 3, 2, 1, 1, 4, 4, 2, 4, 1, 3, 2, 4, 1, 4, 4, 3, 1, 2, 3, 4, 1, 1, 3.

5. У робочій зоні проводилися виміри концентрації шкідливої речовини. Отримано ряд значень (в мг/м³): 12, 16, 15, 14, 10, 20, 16, 14, 18, 14, 15, 17, 23, 16. Необхідно визначити основні вибіркові характеристики.

6. За допомогою функції СЛУЧМЕЖДУ або RANDBETWEEN (a; b) виконайте процедуру генерації випадкових чисел, розподілених за рівномірним законом з діапазонами -1, +1, -2, +2 з кількістю чисел 100. Відобразіть згенеровані дані на графіках. Побудуйте гістограми. Знайдіть математичне очікування для кожної вибірки.

Частина 2

Виконайте такі завдання:

1. З результатів, що належать до індивідуально заданої вибірки,

усунути «грубі» помилки.

2. Для заданої індивідуально вибірки з $10 \leq n \leq 20$, перевіреної на нормальність розподілу та наявність «грубих» помилок, розрахувати середнє значення й довірчий інтервал з $P = 0,95$.

Контрольні питання

1. Що оцінює математичне очікування?
2. Як знайти математичне очікування за гістограмою?
3. Що визначає дисперсія?
4. Чим відрізняється дисперсія від середньоквадратичного відхилення?
5. Що можна сказати про один з результатів вибірки, який застатистичним критерієм нормального розподілу признано «грубою» помилкою?
6. До чого призводить залишена у виборці «груба» помилка?
7. Які причини можуть призвести до появи серед результатів вимірювань деякої величини «грубої» помилки?
8. Чому важливе знати довірчий інтервал у виборці?
9. Що містить в собі виконання первинної обробки даних?
10. Що таке розкид значень результатів експерименту?
11. Що таке однорідність дисперсії результатів експерименту?

Практична робота № 3

Тема: Імітаційне моделювання екологічних процесів у пакеті Microsoft Excel.

Мета роботи: провести просту процедуру імітаційного моделювання в середовищі MS Excel. Використовуючи спеціальну організацію даних (імітаційну систему) та вбудовану процедуру "оптимізації" ("Пошук рішення"), можливо вирахувати параметри вирівнювання моделей, що імітують протікання реальних екологічних процесів.

Теоретичні відомості.

Кількісний опис природних феноменів (біометричний, статистичне, багатовимірне) давно стало нормою екологічного дослідження, чого поки не можна сказати про моделювання. Перешкодою цьому служить широко поширена думка, що "повноцінними" можуть бути лише аналітичні моделі, а пов'язані з цим складнощі побудови системи диференціальних рівнянь і їх вирішення виявляються серйозним випробуванням для більшості екологів. Однак досліджувані екологічні явища спочатку потрібно зрозуміти, дати їм пояснення, а вже потім, при необхідності, і прогнозувати. Мета кількісного пояснення полягає в обчисленні деяких параметрів, що визначають динаміку процесу; їх значення можуть бути недоступні для прямого спостереження або статистичної оцінки, але інформація про них міститься в зібраних даних. Вирішувати таке завдання краще за допомогою імітаційного моделювання.

Імітаційні моделі набагато простіші прогностичних аналітичних моделей, оскільки являють собою комп'ютерні програми, які можуть будуватися на базі найпростіших (лінійних) алгебраїчних рівнянь. Змінна "час", необхідний компонент аналітичних моделей, в комп'ютерній програмі виводиться за рамки рівнянь, тобто лічильник часу організується окремо, модель стає дискретною. Друге спрощення - це відсутність процедури вирішення диференціальних рівнянь. Значення параметрів імітаційних моделей підбираються за допомогою зовнішніх процедур оптимізації.

Замість складання і вирішення диференціальних рівнянь пропонується скласти програми і налаштовувати параметри імітаційних моделей, що також вимагають спеціальних навичок. Ситуація докорінно змінилася з поширенням пакета Microsoft Excel, обидві проблеми вирішуються в його середовищі дуже просто.

Хід роботи

Розглянемо етапи моделювання в середовищі Excel на прикладі обліку тварин. Протягом останніх 10 років біля річки Мертвовід (Актовський каньйон, НПП «Бузький гард»), вивчалася популяція полоза. Тварин мітили, визначали частоту зустрічі мічених особин (m) в повторних пробах різного об'єму (n). Так, з 158 змій, помічених в 2004 р, проба 2005 г. ($n = 365$ прим.) містила $m = 18$ особин (табл.1, стовбці даних n , m).

Мета моделювання визначення щорічної чисельності (N) і смертності (Nd) в популяції полозів (при відсутності масової міграції). Звичайні методи розрахунків тут не працюють, тому що в даному випадку не виконуються важливі вимоги (відсутність смертності, тільки триразовий вилов і т.д.). Для ілюстрації роботи методу імітації покажемо рішення спрощеного завдання, прийнявши щорічну чисельність і смертність в острівній популяції гадюки незмінною: $N = N_i = \text{const}$ ($i = 2004 \dots 2008$), $N_d = \text{const}$.

Таблиця 1

Імітаційна модель зниження числа мічених гадюк (M') в популяції полоза при сталості чисельності (N), обсягів відходу (Nd) і поповнення (Nb) до налаштування параметрів.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1.	Рік	n	m	N'	d'	M'	m'		Ф
2.	2004	158		5000		158			
3.	2005	365	18	5000	0,1	142	10		58
4.	2006	273	10	5000	0,1	128	7		9,1
5.	2007	214	10	5000	0,1	115	5		26
6.	2008	238	9	5000	0,1	104	5		17
7.									
8.		S	4,2		N	5000		S _{залиш}	109
9.		df	3		Nd	500		D _{залиш}	36
10.		S _{загал}	53		Nb	500		F	-1,6
11.		D _{модел}	-57		d%	10			

Головний момент імітаційного моделювання полягає в тому, щоб виразити відомі змінні через невідомі параметри. Імітаційна модель повинна обчислювати ті ж величини, що спостерігаються в природі. Тоді з'являється можливість, перебираючи можливі значення параметрів, знайти такі, при яких модельні значення змінних співпадут з реальними. В цьому випадку можна обговорювати знайдені значення параметрів як характеристику механізму явища. Для популяції полоза нам відомі такі змінні: число одноразово мічених тварин (M), кількість повторних виловів (n), число повторно відловлених особин в кожній новій пробі (m). Невідомими залишаються загальна чисельність (N), число щорічно загиблих особин (N_d) і розмір поповнення (N_b) популяції. Отже три останніх значення і вимагають оцінки, але їх необхідно задати відразу. Розмістимо їх на електронному листі Excel (табл. 1) в окремому блоці: $[F8] = 5000$, $[F9] = 500$, $[F10] = F9$, $[D2] = F8$.

В реальній популяції чисельність підтримується балансом процесів смерті та народження:

$$N_{i+1} = N_i - N_d + N_b.$$

Ця динаміка в форматі Excel набуде наступного вигляду:

$[D3] = D2 - \$F\$9 + \$F\10 , $[D4] = D3 - \$F\$9 + \$F\10 , ..., $[D6] = D5 - \$F\$9 + \$F\10 (табл. 1, стовпець D)

Введення формул не складає проблеми, досить одну формулу ввести вручну, а решта - за допомогою дії "автозаповнення" (див. практичну №1). При цьому важливо стежити за тим, щоб посилання на загальні параметри були абсолютними, тобто містили префікси \$, наприклад, $\$F\9 . Після введення всіх формул в таблиці Excel відображаються результати розрахунків; в даному випадку чисельність зберігається незмінною $N'_i = 5000$ екз. (табл. 1, стовпчик N').

Щорічна смертність, в тому числі серед мічених особин, складе: $d'_i = N_d / N'_i$

або в форматі Excel: [E3] = \$F\$9/D3, ... (табл. 1, стовбець d').

Число загиблих мічених особин складе:

$$dM = d'_i * M,$$

а число мічених особин, що вжили дорівнюватиме:

$$M'_{i+1} = M'_i - d' * M,$$

або [F3] = F2-F2 * E2, ... (табл. 1, стовбець M').

Як видно з табл. 1, число мічених полозів згодом зменшується.

Зменшуватись повинне і число повторно виловлених міток (m').

Оскільки концентрація мічених особин дорівнює:

$$pM'_i = M'_i / N'_i,$$

то число мічених в пробі об'ємом n складе:

$$m'_i = n \cdot pM'_i = n \cdot M'_i / N'_i,$$

або [G3] = B3 * F3/D3, ..., [G6] = B6 * F6/D6 (табл. 1, стовпчик m').

Моделльне число повторно відловлених змій (m') зменшується, але сильно відрізняються від значень, що спостерігаються (m). Це говорить про те, що довільно взяті величини N і Nd не відповідають реальності. Для розрахунку ступеня відмінності моделі від натурних спостережень використовуємо формулу:

$$di = (mi - m'_i)^2$$

або [I3] = (C3-G3) ^ 2, ... (табл. 1, стовбець Ф).

Загальна відмінність є сумою всіх власних відмінностей: [I8] = СУММ (I3: I6).

У нашому випадку ця узагальнена відмінність дорівнює $\Phi = 109$.

Зрозуміло, що якби модель абсолютно точно описувала реальність, то функція було б рівна нулю.

Звідси впливає друге головне завдання моделювання - настройка моделі, визначення таких значень параметрів (N і Nd), які нівелювали б відмінності моделі від реальності. Ця дуже трудомістка операція оформлена в середовищі Excel у вигляді макросу "Пошук рішення" (меню "Сервіс") з дуже простим інтерфейсом. Процедура настройки моделі у середовищі

Excel доступна будь-якому користувачеві. (Відповідальне ставлення до моделювання вимагає розуміння процедури налаштування!) Після виклику макросу залишається заповнити його вікно, тобто вказати, що цільовим віконцем виступає комірка I8 (зі значенням функції), яка повинна бути рівною значенню 0, що для цього можна змінювати значення в комірках F8: F9.

Після цього слід натиснути кнопку "Виконати", і у вікні "Результати пошуку рішення", яке з'явився слідом за цим, потрібно вибрати "Зберегти результати". Для нашого прикладу результати представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Імітаційна модель зниження числа мічених полозів (M') в популяції полоза в припущенні сталості чисельності (N), смертності (Nd) і народження (Nb) після налаштування параметрів.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
12.	Рік	n	m	N'	d'	M'	m'		Ф
13.	2004	158		3086		158			
14.	2005	365	18	3086	0,07	146	17		0
15.	2006	273	10	3086	0,07	135	12		4
16.	2007	214	10	3086	0,07	125	9		2
17.	2008	238	9	3086	0,07	116	9		0
18.									
19.		S	4,2		N	3086		S _{залишкова}	6
20.		df	3		Nd	228		D _{залишкова}	2
21.		S _{залишкове}	53		Nb	228		F	23
22.		D _{модельне}	47		d%	7,4			

Як видно з табл. 2, при чисельності острівної популяції полоза рівній $N = 3086$ прим. і смертності $d = 7.4\%$, модельна динаміка зниження числа мічених тварин виявилася майже такою ж, що спостерігалася і в польових умовах. "Майже", тому що функція «нев'язки» так і не обнулилася, після настройки $\Phi = 6$.

Для вирішення питання, чи відповідає модель реальності, пропонується три способи: 1). перевірка роботи моделі на незалежно отриманих даних. 2) Оцінка статистичної помилки знайдених параметрів

шляхом рандомізації 3). Оцінка адекватності моделі - реальності за допомогою дисперсійного аналізу. Через брак місця, розглянемо лише останній метод. У відповідності зі схемою дисперсійного аналізу лінійної регресії, загальна сума квадратів за всіма спостереженнями представлена залишковою і модельною сумою квадратів. Функція «нев'язки» є по суті залишкова сума квадратів; залишкова дисперсія визначається з відношення:

$$D_{\text{Ост.}} = S_{\text{Ост.}} / (n-1),$$

$$\text{або } [I9] = I8 / C9.$$

Загальну суму квадратів просто розрахувати по функції стандартного відхилення ($[C8] = \text{СТАНДОТКЛОН}(C3: C6)$), звівши її в квадрат і помноживши на число ступенів свободи: $[C9] = \text{СЧЕТ}(C3: C6) - 1$; $[C10] = C9 * C8^2$.

Модельна сума квадратів є різниця між загальною і залишковою

$$S_{\text{мод.}} = S_{\text{заг.}} - S_{\text{зал.}},$$

або $[C11] = C10 - I8$. Це ж значення дорівнює модельної дисперсії, оскільки число ступенів свободи $df_{\text{мод.}} = 1$. Величина критерію Фішера складе:

$$F = D_{\text{мод.}} / D_{\text{залиш.}},$$

або $[H10] = C11 / I9$. У нашому випадку критерій перевищує табличне значення

$F(0.05, 1, 3) = 6.6$; модель в цілому адекватна спостережуваним даними. Мабуть чисельність спостерігається острівної популяції гадюки дійсно наближається до 3000 екземплярів.

Висновки

Узагальнюючи розглянутий приклад, важливо відзначити, що для побудови будь-якої імітаційної моделі потрібно конструювання імітаційної системи, що містить засоби введення даних, програмування, налагодження, настройки моделі і презентації результатів. Всі ці функції оптимально

виконуються в середовищі пакета Excel. До складу імітаційної системи входять наступні основні компоненти:

- блок вихідних даних, часто складається з масиву незалежних і залежних змінних;
- блок розрахунку модельних даних, власне імітаційна модель, що складається з рівнянь; здійснює розрахунок явних змінних (число повторно спійманих особин, m') і прихованих змінних (число мічених особин, M');
- блок параметрів, що беруть участь в розрахунку модельних даних і змінюються в процесі настройки;
- блок розрахунку відмінностей реальних і розрахункових значень змінних;
- значення суми відмінностей між моделлю і реальністю (значення функції нев'язки); воно мінімізується в процесі настройки;
- блок процедури налаштування (вікно "Пошук рішення");
- блок графічного представлення результатів. Не менш істотно, що метод моделювання на аркуші Excel відрізняється від традиційних способів програмування (алгоритмічного, структурного або об'єктного), це - табличне програмування. Величезна кількість рядків листа Excel досить для імітації "життя" будь-якої моделі. Важливо лише пам'ятати, що одиниці розмірності параметрів моделі слід явно прив'язувати до величини обраного кроку. У нашому випадку це був один рік. Розглянуті дві особливості середовища Excel - простота моделювання і вбудований модуль настройки - дозволяє сподіватися на широке поширення імітаційного моделювання в практиці предметних екологічних досліджень.

Практична робота №4

Тема: Методологія моделювання на основі теорії клітинних автоматів

Поняття клітинного автомату спочатку не мало жодного зв'язку із ландшафтною екологією, хоча Д. ван Нойман (Neuman, 1966), один із засновників кібернетики, вказав на можливість застосування таких автоматів у біології.

Сягнемо до історії. Клітинні автомати (Cellular Automata) описані вперше у 1940 році Джоном ван Нойманом (його також можна вважати засновником теорії ігор) та Станіславом Уламом (дослідник методу Monte Carlo). Можна сказати, що слово "клітинний" походить від С. Улама, а слово "автомат" від Д. вон Ноймана. Обидва науковці намагалися перевірити, чи сили, які керують відтворенням у біологічних системах, можуть бути віднесені до правил логіки (Sipper, 1997). Тут варто задуматись, чим біологічне відтворення подібне до автомату. Автомат – це машина, яка перетворює інформацію, працює логічно, виконує свої наступні дії після застосування даних, отриманих ззовні, і яка діє згідно із запрограмованими у ній інструкціями (Levy, 1992). Істотним у цих роздумах був факт, що відтворення відбувається самочинно, безперервно проявляючись у певному проміжку часу. Аналогічною повинна бути також дія комп'ютера. Така програма могла б через зміну у часі виконати скінчений алгоритм, а також була б здатна створити свою копію, а ця остання – створити свої наступні мультиплікації.

Ознайомившись із поняттям автомату, перейдемо до поняття клітинно-комірки. Щоб автомат міг існувати і змінюватися у часі, потрібен відповідний робочий простір. Таким простором є саме клітини, які мають повторювальні геометричні форми. В елементарних клітинних автоматах простір є одновимірний. Для ландшафтно – екологічних систем на основі теорії клітинних автоматів, у тому числі і для лісових, він двовимірний. Переважно це сітка квадратів, але можна застосувати поєднання інших

регулярних геометричних фігур, як, наприклад, трикутників чи шестикутників. Відповідальною за зміни у клітинному автоматі є матриця переходів, яке визначає поведінку клітин між часовими кроками змін автомату. Матриця переходів зумовлює наступний стан клітини у залежності від правил переходів, а також від вхідної інформації про стан сусідніх клітин.

Значну роль у популяризації теорії клітинних автоматів відіграла комп'ютерна гра LIFE (Gardner, 1971). Проте конкретні екологічні застосування появились тільки у дев'яностих роках минулого століття (Hassel et al., 1991; Colasanti, Grime, 1993; Balzter et al., 1998). Метод клітинних автоматів знайшов своє застосування у добре розвинутій галузі моделювання лісових пожеж (Karafyllidis, Thanailakis, 1997). Клітинні автомати дають можливість відтворити просторові структури, що особливо важливо у дослідженні лісових масивів.

Клітинний автомат є динамічною системою, у якій простір, час і стан є дискретними параметрами (математичне визначення змінного значення, яке змінюється стрибкоподібно). Кожна клітина змінює свій стан через певний проміжок часу. Усі клітини досліджуваного лісового масиву підлягають одному універсальному правилу. Проте це не окремі клітини творять картину, а уся їх сукупність. Клітинний автомат, застосовуваний у комп'ютерному моделюванні лісу - це поєднання п'яти об'єктів:

Регулярної сітки, складеної із клітин;

Закінченої кількості клітин;

Правил, які визначають сусідів;

Функції переходів, що визначають стан клітин у наступному моменті часу у залежності від стану досліджуваної клітини та її сусідів у даному моменті часу;

Початкової конфігурації стану клітин.

Як правило, клітинний автомат (A) можна представити як збір елементів:

$$A = \{L, S, \partial, f\}$$

де:

L – карта, яка визначає взаємне положення лісових клітин,

S – стан автомату,

∂ – спосіб визначення сусідів,

f – функція переходів,

Ландшафтно–екологічні системи записуються у прямокутних координатах. Немає жодних обмежень, щодо територіальної структури, але у нашому випадку базовою формою є квадрат. Тому досліджувані системи ділимо на квадрати різної площі. Їхні розміри можуть змінюватися від 100х100м до 10х10км. Величина залежить від мозаїчності, наприклад, породного складу лісів та від кількості можливих їх станів у досліджуваному масиві, а також станів, які можуть виступити у процесі змін лісового масиву.

Кількість станів автомату також є цифрою закінченою. Стан визначається як зайнятість даної території, наприклад: буковим лісом, ялиновим, ялицевим і.т.д. Стани аналізуються для усієї території, але визначаються для кожної клітини зокрема. Їхня кількість залежить, перш за все, від складності лісового масиву. Стан клітини не є стабільний, він змінюється із часом. Його зміни визначаються за допомогою функції переходів з часу рівня t до рівня $(t + 1)$.

Спосіб визначення сусідніх клітин може бути різним (Torrens, 2000). Наприклад, у поділі масиву на квадрати у прямокутному поділі координат сусідніми можуть бути ці квадрати, які мають спільні боки. У такому випадку кожна клітина має чотирьох сусідів. Нами використано власне цей спосіб визначення сусідів. Можна аналізувати також вісім сусідніх клітин (Рис. 5.3). Це спосіб визначення сусідів за Moore.

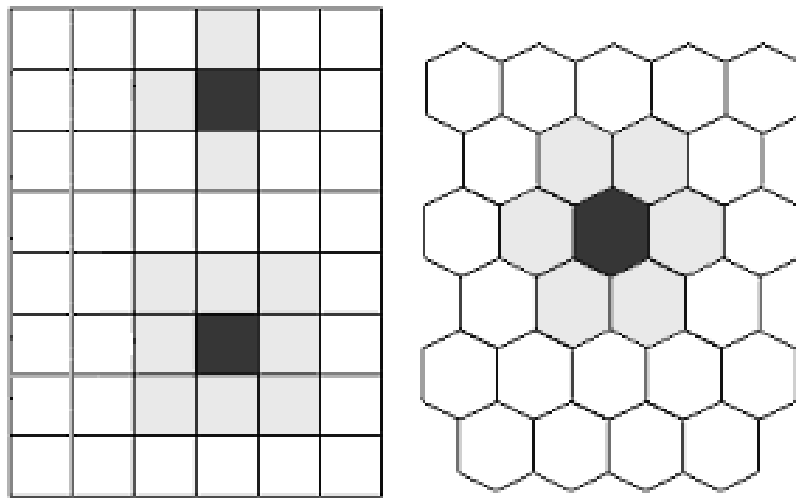


Рис. 5.3. Спосіб визначення сусідів (Torrens, 2000).

Функція переходів визначає стан клітини у часі ($T+1$) у залежності від стану цієї ж клітини та її сусідів у моменті T і залежить від внутрішніх впливів у цьому самому моменті. Сама перехідна функція може бути детерміністичною або ж стохастичною. В останньому випадку маємо справу із так званим просторово-часовим ланцюгом Маркова (Guttorp, 1995). Проблеми із конструкціями функцій переходів у моделях ландшафтно-екологічних систем були детально проаналізовані у публікаціях В. Чілдрес з співавторами (Childress et al., 1996; 1998).

Клітинний автомат є дискретною динамічною системою. Простір і час, прогнозований у ньому, розглядаються як елементи, що змінюються стрибкоподібно. Поверхня у моделі представлена регулярною сіткою дво- або і тривимірною. Основним пунктом на шляху до створення моделі Клітинних Автоматів є детальне визначення сітки, тобто регулярного розміщення клітин, охарактеризованого за допомогою функції переходу. Клітинні Автомати (Рис. 5.4) визначають стан даної клітини, зазначеної як (i, j) у часі $(t+1)$ згідно формули:

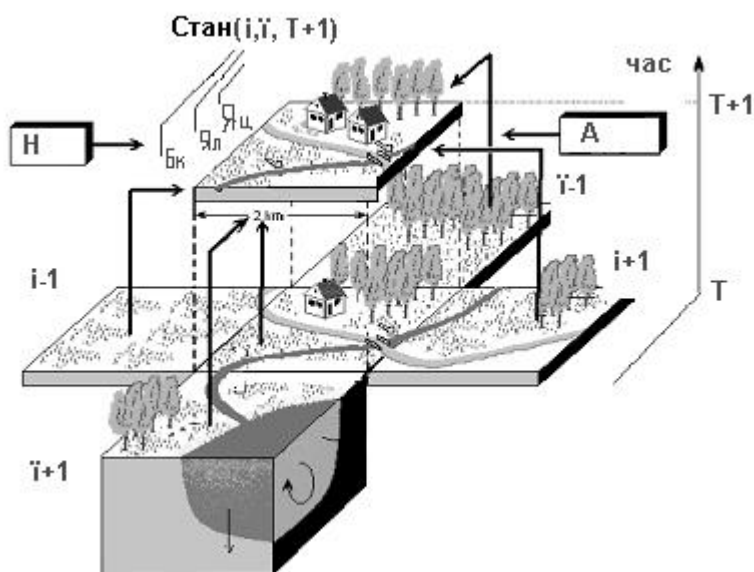


Рис. 5.4. Схема поділу території на клітини, визначення сусідів і окреслення стану у часі (T+1) на прикладі стану у часі (T), пояснення у тексті.

$$\text{Стан}(i, j, T+1) = \Phi(\text{стан}(i, j, T), \text{стан}(i-1, j, T), \text{стан}(i+1, j, T), \text{стан}(i, j-1, T), \\ \text{стан}(i, j+1, T), H, A)$$

$\Phi(\text{стан}(i, j, T))$ - стан аналізованої клітини (i, j) у часі T,

стан (i-1, j, T) - клітина зліва,

стан (i+1, j, T) - клітина справа,

стан (i, j-1, T) - клітина зверху,

стан (i, j+1, T) - клітина знизу.

Прогнозуємо при цьому вплив чинників:

H - (natural) природних, A - (anthropogenic) антропогенних.

У другій частині книги покажемо, як збудувати моделі ландшафтно-екологічних систем, стосуючи для цього комп'ютерні програми.

Представимо оригінальні програми („LANDSTAT”, „LANDSCAPE1”, „LANDSCAPE2”, „CELLULAR AUTOMATA”, „AUTOMATY KOMÓRKOWE1”, „AUTOMATY KOMÓRKOWE2”, „CELLAUT1”, „CELLAUT2”), а також часто вживані існуючі на ринку програми (ARC GIS, QUANTUM GIS, FRAGSTATS).

Практична робота №5

Тема: Прогностична навчальна модель „CELLULAR AUTOMATA”

Вступ

Для побудови моделей наземних екологічних систем, що характеризуються високим ступенем мозаїчності, добрим виявився підхід, пов'язаний із застосуванням математичного апарату клітинних автоматів (Лагофет, 1999). Зауважимо, що спочатку поняття клітинного автомата ніякого відношення до біології та екології не мало, хоча на можливість біологічних інтерпретацій вказував ще один із основоположників кібернетики фон Нейман (Neumann, 1966).

Велику роль у популяризації ідей теорії клітинних автоматів у біології зіграла комп'ютерна гра "LIFE" (Gardner, 1971), проте конкретні екологічні програми з'явилися лише у 90-х роках (Hassel et al., 1991, Colasanti, Grime, 1993, Balzter et al., 1998). У галузі моделювання наслідків лісових пожеж метод клітинних автоматів знайшов собі вдале застосування (Karafyllidis, Thanailakis, 1997). Привабливість автоматів до екологічного моделювання полягає, насамперед, у видимості результату у вигляді графа переходів, що є наочним за відносно невеликого числа дискретних станів. Клітинні автомати додають до цього ще й можливість відображення просторових (звичайно плоских) структур, що особливо істотно у вирішенні завдань ландшафтної екології. До того ж презентації екологічних об'єктів допускають набагато легшу і природну програмну інтерпретацію, чого не можна сказати, наприклад, про системи диференціальних рівнянь.

Нагадаємо, що під клітинним автоматом (A) розуміється сукупність чотирьох об'єктів: карти, яка визначає взаємне розташування клітин, станів автомата, способу визначення сусідніх клітин та функції переходів автомата.

Карта, звичайно, задається у прямокутних координатах, хоча, принципово, на структуру модельованого простору ніяких обмежень не накладається. Безліч станів автомата задається як кінцева величина. Спосіб визначення того, які клітини є сусідніми, а які ні, може бути різним. Наприклад, при розбитті латки на квадрати у прямокутній системі координат, сусідніми можуть вважатися ті квадрати, які мають спільні сторони (тоді кожна клітина має максимум 4 сусідніх) однак можна сусідніми вважати квадрати, які мають спільні ребра і вершини (тоді максимальне число сусідів збільшиться до 8).

Функція переходів автомата визначає стан клітини у момент $(T + 1)$ у залежності від стану тієї ж клітини і її сусідів у момент часу. Так само, залежно від зовнішніх впливів, у той же момент часу. Функція переходів може бути детермінованою або ймовірнісною, в останньому випадку ми маємо справу із просторово-часовим марківським ланцюгом (Guttorp, 1995). Проблемам конструювання функцій переходів для ландшафтних моделей присвячено спеціальне дослідження (Childress і in., 1996).

Після загальних уваг перейдемо до дослідження довгострокового планування розвитку регіону Бещад на півдні Польщі, що межує з Україною на сході та із Словаччиною на півдні. Аналізуючи моделювання екологічних систем регіону за допомогою апарату клітинних автоматів (на прикладі Бещад, Польща) варто зауважити, що регіон характеризується різноманітністю ландшафтів від субальпійських лук на висотах понад 1000 м над рівнем моря до заплавлених лісів у долині річки Сян. Спроба оперування інтегральними характеристиками для всього регіону виявилась надмірно схематичною і потребувала деталізації, у першу чергу, обліку просторової неоднорідності розподілу екологічних та економічних характеристик системи. На рисунку 8.1 показана схема розбивки території Бещад на квадрати розміром 2 на 2 км. Усього таких квадратів у моделі було сімсот сорок три.

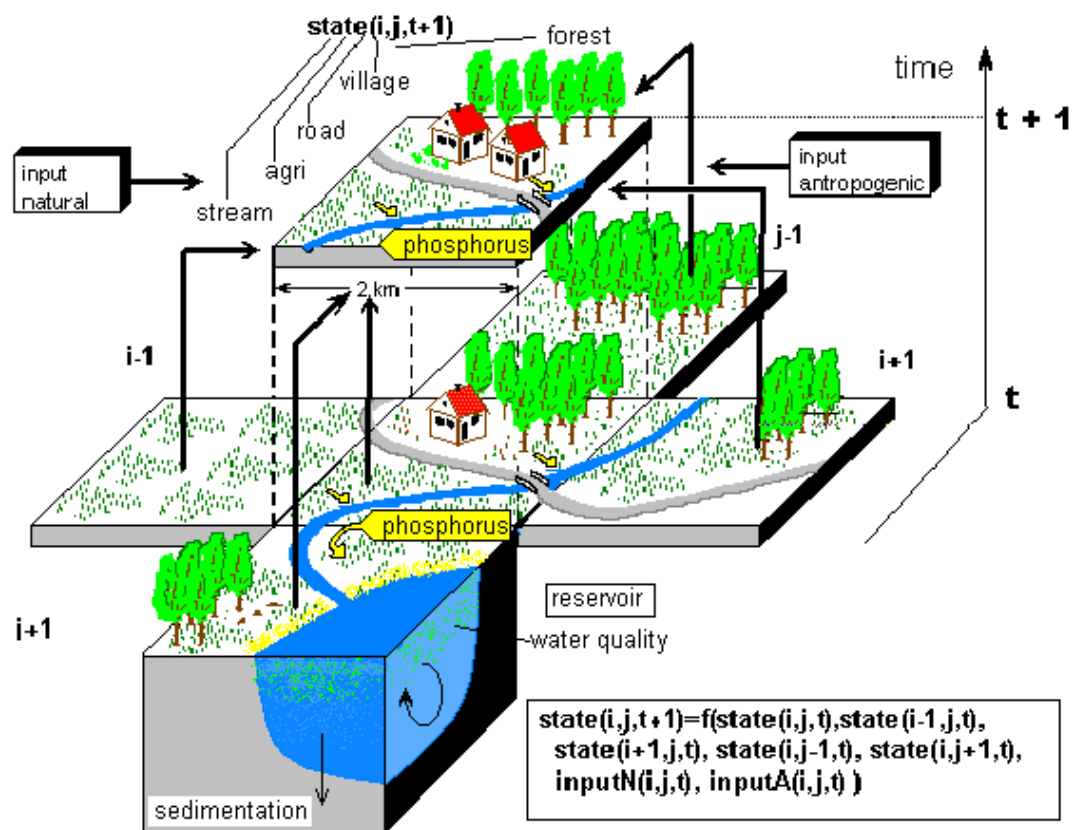


Рис. 5.1. Схема розбивки території Бещад на квадрати

Стан кожної клітини визначався, виходячи із відсотка покриття її площі лісом, луками або сільськогосподарськими угіддями, населеними пунктами сільського або міського типу. Оцінка площ здійснювалась із точністю до 1 км². Було встановлено 28 можливих станів клітини, причому стани зручно було кодувати наступним чином: FFFF - уся площа клітини покрита лісом, FFFA-три чверті площі зайнято лісом, решта луками або сільськогосподарськими угіддями, FFFV - три чверті площі зайнято лісом, решта селищем сільського типу із присадибними ділянками, FFFT - три чверті площі зайнято лісом, решта селищем міського типу, AAAA-вся площа клітини покрита луками або сільськогосподарськими угіддями, VVVV-вся площа клітини покрита селищем сільського типу із присадибними ділянками, TTTT-вся площа клітини покрита селищем міського типу, FAVT-площа осередку зайнята лісом, луками або сільськогосподарськими угіддями, селищами міського і сільського типу у рівних пропорціях і т.д. Принцип чотирисимвольного коду полягає у тому, що символ F повторюється у ньому стільки разів, скільки чвертей клітини зайнято лісом,

символ А - скільки чвертей клітини зайнято луками і ріллями, символ V - скільки чвертей клітини зайнято селищами сільського типу, символ Т-скільки чвертей клітини зайнято міськими забудовами. Не всі можливі комбінації є реалістичними, наприклад стан FFFT (місто, оточене лісом) і йому подібні були виключені із розгляду.

Після подання карти (L) і безлічі станів автомата (S), слід задати спосіб визначення сусідньої клітки. У даному випадку приймемо, що сусідніми є ті клітини, які мають спільні боки, тобто зупинимось на схемі чотирьох сусідів. Тепер залишається визначити функцію переходів автомата. Для цього доведеться звернутися до історії регіону. На рис. 5.2. представлено стан цього регіону на 1936 рік. У результаті операції Wisla і переміщення державних і адміністративних кордонів у 1939-1953 роках, відбулося істотне скорочення чисельності населення регіону і майже повна зміна його демографічного складу. Як бачимо (Рис. 5.3) із карти 1998 року (складеної на основі топографічної карти Кросненського воєводства масштабу 1:100000, а також карт масштабу 1:25000) порівняно до карти 1936 року багато клітин із переважанням компонента сільського типу (наприклад FAVV, AAVV) перейшли до стану з переважанням лісу (наприклад FFAV, FFFA, FFFV)

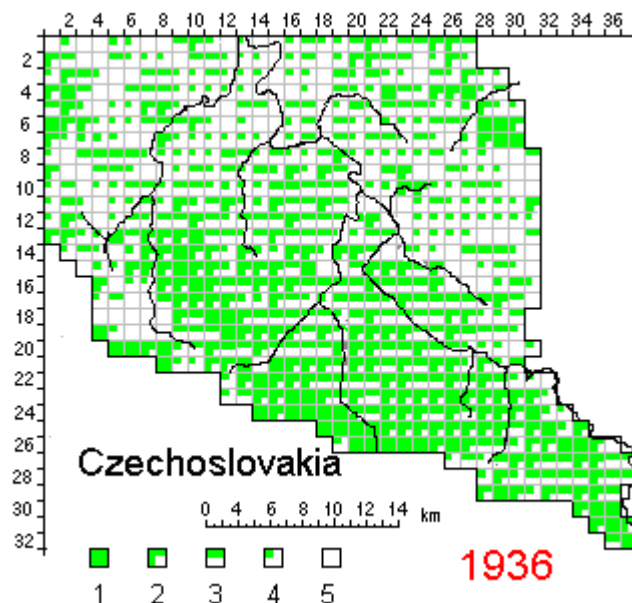


Рис. 5.2. Стан регіону на 1936 рік: 1-100% лісу, 2- 75% лісу, 3-50% лісу, 4- 25% лісу, 5-0% лісу.

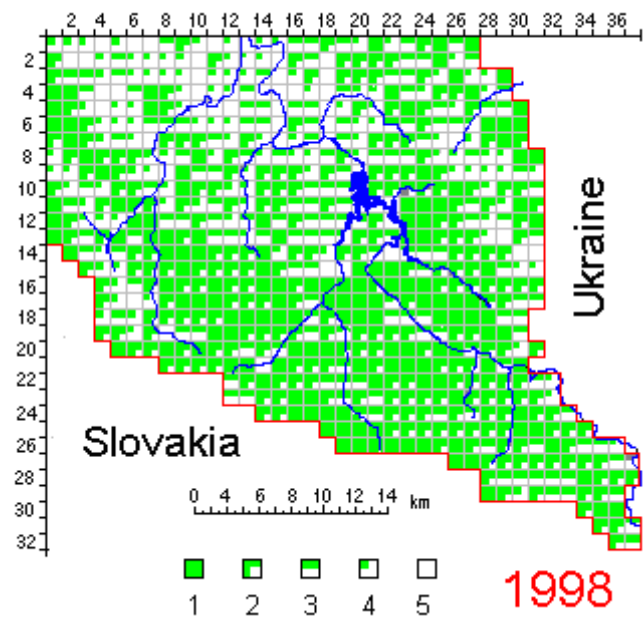


Рис 5.3. Стан регіону на 1998 рік: 1-100% лісу, 2- 75% лісу, 3-50% лісу, 4- 25% лісу, 5-0% лісу.

Порівняння карт дозволило емпірично визначити ймовірність заліснення клітини в одиницю часу, поставивши її у залежність від висоти клітини над рівнем моря, близькості річки (у долинах річок заліснення відбувається швидше, ніж на вододілах) і близькості великого населеного пункту (останнє уповільнює процес заліснення або зовсім його припиняє). Істотне значення для регіону мало створення Бещадського Національного парку, на території якого зростання населених пунктів припинилося.

Представлений граф переходів створюваного автомата (Рис. 5.4). Наприклад, якщо у суцільному лісі (стан FFFF) з'являється галявина площею 1 км², то це відповідає дузі графа від стану FFFF до стану FFFA. Кожна вершина орієнтованого графа, зображеного на рис.5.4, має петлю. Це означає, що будь-який стан системи може зберегтись протягом часового кроку прогнозу. Дуги графа переходів симетричні - це показує зворотність процесів, які відбуваються у системі. Наприклад, якщо у суцільному лісі з'явилася галявина (FFFF \Rightarrow FFFA), то не виключається можливість заростання цієї галявини (FFFA \Rightarrow FFFF). Увесь зміст функції переходів полягає у тому, щоб поставити у відповідність кожній дузі цього графа деяку ймовірність, яка залежить від стану сусідніх клітин, напряму

переходу, постійних характеристик розташування клітини (наприклад, висоти над рівнем моря або експозиції схилу) і сценарію розвитку регіону.

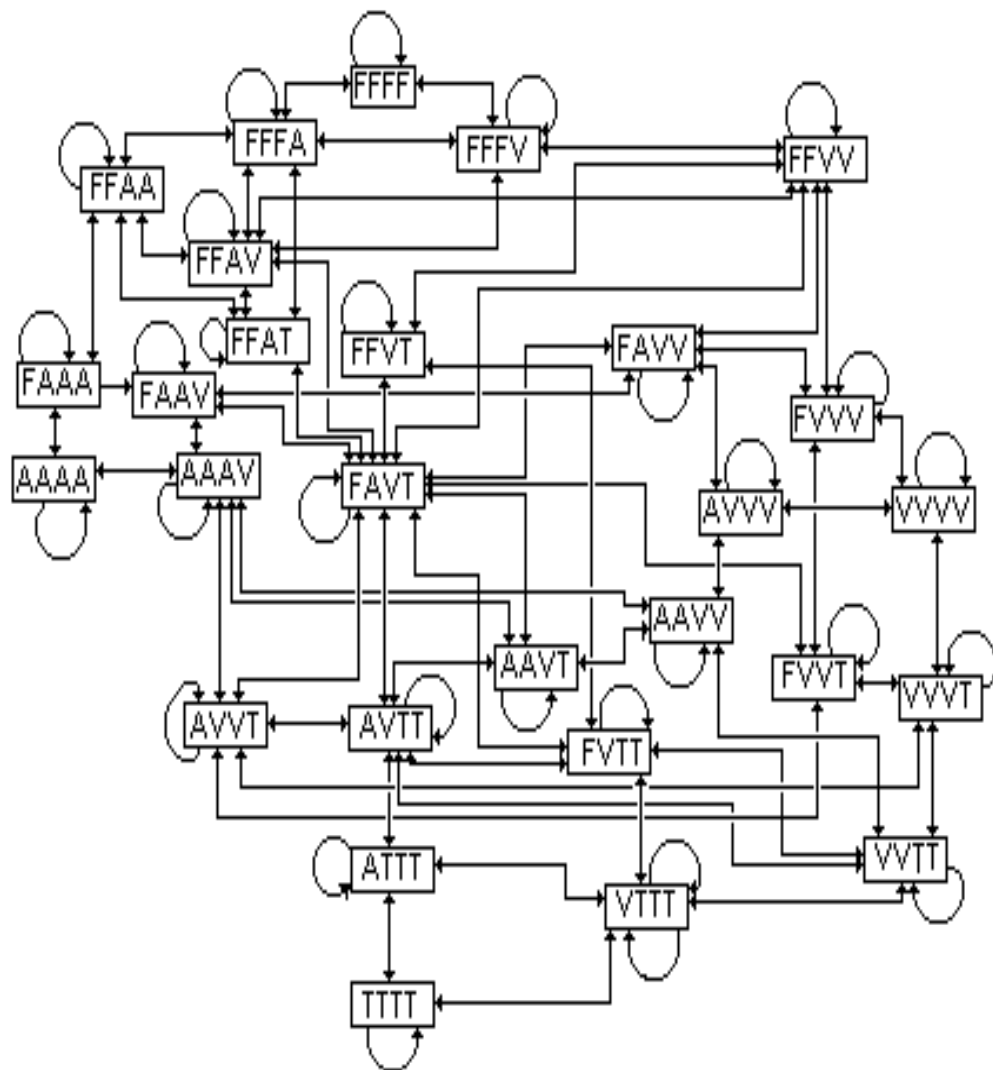


Рис. 5.4 Граф переходів автомата

Були розглянуті різні сценарії розвитку регіону Бещад. Сценарій 1 передбачав збереження функції переходів і зовнішніх впливів такими, якими вони були у 90-х роках. Це означає, що на території Національного парку відсутні антропогенні впливи на систему, а самі межі Національного парку не зазнають змін у часі. Поза Національним парком відбувається процес заліснення необроблюваних земель, однак інтенсивність цього процесу нижча, ніж на території парку.

Сценарій 2 - інтенсивний розвиток регіону на основі приватизації землі поза Національним парком і, як наслідок, збільшення інвестицій у сферу виробництва та обслуговування. В алгоритмі функції переходів клітинного автомата це виражається у збільшенні ймовірності переходу із станів, які містять символ А до стану із символом V із одночасним зменшенням вірогідності зворотного переходу. Інтенсифікується процес переходу поселень сільського типу до міських поселень, а також скорочення площі лісів у районі перспективних населених пунктів.

У сценарії 3 зроблена спроба врахувати вплив глобальних змін клімату на регіон. Щодо регіону Бещад, це виражається у підвищенні температури повітря та скорочення атмосферних опадів. В алгоритмі функції переходів клітинного автомата це відповідає збільшенню ймовірності переходу станів із вмістом символу F у стан із вмістом символу А, якщо через клітину або через її сусіда протікає річка. Екологічний сенс такої зміни функції переходів полягає у зменшенні площі вільхових лісів у заплавах річок.

Результати функціонування моделі для всіх трьох сценаріїв з одного і того ж початкового стану, відповідного даним 1998 року, наведені у таблиці (Табл. 8.1). Розвиток подій за сценарієм 1. призводить до істотного збільшення площі лісів за подальшого скорочення площі сільсько-господарських угідь. Одночасно відбувається зростання міст і селищ сільського типу.

Приватизація (сценарій 2) призводить, за прийнятих змін у функції переходів, до різкого зростання площі, зайнятої селищами сільського типу. Сумарна площа, зайнята лісами, залишається майже така, як і у 1998 році, оскільки істотне скорочення площі лісів у північній частині Бещад компенсується підвищенням площі лісів на території Національного парку.

Таблиця 5.1. Відсотковий розподіл площі регіону Бещад у різних станах (сума в усіх стовпцях, крім першого, менша 100% через спорудження у 1964 році водосховища Соліна, площа якого складає близько 1% території)

Площа, %	1936	1998	Прогноз на 2100 рік		
			Сцен. 1	Сцен. 2	Сцен. 3
Ліс	42.6	63.7	73.9	65.5	66.9
Луки, і с/г угіддя	47.7	29.5	14.5	11.9	21.9
Села	9.3	5.5	9.5	20.4	9.5
Міста	0.4	0.2	1.1	1.1	1.1

Імітація глобальних змін клімату (сценарій 3) призводить до уповільнення зростання площі лісів в порівнянні з розвитком подій за сценарієм 1. При цьому скорочення площі лісів в заплавах річок значною мірою компенсується зростанням площі букових лісів, що займають схили гір до висоти 1000 м над рівнем моря.

На закінчення спробуємо коротко представити модель (BIESZCZADY CELLULAR AUTOMATA MODEL) яку залучаємо на плиті доданій до книги. Саме вікно моделі досить просте (Рис. 5.5).

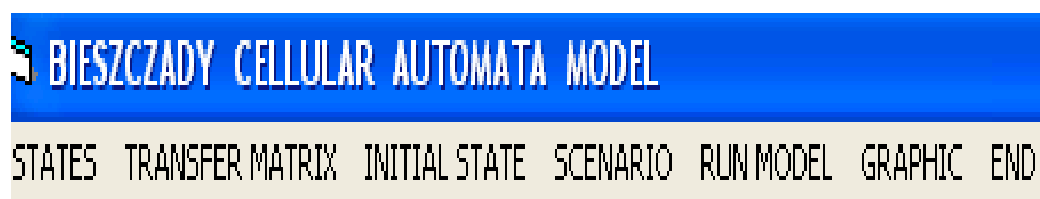


Рис. 5.5 Вікно моделі

Урухомивши модель, можна оглянути стани клітин (Рис. 5.6). Для цього потрібно натиснути на надпис *STATES* (перший з лівої сторони). Побачимо усі 28 станів, про які ми вже згадували.

Натиснувши напис *SCENARIO*, маємо можливість вибрати кілька сценаріїв, як наприклад заліснення, розвиток сільського господарства, і інші.

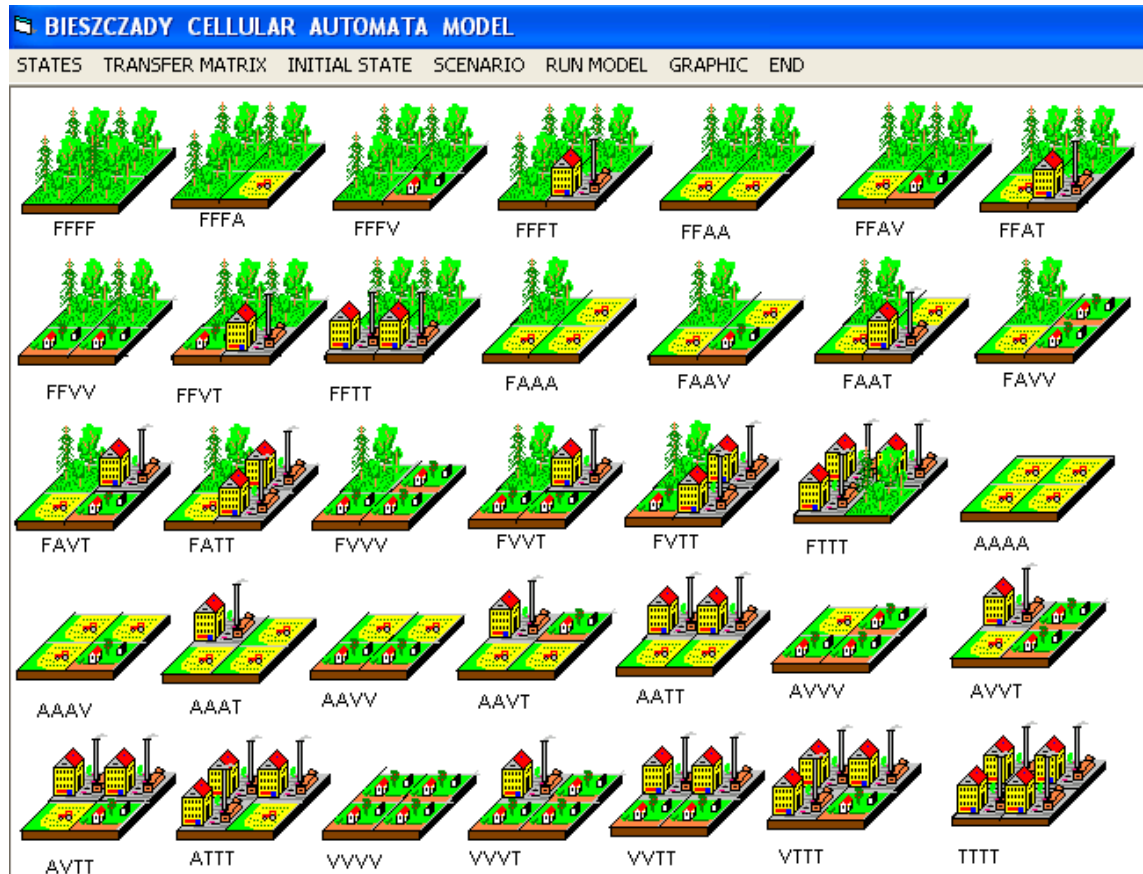


Рис. 5.6. Зображення станів

Покажемо (Рис. 5.7) лише, як діє модель на прикладі сценарію заліснення (FORESTATION) з надією, що усі інші сценарії студенти зможуть урахувати в аналогічний спосіб (просимо лише пам'ятати, що кінцеві результати імітації у сценарії стають початковими за повторної імітації (повторному натисканні RUN MODEL у цьому ж сценарії)).

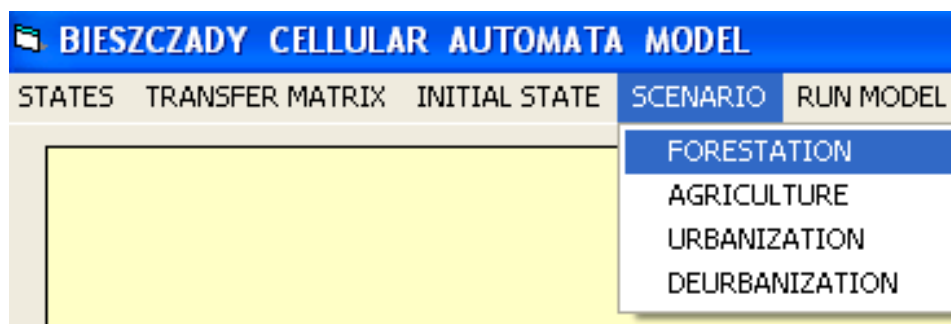


Рис. 8.7. Вибір сценарію заліснення

Цікаво, що при виборі цього сценарію модель буде діяти згідно із матрицею FOR (Рис. 5.8). Цю матрицю можна побачити за натискання другого зліва напису (TRANSFER MATRIX).

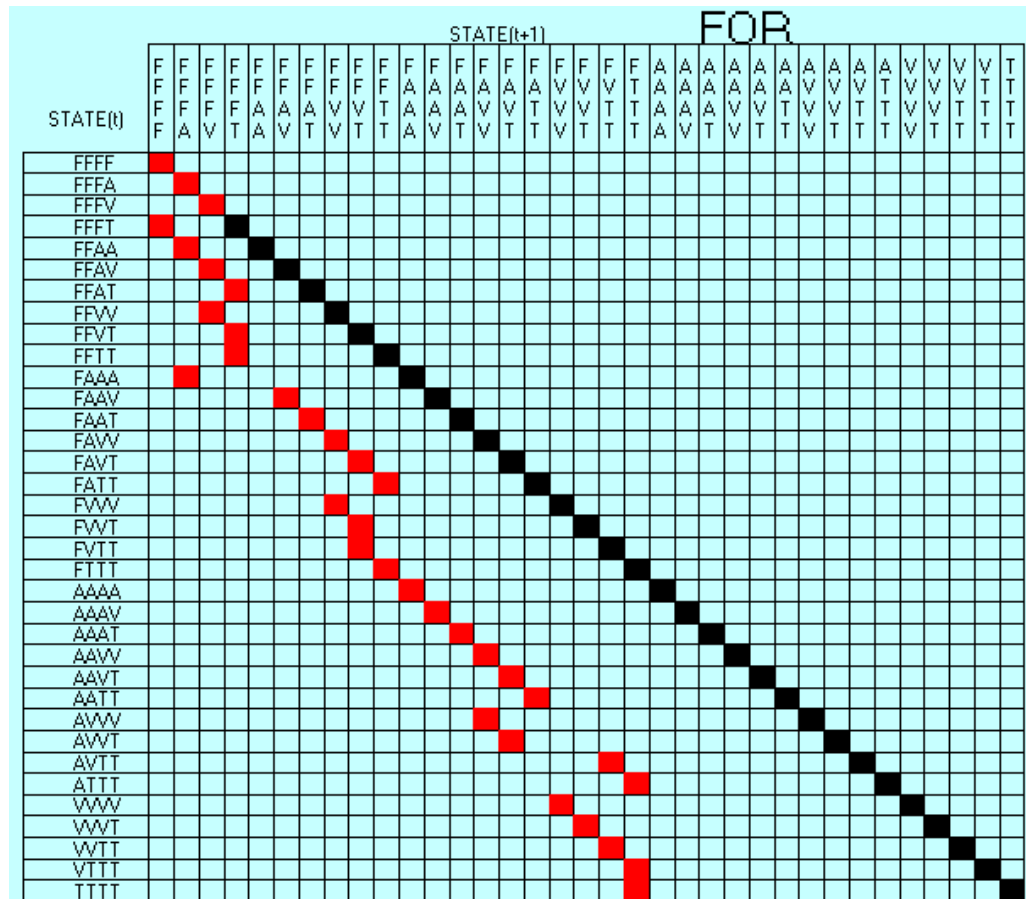


Рис. 5.8. Матриця заліснення

Тепер можемо відкрити початковий стан (INITIAL STATE) і побачити, яким був стан моделі у 2010 році (Рис. 5.9). Як бачимо, найбільше було клітин, зайнятих лісовими латками (F =1892). Сільсько-господарських було набагато менше (A=908). Небагато було сільських (V=161) і зовсім мало міських (T= 7).

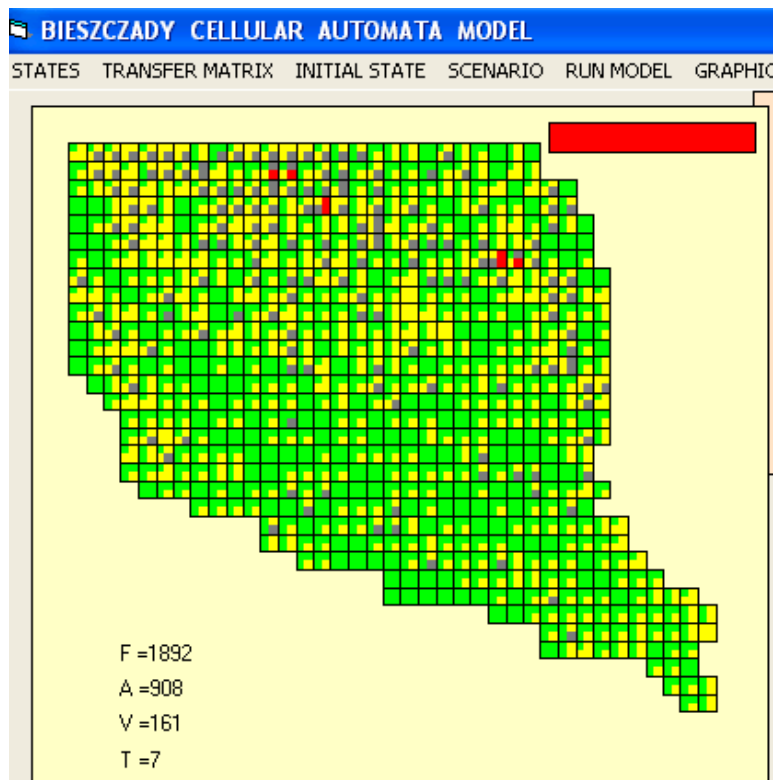


Рис. 5.9. Початковий стан клітин Бещад у 2010 році

Після натискання RUN MODEL модель потребує декілька секунд для прогнозування на 100 років, тобто представить нам стан клітин, який може бути у 2110 році (Рис. 5.10). Як бачимо, у сценарії заліснення у 2010 році кількість клітин, які можуть бути зайняті лісовими латками, зростає до 2224 ($F=2224$). Як видно на схемі, що у лівій частині рисунку- таке збільшення може відбутись за рахунок сільськогосподарських угідь.

Ще декілька слів про перспективу. У перспективі можна диференціювати у моделі поняття лісу. Адже на території Бещад зростають букові, ялинові, ялицеві, вільхові і навіть яворові деревостани. Спроба більш глибокої диференціації може призвести до ускладнення функції переходів.

Інша річ полягає в тому, що прийнятий у моделі поділ території регіону на квадрати розміром 2 на 2 км може бути змінений. Перехід на гексагональну координатну сітку із розбивкою у площині на правильні шестикутники хоч є більш природним, але може створювати додаткові труднощі за обробки картографічного матеріалу.

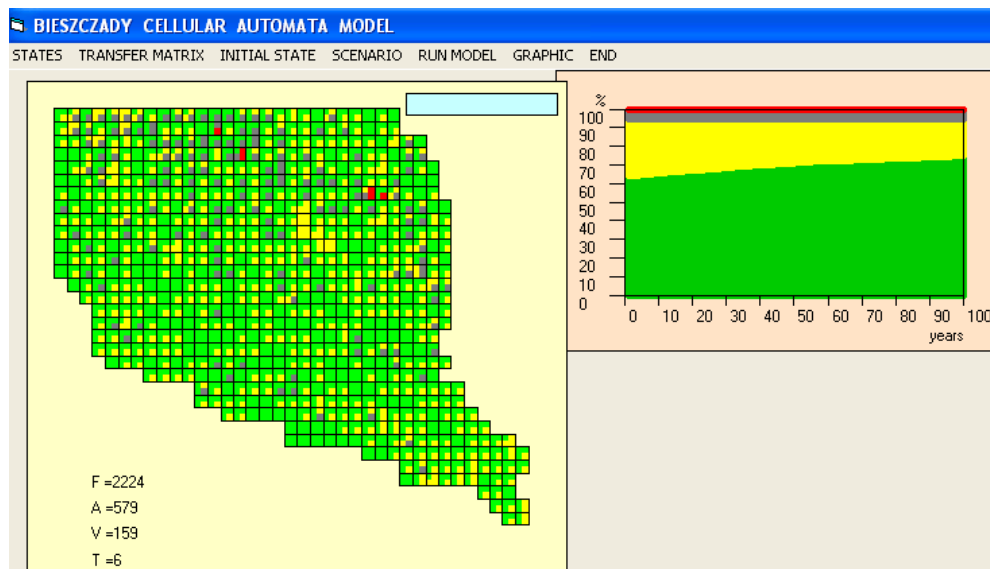


Рис. 8.10. Стан клітин Бещад у 2110 році

Найбільш привабливим є використання природних меж латок і коридорів. Мусимо зазначити, що цей спосіб є дуже трудомістким через різну і змінну у часі площу окремих латок. Такий підхід вимагає розробки спеціального програмного забезпечення працюючого спільно із географічно-інформаційною системою (ГІС). Справа ускладнюється ще й тим, що межі латок, як правило, не збігаються із межами адміністративних утворень (лісництв, сільських рад та інших) за якими ведеться статистичний облік.

Перебіг атмосферних процесів над регіоном, зміна концентрації вуглекислого газу і переміщення забруднень також впливають на динаміку ландшафтно-екологічних систем регіону. Досить складна орографічна система Бещад створює передумови для розвитку мікрокліматичних неоднорідностей, місцевих вітрів та інших явищ, які можуть впливати на перебіг екологічних процесів у латках. Тому доцільно у перспективі ставити питання про стикування моделі регіону із відповідними моделями локальних кліматичних змін та атмосферних переносів. Класичне формулювання клітинного автомата і, пов'язане з ним поняття про просторово-часові марківські ланцюги, можливо, варто трохи змінити, якщо виходити із застосування цих понять до ландшафтно-екологічних систем. Наприклад, з урахуванням гідрологічної мережі у горах поняття сусідньої клітини може бути більш цікавішим, ніж у класичному випадку. Облік

впливу ґрунтових вод ще більше урізноманітнить досліджувану проблему. Чи, наприклад, карта, яка у класичному підході закладається незмінною у часі, у реальній ситуації сама може стати залежною від станів клітин, для цього вистачить і глобальних змін клімату або інвестиційного клімату держав.

Практична робота №6

Тема: Аналіз екологічних процесів з «FRAGSTATS»

Вступ

Програма FRAGSTATS служить для аналізу процесів, що відбуваються у навколишньому середовищі, змін у динаміці популяцій, мозаїці ландшафтно-екологічних систем. Вона дозволяє обчислити взаємозв'язок між різними екосистемами. Ця програма аналізує дані у вигляді файлів ASCII.

Хід роботи:

Розглянемо найважливіші кроки у програмі FRAGSTATS. Покажемо доступні функції на простому прикладі. Для роботи у програмі повинні бути створені текстовий файл (файл ASCII). У цьому файлі знаходяться цифри, які символізують визначені нами латки. Цифри вписуємо на основі відтворення карти за допомогою цифр. Наприклад, присвоюємо цифру 1- для луки та цифру 2 для лісу (Рис. 6.1).

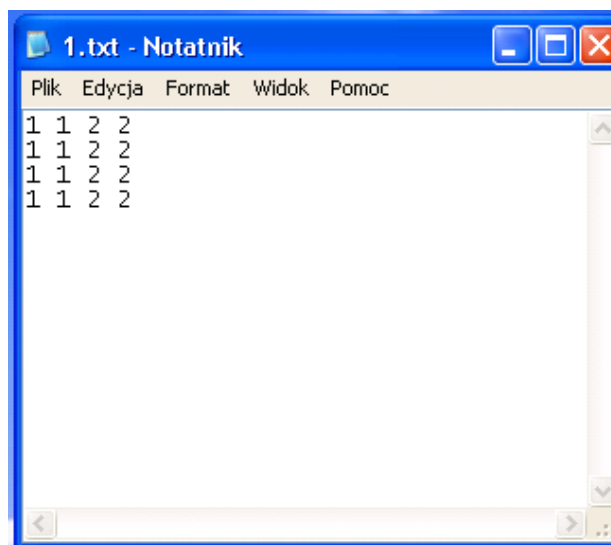


Рис. 6.1. Приготування файлу ASCII

Цифри вписуємо послідовно, залишаючи "простір" між ним, а у кінці рядка ставимо "Enter". Коли закінчимо створювати таким чином карту, тоді зберігаємо файл у будь-якому місці. Ось приклад такого файлу.

На наступному рисунку зазначимо кроки, які мусимо виконувати послідовно (Рис. 6.2), щоб програма працювала належним чином.

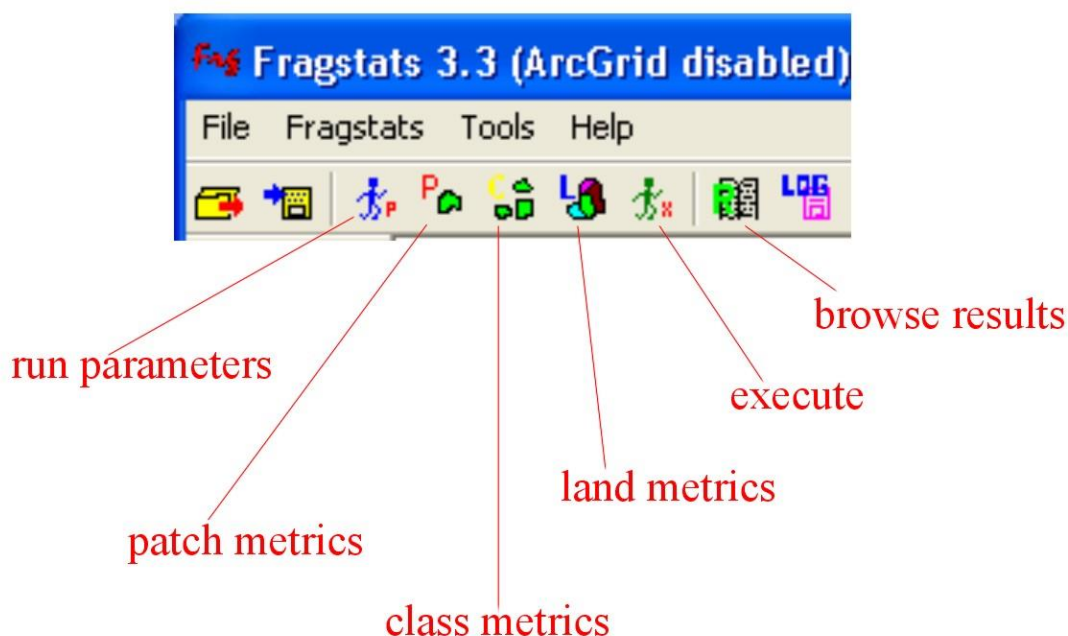


Рис. 6.2. Кроки послідовних дій у програмі FRAGSTATS.

Спочатку натискаємо на значок "Run parameters", а потім на усі наступні зліва направо.

З'явиться діалогове вікно, у якому ми відкриваємо наш файл, вводимо вихідні дані і вибираємо параметри, які нас цікавлять (Рис.6. 3).

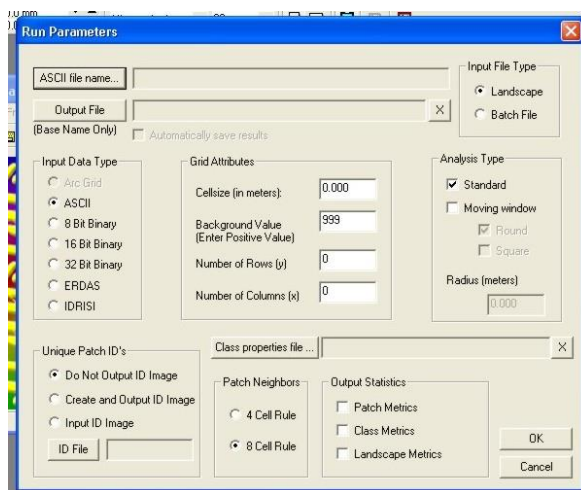


Рис.6. 3. Вікно для вписування даних

Дивлячись зверху, ми натискаємо *ASCII file name* і відкриваємо наш створений попередньо текстовий файл. Вписуємо (Рис.6. 4) розмір клітини *Cellsize* у метрах, кількість рядків *Number of Rows* і стовпців *Number of Columns* (які ми ввели у файлі, у даному випадку 4). Потім виберемо число сусідів *4 Cell Rule* і зазначимо до подальшого аналізу *Patch Metrics*, *Class Metrics*, *Landscape Metrics*. Підтверджуємо, натискаючи "OK".

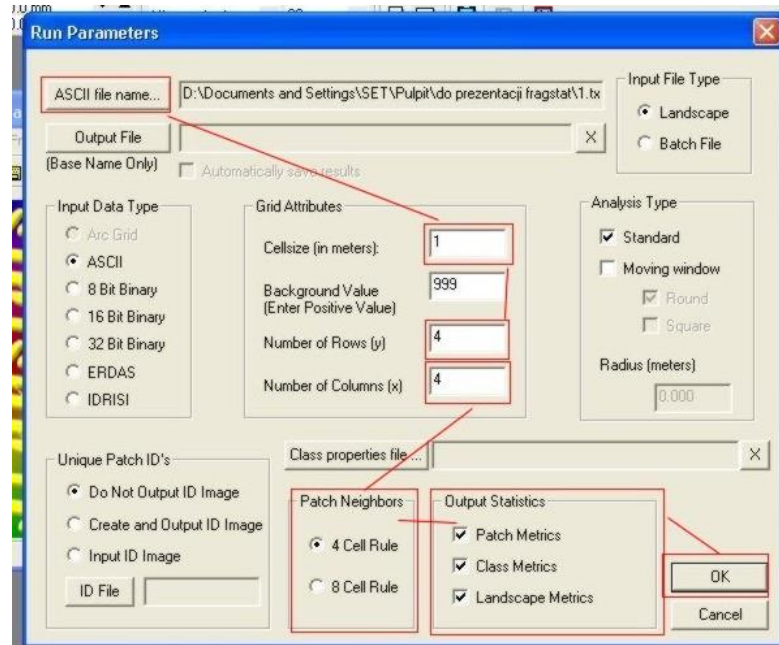


Рис.6. 4. Вибір параметрів до аналізу

Після введення даних на головному вікні з'явиться наступне зображення (Рис.6. 5).

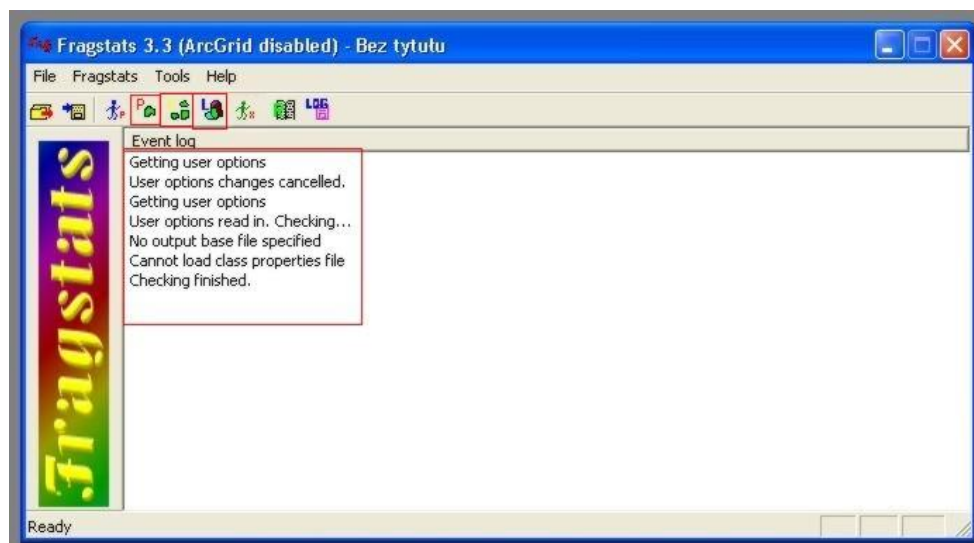


Рис.6. 5. Вікно після введення даних

Згодом вибираємо потрібні закладки у *Patch Metrics* (Рис. 6.6).

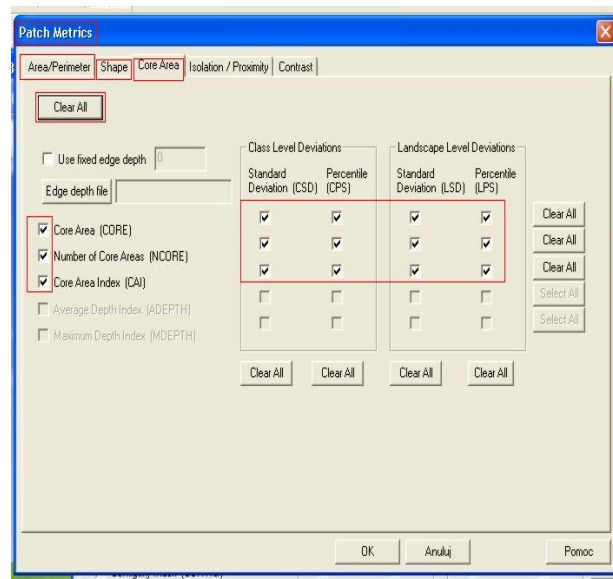


Рис. 6.6. Приклад вибору параметрів для метрик латок (Patch Metrics).

Аналогічно вибираємо параметри (Рис. 6.7) для метрик класу (Class Metrics) чи теж параметри (Рис. 6.8) для метрик ландшафту (Land Metrics). При виборі параметрів варто бути готовим на те, що зазначаючи усі параметри (*Select all*), програма може повідомляти про помилки. Тому радимо окремо зазначати параметри, стежачи, чи програма не повідомляє нас про помилки.

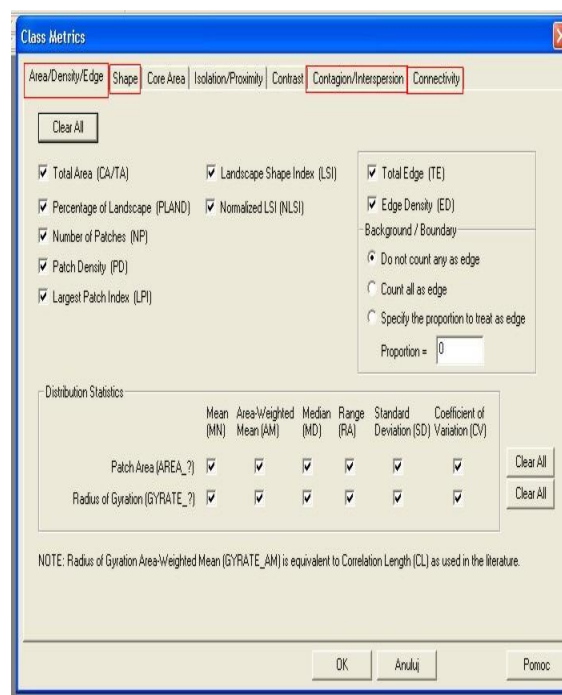


Рис. 6.7. Приклад вибору параметрів для метрик класів (Class Metrics).

У перспективі програма FRAGSTATS може бути використана разом із програмою "AUTOMATY KOMÓRKOWE". Адже обидві вони працюють на основі текстових файлів (файли ASCII). Погнози, зроблені у наших оригінальних моделях із групи "AUTOMATY KOMÓRKOWE", можна детально проаналізувати у програмі FRAGSTATS. Важливо, щоб встановити такий же розмір (Wymiary) і кількість квадратів (Pole kwadratów) в (Рис. 6.9) обидвох моделях.

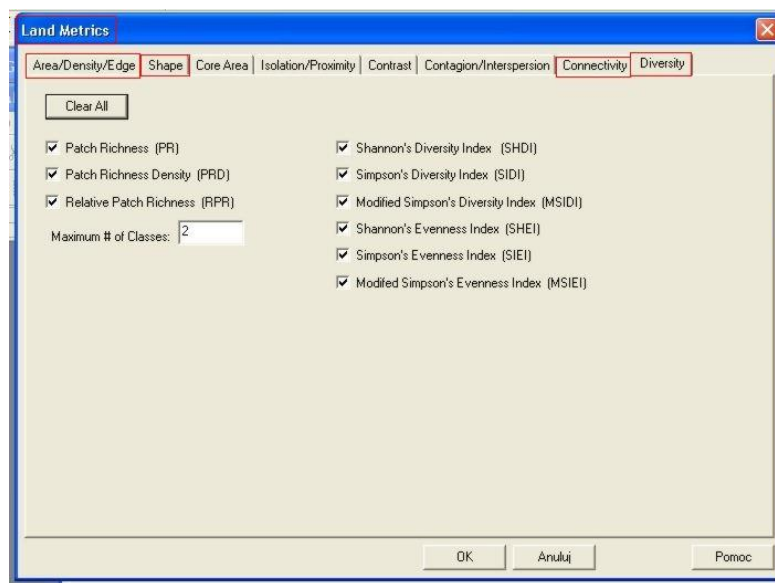


Рис. 6.8. Приклад вибору параметрів для метрик класів (Land Metrics).

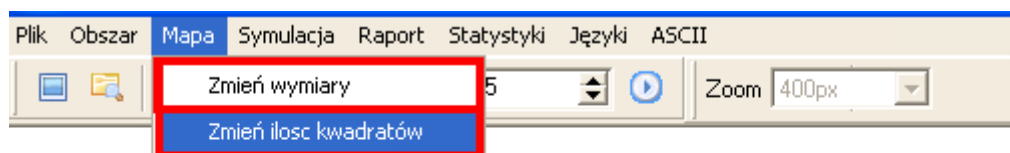


Рис. 6.9 Вписування розміру і кількості квадратів у моделі "AUTOMATY KOMÓRKOWE4"

FRAGSTATS аналізує багато різноманітних метрик. Сама програма із часу випущення на ринок у 1995 році постійно змінюється і являється популярною серед користувачів. Не будемо аналізувати усіх метрик (їх дуже багато, понад 500). Подамо кілька публікацій, у яких можна віднайти потрібні формули для метрик (McGarigal, Marks 1995; Chmiel, Lady-Drużycka, 2001).

Практична робота №7

Тема: QGIS в екологічних дослідженнях

Вступ

Quantum GIS (скорочено QGIS) на відміну від ArcGis - це безкоштовне програмне забезпечення ГІС, що дозволяє широко використовувати його у наукових дослідженнях та у навчальному процесі.

Ця програма дозволяє управляти географічними даними, створювати свої власні дані, створювати карти, виконувати просторовий аналіз і навіть використовувати дані GPS. QGIS. Може також виступати як графічний інтерфейс користувача для програмного забезпечення GRASS (Geographic Analysis Support System).

Деяка інформація про програму. Роботи над програмою розвитку QGIS розпочав Гарі Шерман у 2002 році. Це призвело до створення проекту із відкритим вихідним кодом Geospatial Foundation у 2004 році. Із тих пір група постійно удосконалює QGIS. Допомагають інформатики з усього світу, які діють на принципах добровільності. У даний час програма доступна на 32 мовах (на жаль, ще немає українськомовного варіанту).

На даний момент QGIS використовується у багатьох академічних і професійних працях для накопичення і обробки просторової інформації про навколишнє середовище у тій чи іншій географічній системі координат. Це може бути як інформація про явища, що відбуваються у природі у безперервному режимі, такі, наприклад, як висота над рівнем моря точки на місцевості чи наприклад інформація про зайнятість земельних ділянок і ін. Ця інформація може зберігатись у різних формах, наприклад, у вигляді растрових, векторних об'єктів і т. д.

Векторні системи серед ГІС можна поділити на системи, що дозволяють збирати інформацію у векторній формі. База даних цієї системи містить інформацію про форму елемента і його атрибути. Растрова форма - це інший спосіб збору даних, що зберігаються у растрових системах. Ці системи зберігання даних зібрані із регулярних точок сітки, хоча цей тип сітки може мати різні форми. Ця форма зберігання інформації дозволяє на дуже швидкий доступ та обробку даних.

Обидві системи, такі як растрові і векторні, працюють із шарами. Це означає, що кожен аспект географічного простору зберігається в окремому шарі.

Хід роботи

Для того, щоб запустити QGIS, необхідно вибрати іконку програми із меню (безкоштовну версію програми можна легко побрати з інтернету і заінсталювати на комп'ютер). У випадку урухомлення заінстальованої програми Пуск> *Програми*> *Quantum GIS1.5.0 - Tethys* побачимо вікно програми Quantum GIS1.5.0 – Tethys (Рис. 7.1).

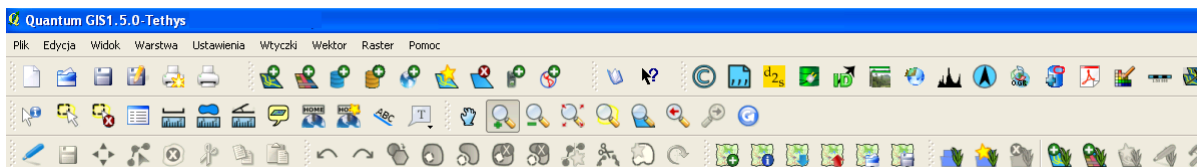


Рис. 7.1. Вікно Quantum GIS1.5.0 - Tethys

Якщо ви не бачите усіх панелей інструментів, ви можете легко їх додати. Для цього потрібно вибрати *Widok>Paski narzędzi* (Рис. 7.2) та зазначити ті ікони, які не зазначені. Після цього вони появляться в інтерфейсі. Звичайно, якщо не користуємося відразу усіма можливостями програми, то їх можна не уактивнювати, щоб залишити більше місця для роботи із картами.

Звичайно, що практичні заняття із QGIS, які повинні виробити навички у студентів щодо дослідження ландшафтно-екологічних систем, можуть базуватись на різних елементах програми.

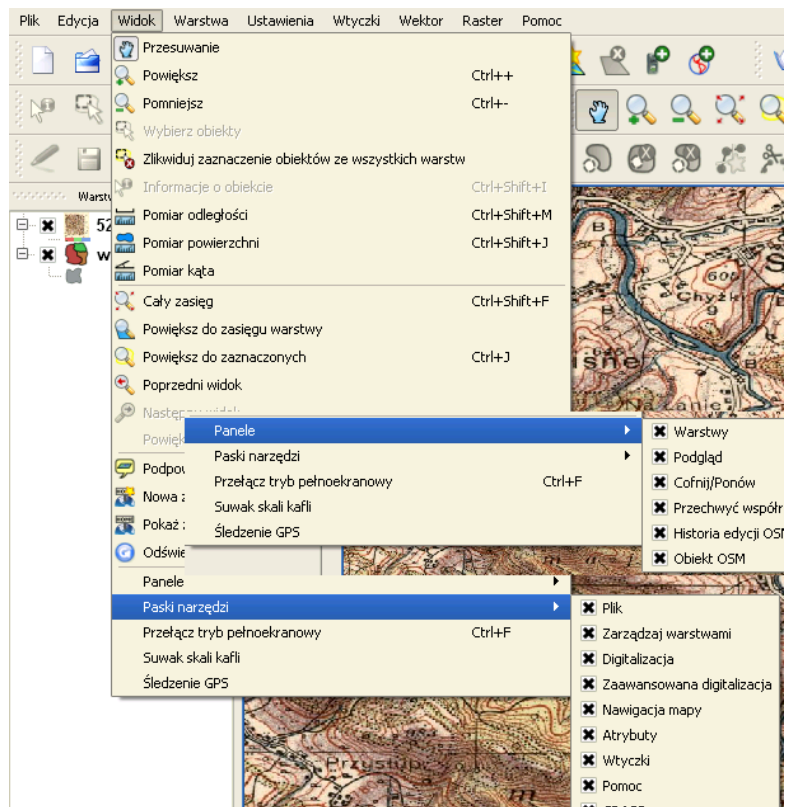


Рис. 7.2. Додавання ікон (кнопок управління) у QGIS 1.5.0 – Tethys

Наприклад, досить корисними і цікавими для студентів можуть бути заняття із геореференції. У цьому випадку після урухомлення програми QGIS потрібно відразу перевірити, чи заінстальовано *Georeferencer*. Для цього натискаємо у верхній лінійці меню (6 позиція зліва направо) ікону *Wtyczki* (Рис. 7.3), а також *Zarządzaj wtyczkami*. Після цього появиться перелік і серед них повинна бути зазначена *Georeferencer GDAL*. Щоб прискорити час праці, можна відразу зазначити усе (кнопка у нижній частині ікони друга зліва під назвою *Zaznacz wszystko*).

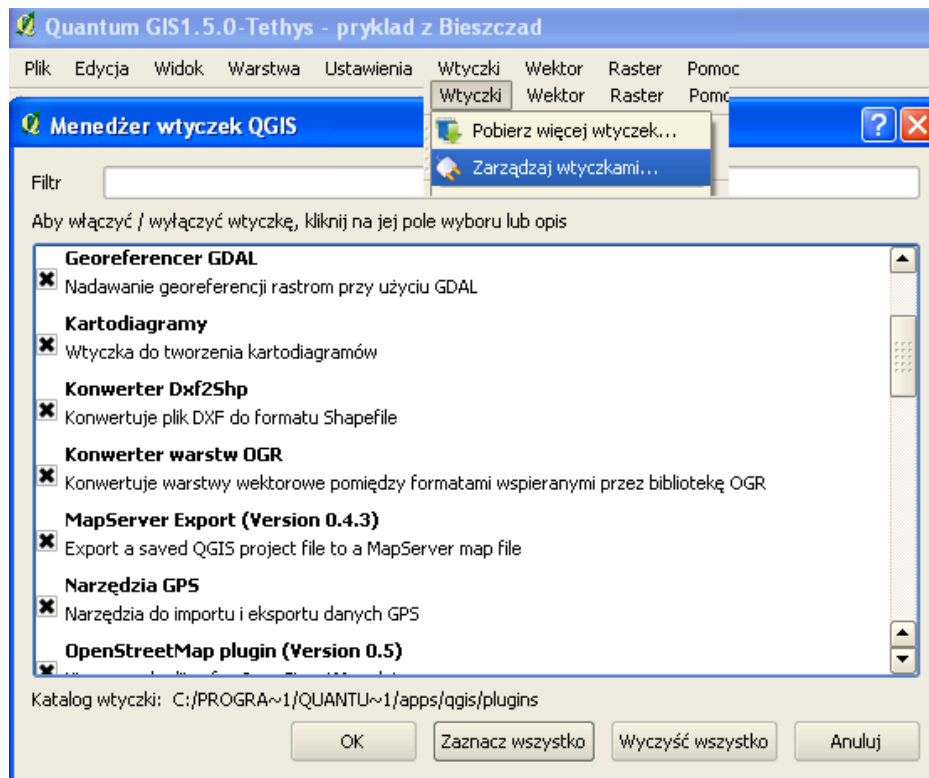


Рис. 7.3. Активація геореференції.

Після цього встановлюємо систему координат проекту. Для цього уактивнюємо (Рис. 7.4) *Ustawienia -> Właściwości projektu -> układ ERTS/LAEA/92 (EPSG: 2180)*. Це Європейська система координат. Можна також зазначити перетворення системи координат на льоту (як це зробити, напишемо дещо пізніше).

У програмі QGIS можна розмістити згідно із координатами різні карти. Тобто зробити їх геореференцію. Наприклад, на сервері WIG (Військовий Інститут Географії) можна взяти карти з 1936-1938 років (Рис. 7.5). Бачимо номери і назви прямокутників. Кожен із них - це карта у мірілі 1:100000 із координатами по краях карти. Можна знайти в інтернеті карти у мірілі 1:100000, видані пізніше у 80 -х роках. Усі вони є для території України. Цікавим може бути порівняння старих і нових карт та аналіз на їх основі змін у структурі ландшафтно-екологічних систем.

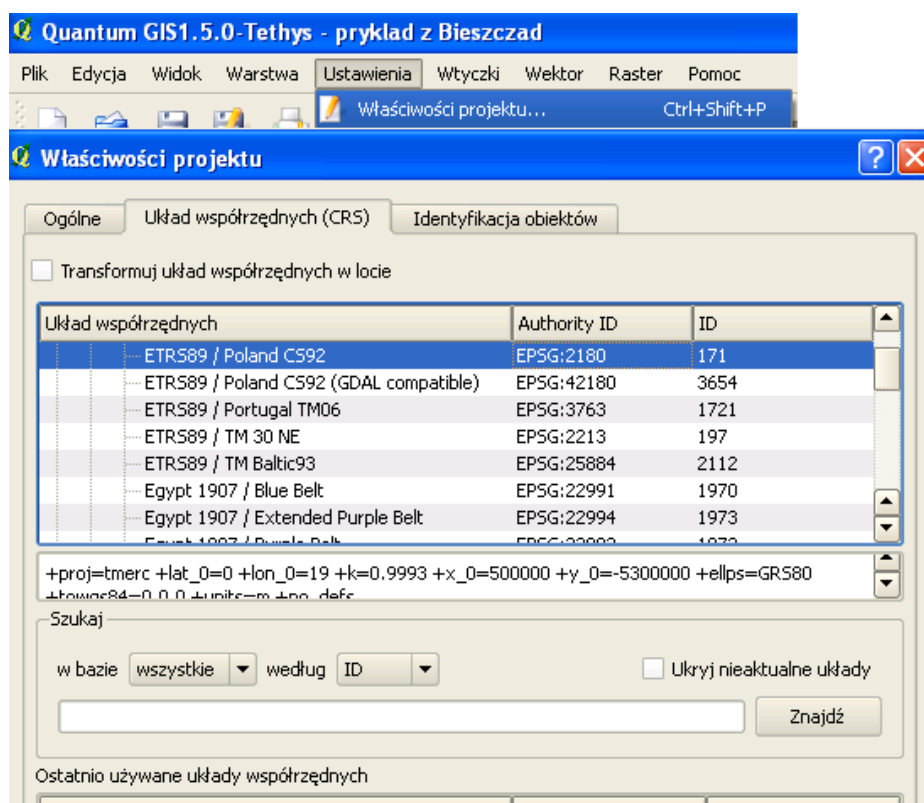


Рис. 7.4. Встановлення системи координат

Але повернемося до карт 1936-1938 років із сервера WIG, із якого можна побрати листи у мірілі 1:100000 у вигляді растрових карт. Вибрані растрові листи карт можна одночасно відкрити у QGIS у вигляді окремих шарів (Рис. 7.6). Виберемо для демонстрації дій у програмі один лист із території Польщі. Це Dzwiniacz Górny (Рис. 7.7) із номером P52 S35 (P – означає номер пасу, тобто поперечний номер, а S - це номер стовпа, тобто вертикальний номер). Ця територія, що названа Dzwiniacz Górny P52 S35 знаходиться у Бещадах на межі із Україною та Словаччиною.



Рис. 7. 7. Лист Dzwiniacz Górny P52 S35 із серверу WIG, записаний як рисунок JPG.

Щоб зробити уже згадану геореференцію із цим листом, потрібно у QGIS стати на закладку *Wtyczki > Georeferencer* (Рис. 7.8). Після цього з'явиться (Рис. 7.9) вікно, у якому можна її реалізувати.

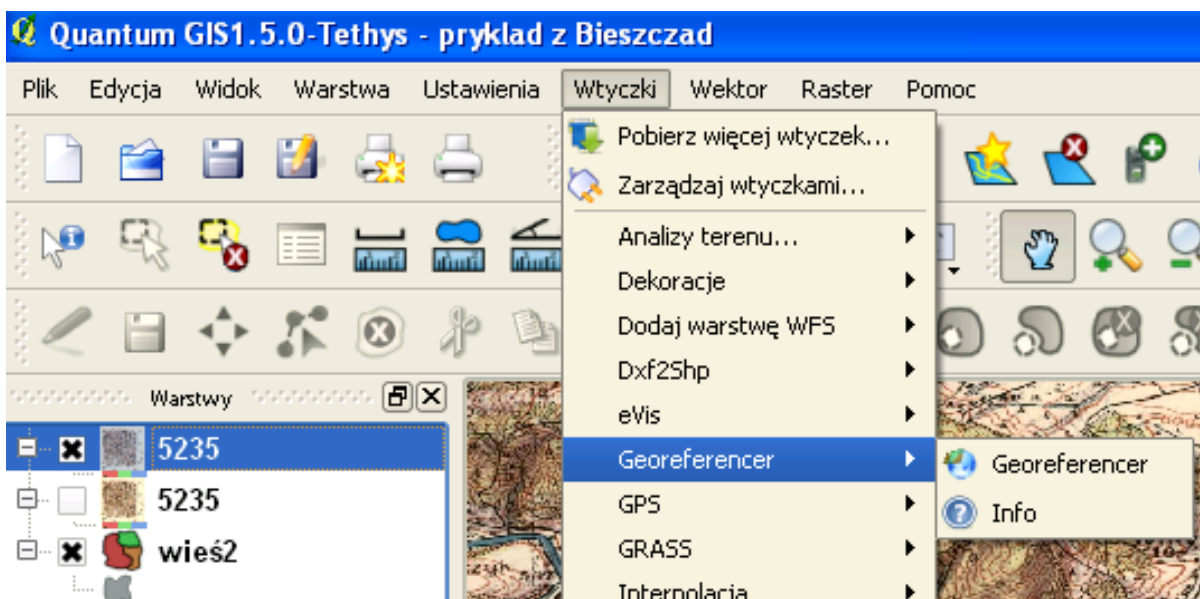


Рис. 7. 8. Шлях до відкриття вікна геореференції

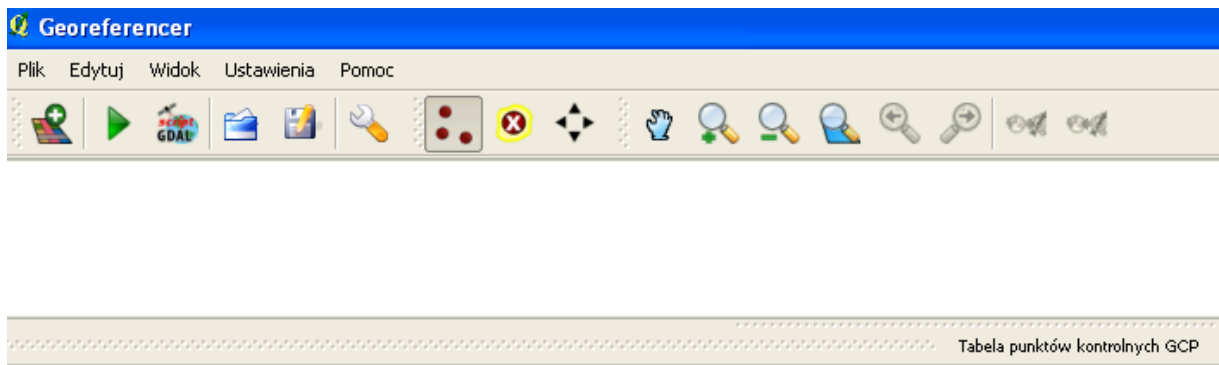


Рис. 7. 9. Вікно для проведення геореференції

Потім відкриваємо растр (*Otwórz raster*) і він появиться у вікні для геореференції (Рис. 7. 10).

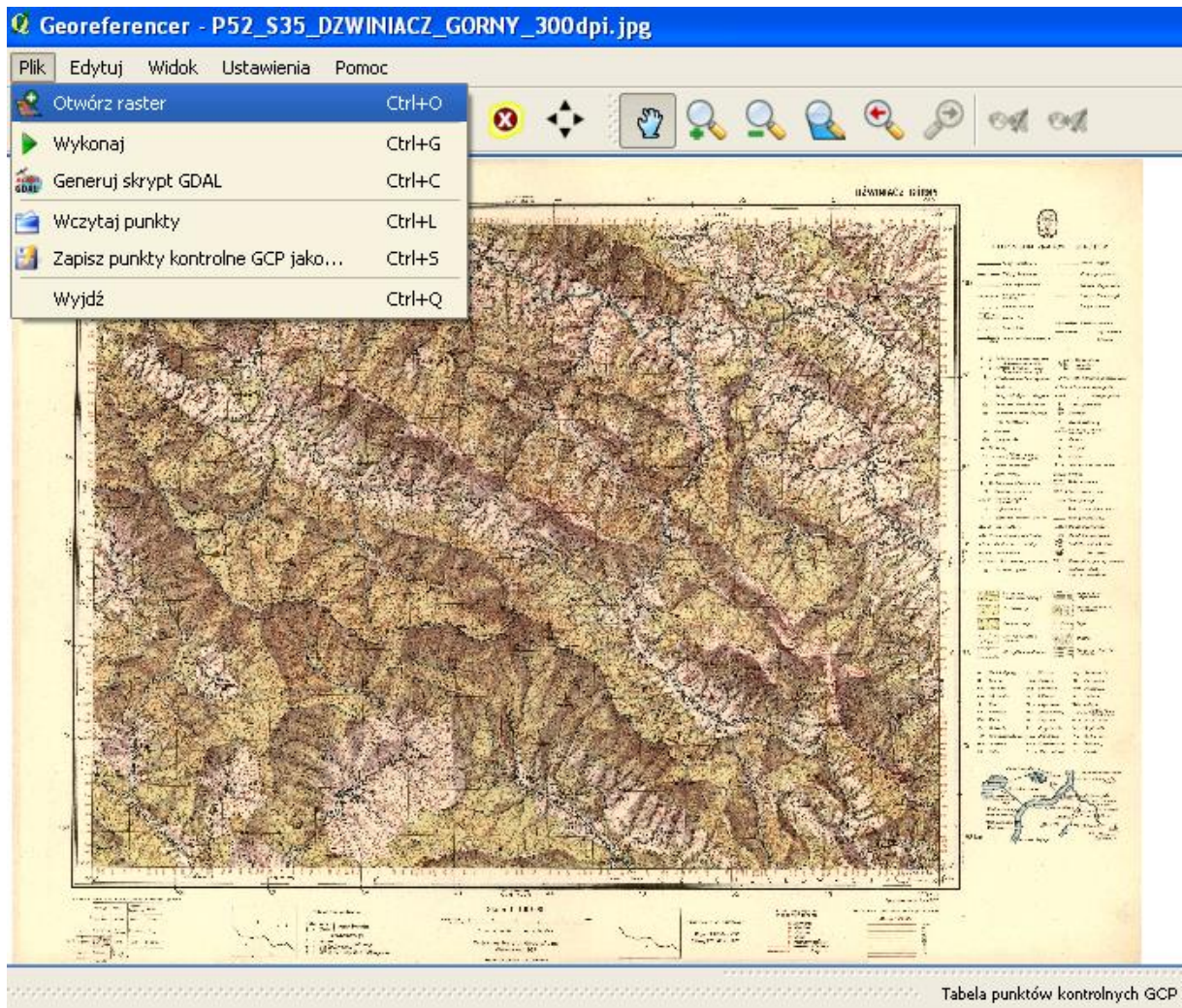


Рис. 7. 10. Відкритий растр до геореференції

На початок вставимо (Рис. 7. 11) пункти (*dodaj punkt*), яким пізніше надамо відповідні координати.

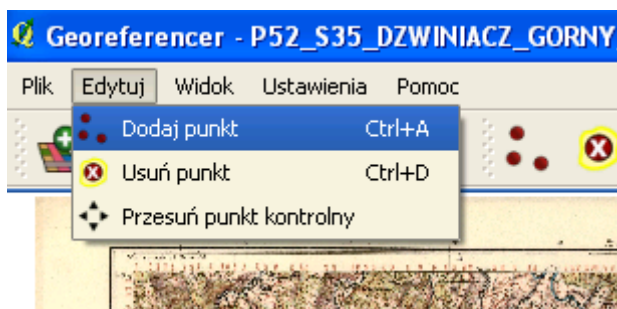


Рис. 7. 11. Програма готова до додавання пунктів

Само додавання можна здійснювати наступним чином. Ставимо по черзі пункти у кожному куті карти. Для кожного із пунктів вписуємо координати. Спочатку вписуємо координати для пункту, який поставили у верхньому лівому куті (Рис. 7. 12). Координати записуємо спочатку для горизонтальної осі X, потім для вертикальної осі Y. При вписуванні координат переписуємо до віконечок градуси із карти навпроти X=22, і навпроти Y=49. У зв'язку із тим, що це довоєнні карти – то хвилини мусимо перерахувати. Їх величина подана від 0 до 60, а мусимо перерахувати її у величину від 0 до 100. Наприклад, якщо на карті є $49^{\circ} 15'$, то ми записуємо 49.25 (25 хвилин отримуємо від ділення 15 хвилин на 60 хвилин).

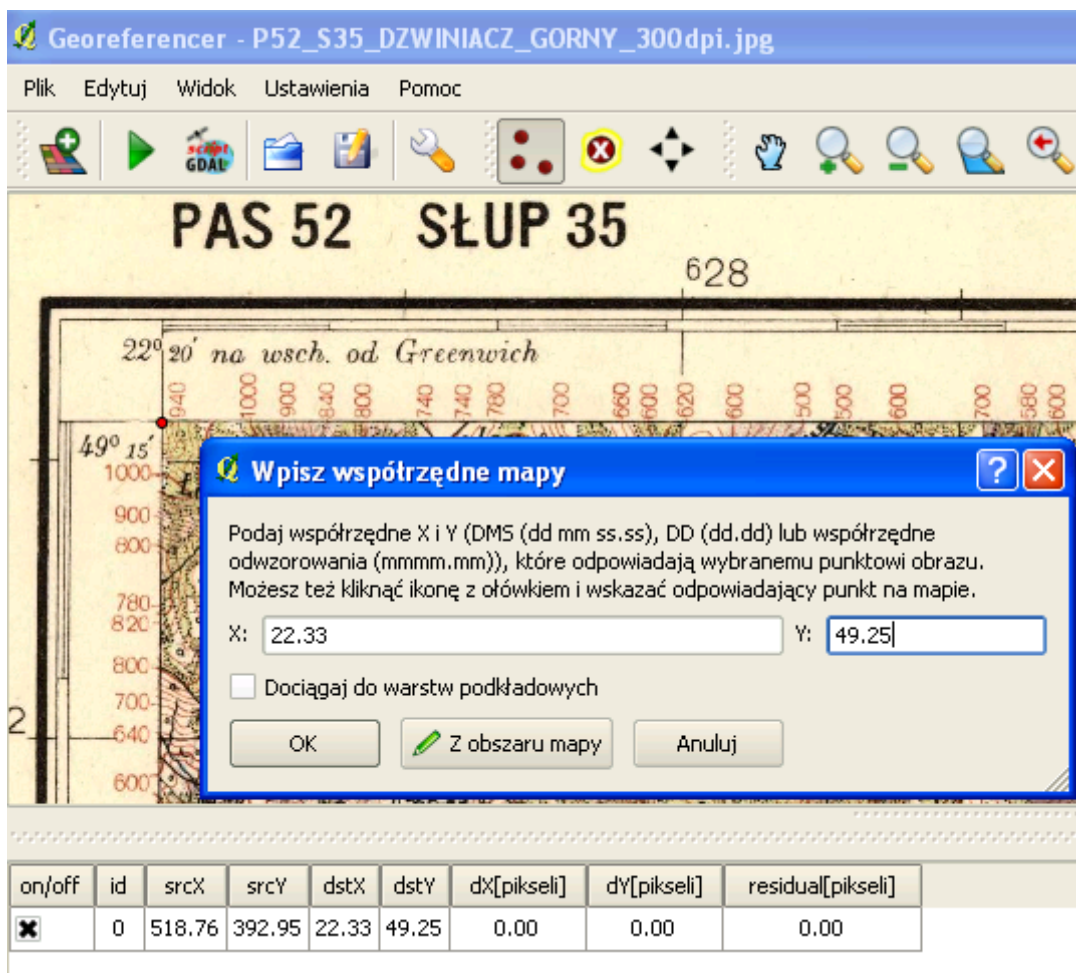


Рис. 7. 12. Вписування координат

Після закінчення вписування координат усіх чотирьох крайніх пунктів перетину сітки координат натискаємо трикутник виконання геореференції (Рис. 7. 13). Програма пропонує вписати ще дані щодо типу трансформації (Рис. 7. 14).

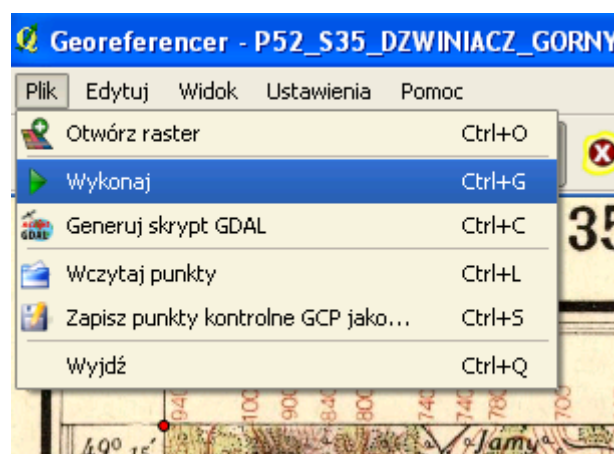


Рис. 7. 13 Виконуємо геореференцію

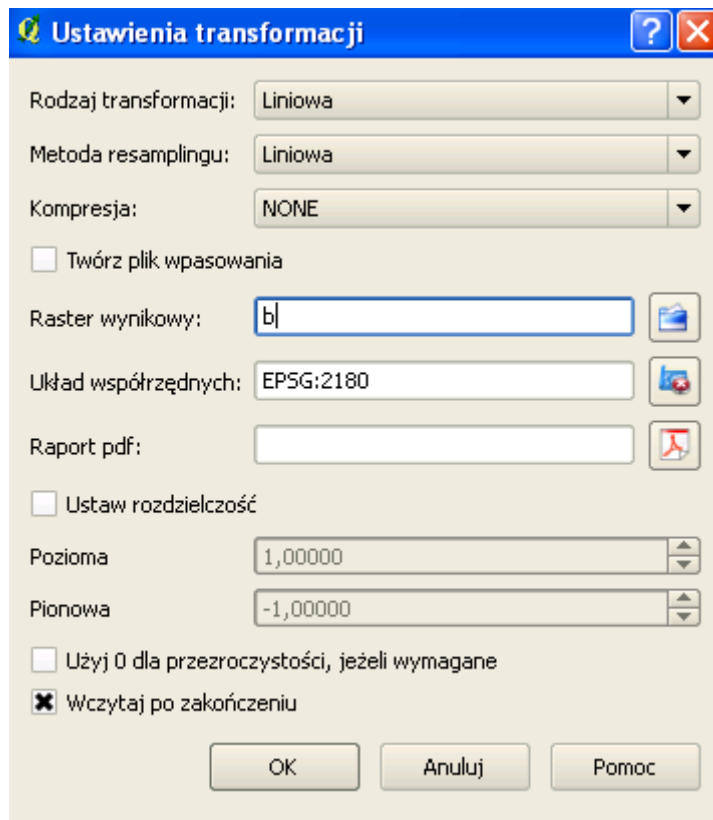


Рис. 7. 14. Вставляння трансформації

Після цього натискаємо ОК. Геореференційований растр з'явиться (Рис. 7.15) у лівій частині програми під назвою 5235. Кожен елемент на ньому буде мати координати.

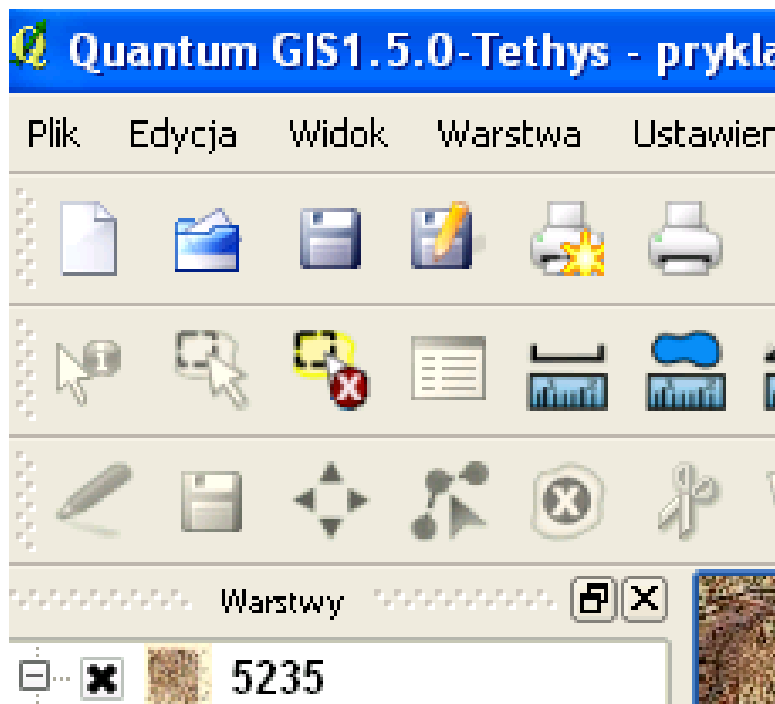


Рис. 7. 15. Геореференційний растр 5235

На цій карті можна вибрати квадрати різної величини, наприклад, від 1 км² і більші. Способом окремих шарів можна створити окремі карти вибраного квадрату, як наприклад, карти лісів, полів, лук чи забудови, застосовуючи спосіб створення полігонів. Можна створити також окремі карти доріг чи потічків способом створення ліній. Кожен студент на практичних заняттях може працювати із окремим растровим листом чи його частиною. Можна при цьому виділяти окремі латки (плати), коридори чи представляти матрицю як тло у межах лісів, полів чи лук. Наприклад, у межах листа Dzwiniacz Górny P52 S35 в околицях села Ступосяни (сучасна Польща) і оконтуримо у ньому, наприклад, населені пункти, що існували перед війною.

Для цього створимо (Рис. 7.16) новий векторний прошарок (*Warstwa <Utwórz nową warstwę wektorową <Nowa warstwa Shapefile*).

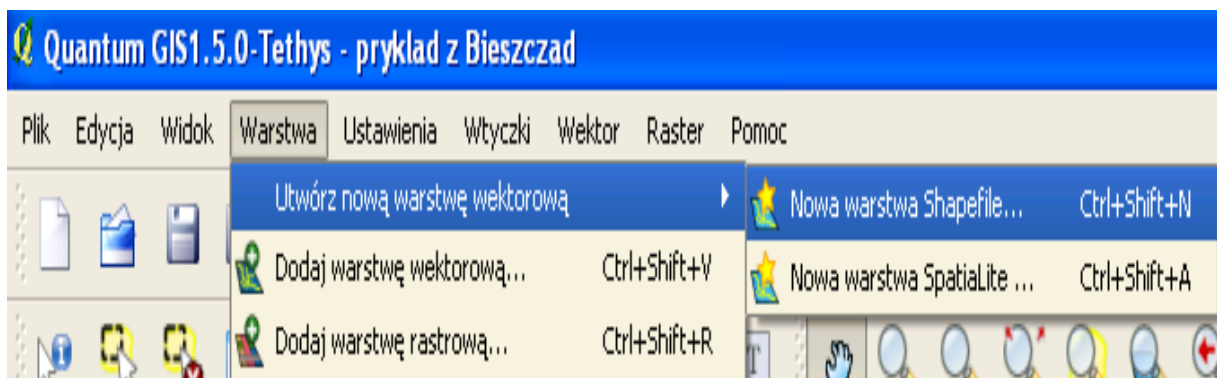


Рис. 7. 16. Створення нового прошарку

Працюючи із новим шаром, мусимо зазначити, чи будемо малювати контури (наприклад заселених чи лісових ландшафтно-екологічних систем), лінії (наприклад дороги чи ріки), чи будемо наносити лише kropki (позначаючи наприклад місцезнаходження окремих видів рослин).

Наносячи заселені ландшафтно-екологічні системи, мусимо вибрати спосіб нанесення полігонів (Рис. 7. 17). Далі зазначаємо систему координат та атрибути до створюваного шару.

Якщо хочемо надписувати назви сіл (а це важливо, бо більшість із них на сьогодні не існує, а були заселені Українцями, яких польське військо депортувало з їх етнічних територій під час горезвісної операції „Wisła”), то мусимо

зарезервувати місце на літери цих назв. Зарезервуємо 80 знаків на назву кожного села. Важливо не забути додати створені атрибути до списку (*Dodaj do listy atrybutów*).

Nowa warstwa wektorowa

Typ

☐ Punkt ☐ Linia ☒ Poligon

CRS ID :=GRS80 +towgs84=0,0,0 +units=m +no_defs Podaj układ współrzędnych

Nowy atrybut

Nazwa села

Typ Dane tekstowe

Szerokość 80 Dokładność

Lista atrybutów

Dodaj do listy atrybutów

Nazwa	Typ	Szerokość	Dokładność
-------	-----	-----------	------------

Рис. 7. 17. Додавання атрибутів до зазначених полігонів

Тепер можемо приступити до оконтурювання кожної заселеної ландшафтно-екологічної системи. Для цього зазначаємо контури кожної із систем (Рис. 7. 18). Після замикання кожного із контурів (правим клавішем мишки) додаємо його назву.

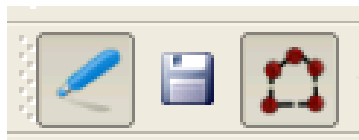


Рис. 7. 18. Інструменти для рисування вибраних полігонів

Крім назви, до таблиці атрибутів можна додати довжину села, його площу чи кількість господарств і ін. (Рис. 7. 19).

Attribute table - wieś2 (76 Feature(s))				
	ID	NAZWA WSI	DLUGOSC WS	ILO
26	28	Ruskie	2	
27	29	Chmiel	2	
28	30	Otryt	6	
29	31	Suche rzeki	2	
43	45	Procisne	2	

Рис. 7. 19 Фрагмент атрибутів

Досить корисною у програмі QGIS є можливість віднайти окремий елемент (неіснуюче село) через креатор запитань ландшафтно-екологічних систем (Рис. 7. 20). Покажемо це на прикладі неіснуючого села Процісне (Рис. 7. 21).

Рис. 7. 20. Приклад пошуку у креаторі запитань

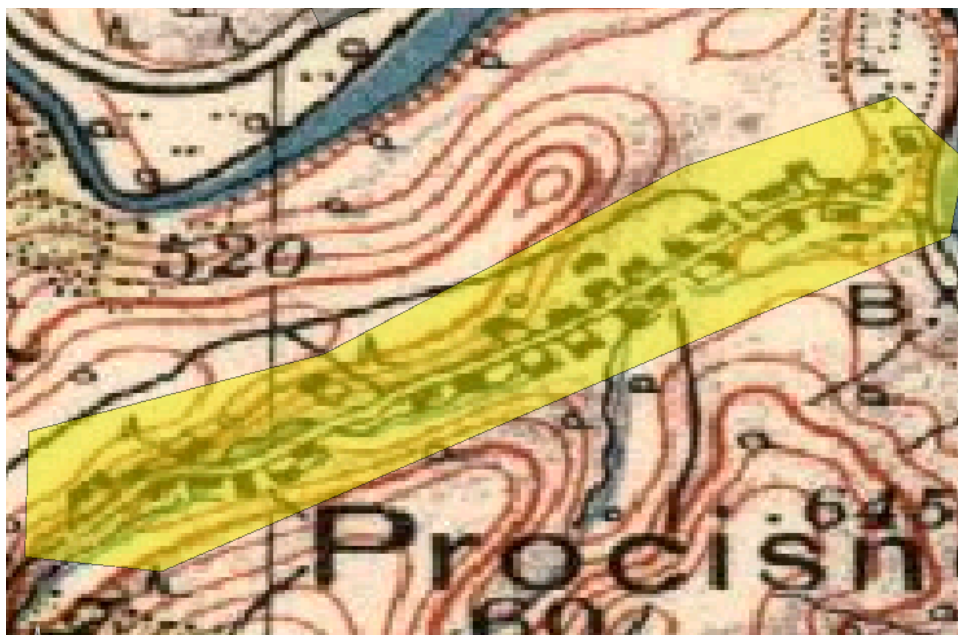


Рис. 7. 21. Віднайдена за допомогою креатора атрибутів ландшафтно-екологічна система неіснуючого села Прощісне.

Програма QGIS дозволяє виконувати геореференції не лише, ввівши координати, але також за допомогою використання шарів, які уже мають відповідну просторову прив'язку, наприклад як із геоportалу. Після натискання на карті у вікні georeference на фіксовані точки (міст, церква, перехрестя), які, ймовірно, не змінили свого розміщення, натискаємо на значок "*z obszaru mapy*". Потім ми знаходимо ту ж крапку у головному вікні (або ортофотоплану і або топографічної карти від геоportалу) і натискаємо на нього. У вікні для координат X і Y з'являються конкретні координати, які потрібно затвердити.

Оскільки старі карти не завжди точні, тому за їх використання доцільно впроваджувати більше 10 точок, розміщених у різних місцях (не лише у кожному куточку аркуша, а й посередині більш-менш рівномірно для правильного відтворення зміщень на карті). Цей спосіб ведення georeferencji нагадує накладання карти на картографічну сітку зміщень.

Після введення точок, доцільно створити файл із точками географічно прив'язаними (записати ці точки) і можна завантажити шар до основного вікна QGIS.

Уведення більшого числа точок дає можливість скористатися не лише із лінійної геореференції, але також із більш досконалих методів, поліноміальної геореференції (класи 1,2,3) чи інших.

Оскільки відтворення топографічних шарів і ортофотокарт із геопорталу - це тривалий процес, який залежить також від потужності інтернету, тому просимо бути досить терплячими під час очікування на активація карт із інтернету. Рекомендуємо також на кожному етапі проведення геореференції не забувати про збереження точок, щоб не втратити виконаної роботи.

Хочемо зауважити, що QGIS є досить розбудованою програмою. Ми не ставили за мету детально описати цю програму (для цього, напевно, потрібно було б писати окрему книжку, присвячену лише QGIS). Тим більше, що програма постійно оновлюється і досить часто появляються її новіші версії. Ми хотіли лише показати цю програму, наголошуючи на можливостях її широкого застосування.

На сьогодні ГІС (географічні інформаційні системи) швидко розвиваються. Вони застосовуються до збору, обробки, аналізу та візуалізації усіх просторових даних. Використовуються у плануванні та управлінні земельними ресурсами, географії і метеорології, геології, археології та історії, дослідженнях навколишнього середовища і природокористування, лісового та сільського господарства, громадської безпеки, статистики і демографії, туризму, геомаркетингу і у багатьох інших галузях.

На сьогодні інститути, які потенційно можуть використовувати і використовують ГІС – це інститути місцевих органів влади та уряду, державних послуг безпеки (поліція, пожежники, швидка допомога, армія), телекомунікації, транспорт, маркетинг та послуги пов'язані із нерухомістю, промисловістю та науковими дослідженнями (університети та дослідницькі установи).

ГІС дозволяє підготувати студента до наукової роботи, викладання і демонстраційного використання картографії та геоінформаційного аналізу. Підготувати випускників до роботи у наукових і державних установах, зокрема у секторі охорони навколишнього середовища та туризму. Дати навички практичного застосування програмного забезпечення ГІС. Підготувати до роботи у центрах та установах обробки інформації, управління, особливо у секторах, пов'язаних із плануванням землекористування та лісового господарства, водопостачання, зв'язку тощо.