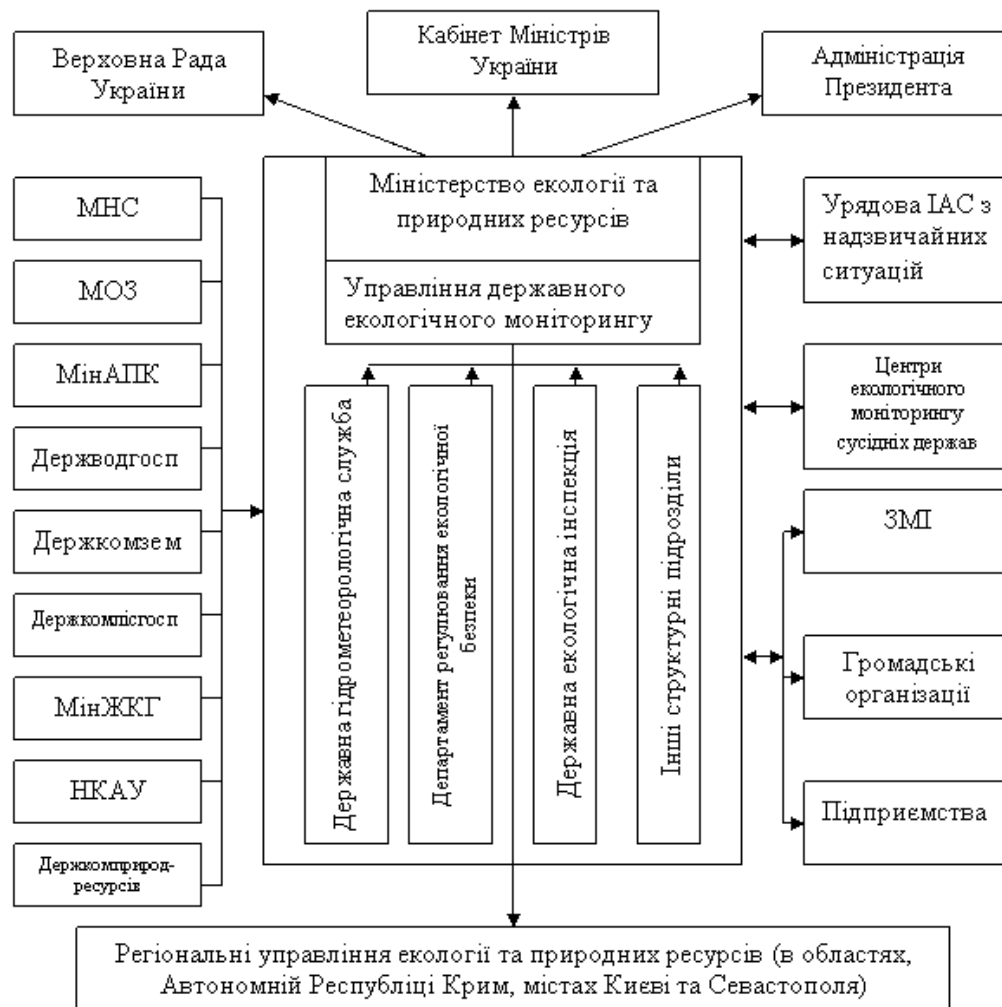
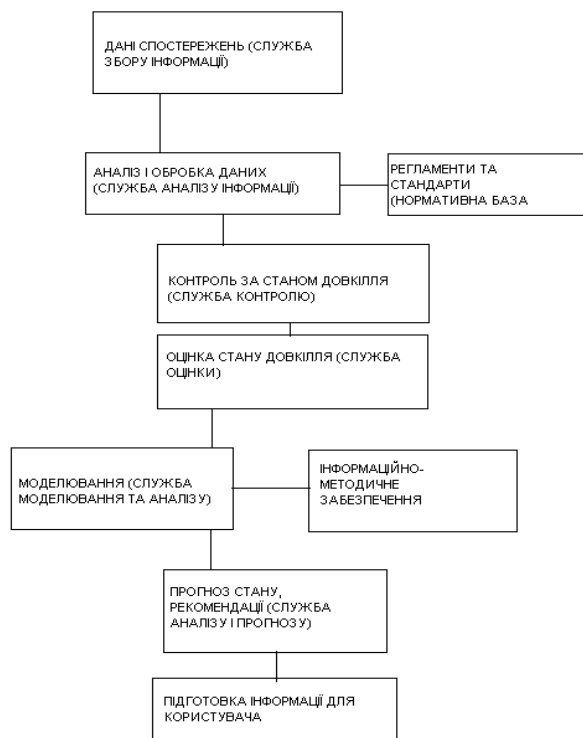


Інформаційні технології інтегральної оцінки екологічного стану територій для підтримки прийняття рішень



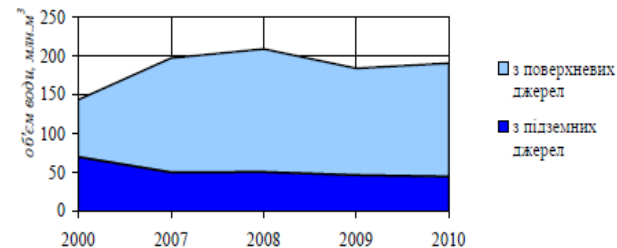
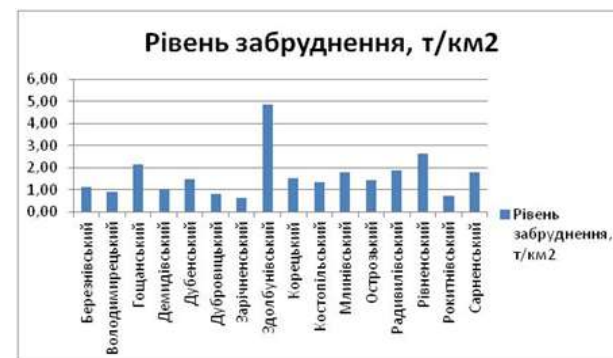
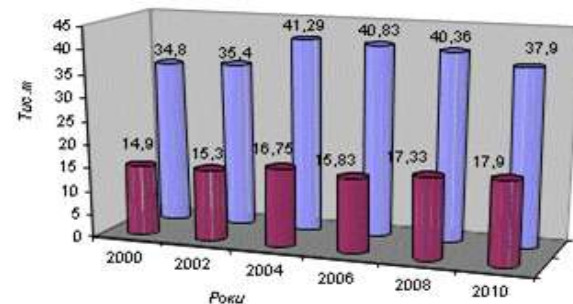
В.О. Охарєв
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України

Типова схема організації моніторингу навколишнього середовища



Фактори екологічної небезпеки для Рівненської області:

- радіаційне забруднення навколишнього середовища
- деградацію земельних ресурсів внаслідок інтенсивного використання
- інтенсивне водокористування та забруднення водних об'єктів
- забруднення довкілля викидами автомобільного транспорту
- накопичення відходів виробництва мінеральних добрив
- підтоплення земель сільськогосподарського значення.



1 – динаміка викидів в атмосферу зі стаціонарних і пересувних джерел;

2 – розподіл техногенного забруднення атмосфери по районах;

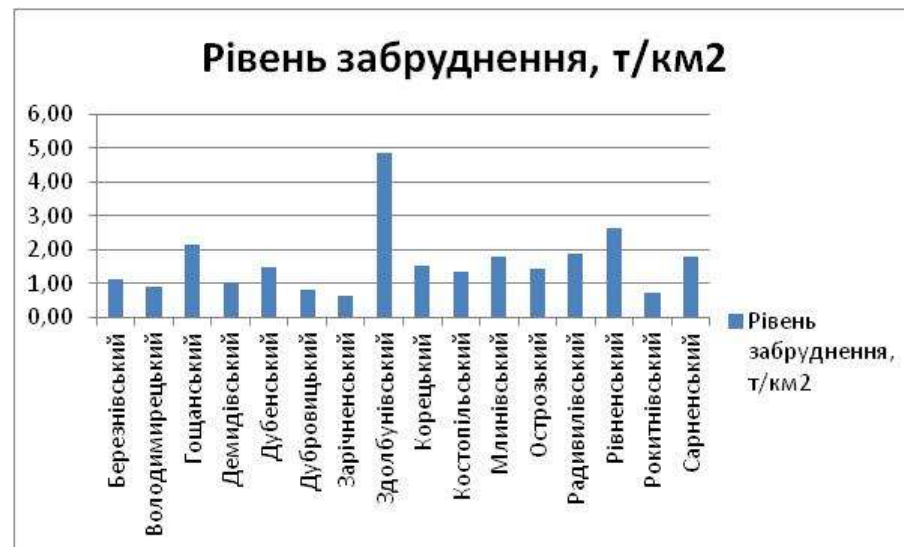
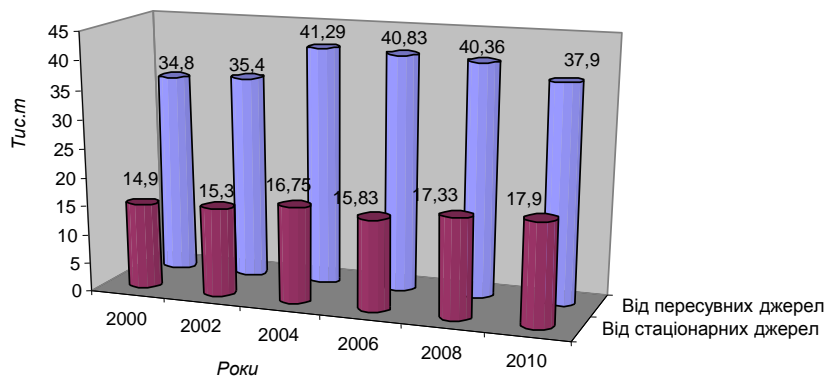
3 – динаміка і структура водокористування в області

1

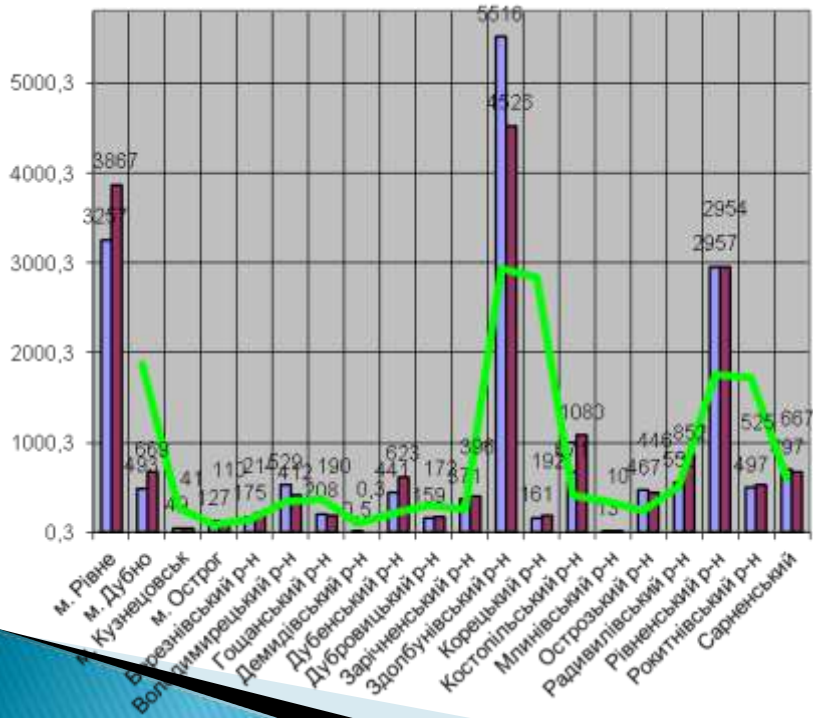
2

3

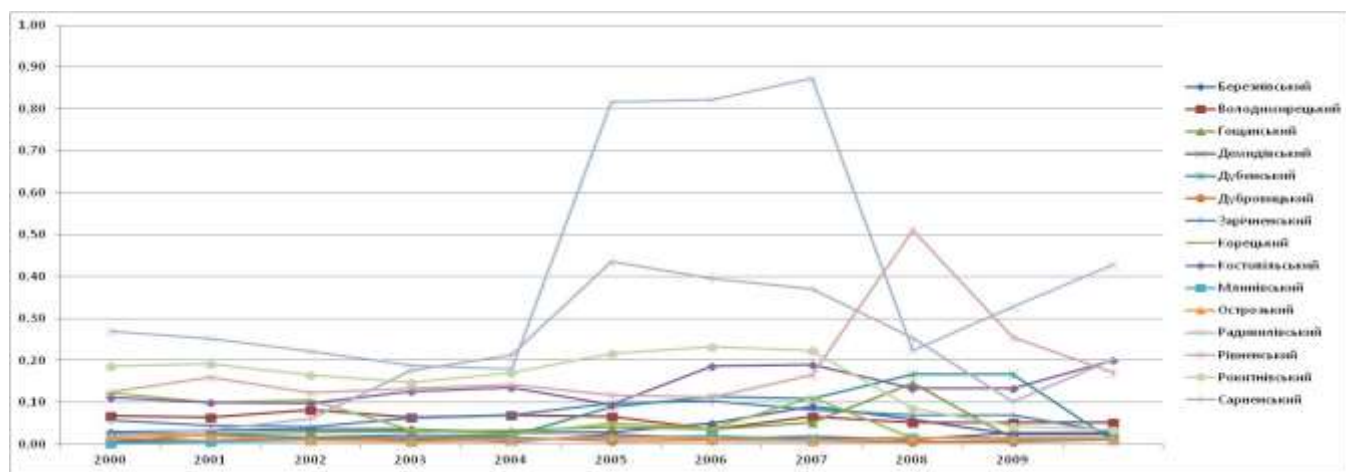
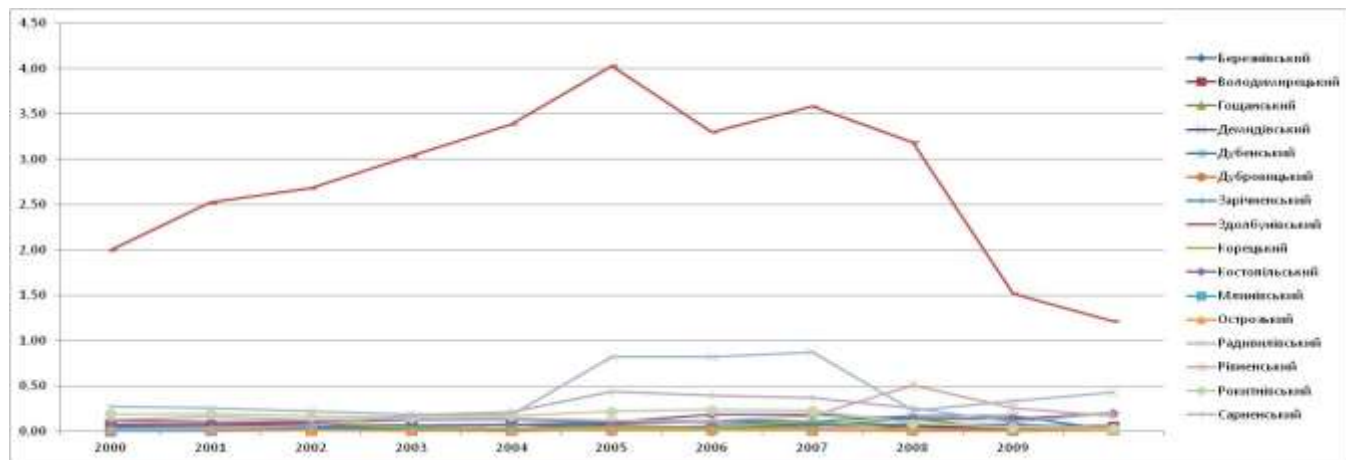
Моніторинг антропогенного навантаження на екосистеми Рівненської області



Забруднення повітря пересувними джерелами (по районах), 2010 р.

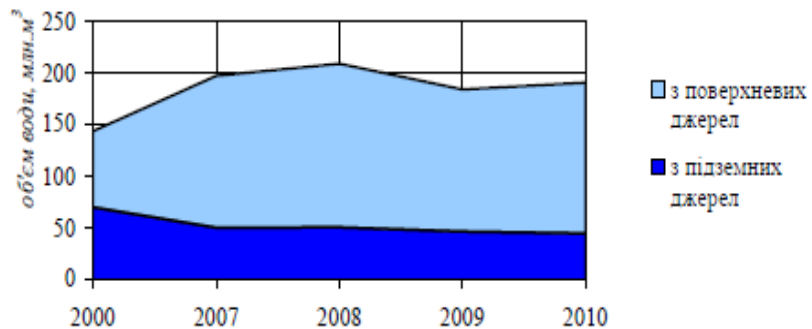
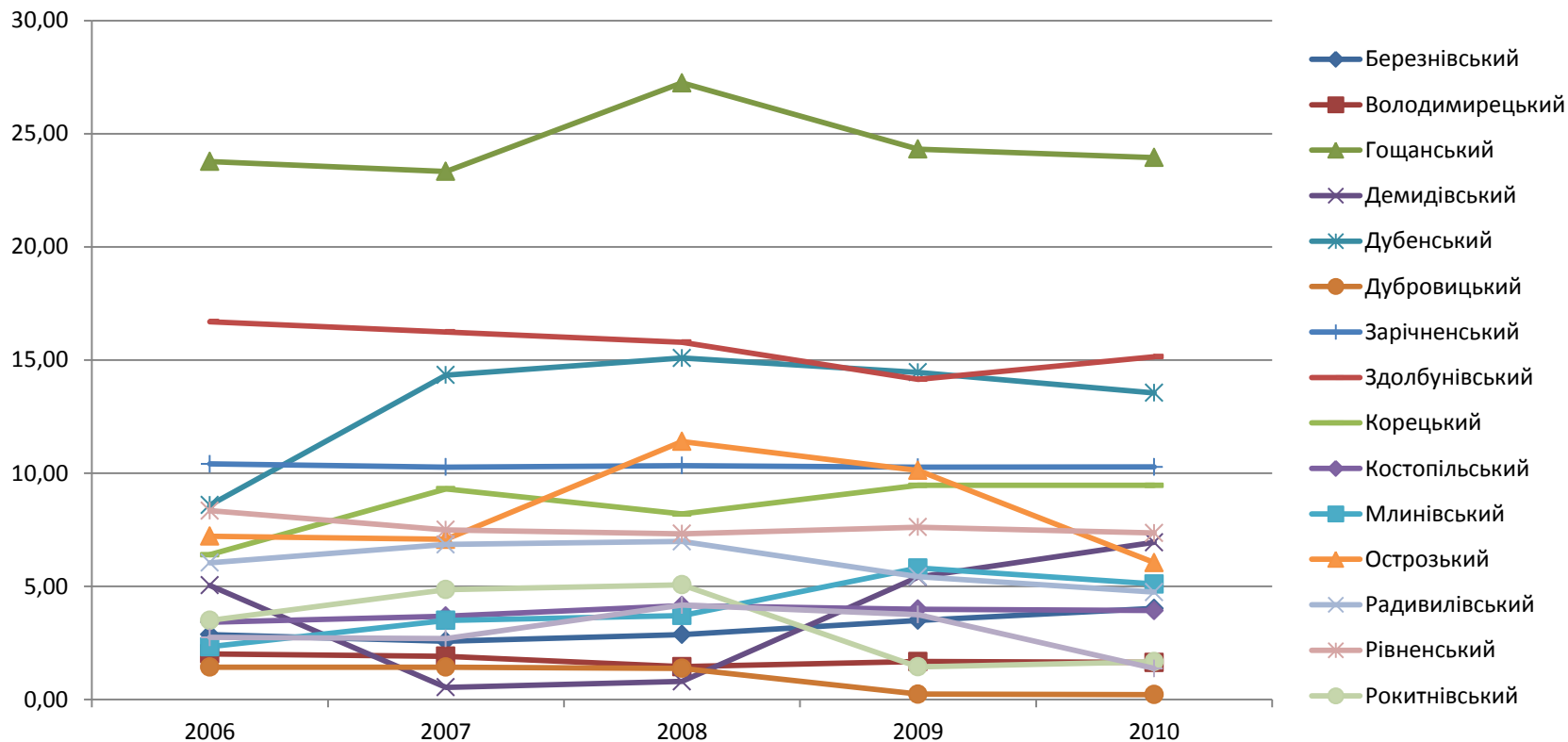


Забруднення повітря стаціонарними джерелами (по районах), 2000-2010 рр.)



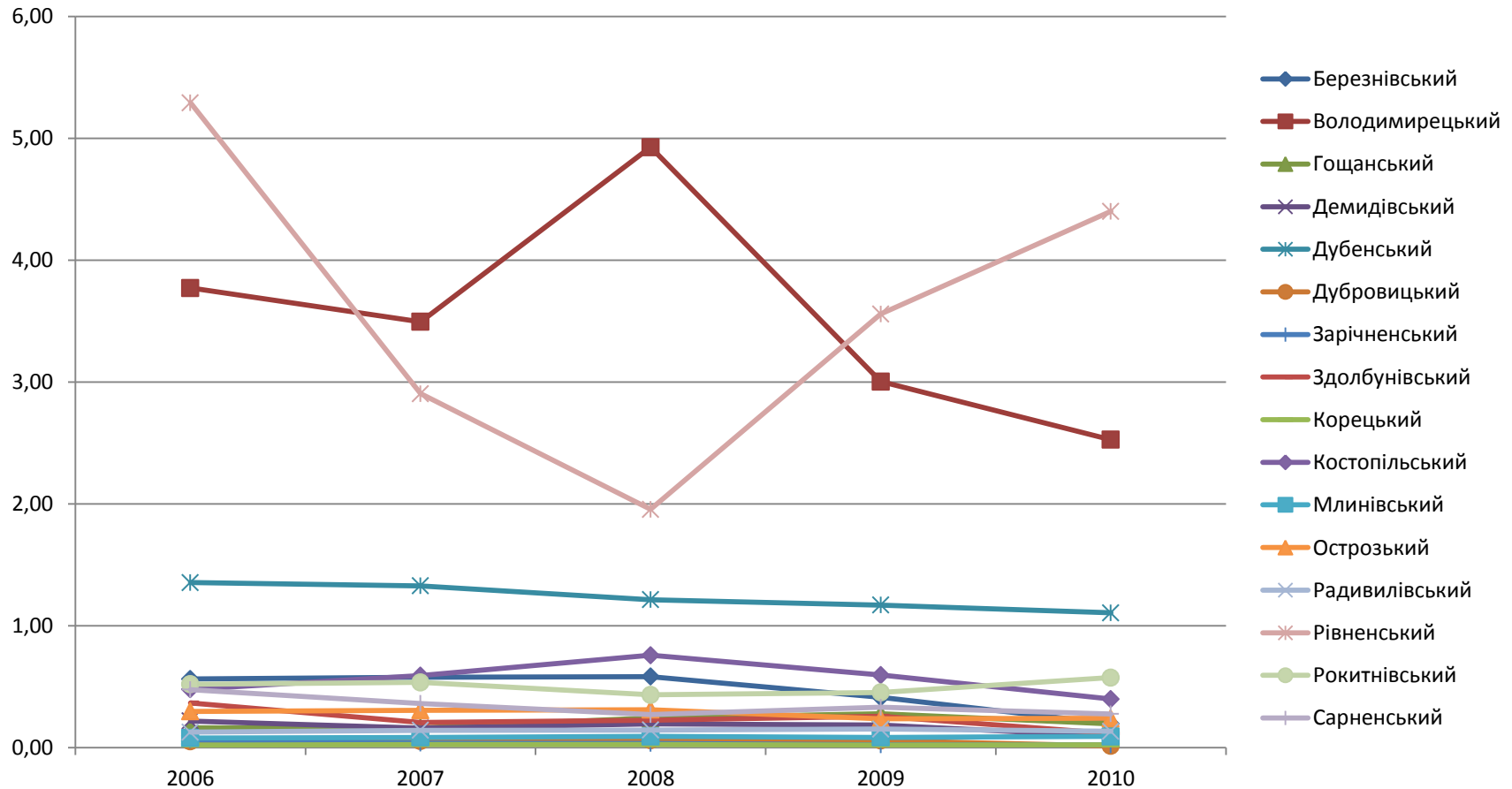
Динаміка забруднення атмосфери техногенним пилом (по районах), 2000–2010 рр.

Моніторинг антропогенного навантаження на екосистеми Рівненської області



Динаміка водокористування по районах, 2006–2010 рр.

Моніторинг антропогенного навантаження на екосистеми Рівненської області



Динаміка скидів забруднених вод по районах, 2006–2010 рр.

Космічний моніторинг антропогенного навантаження на екосистеми Рівненської області

Димові шлейфи частіше ідентифікують за структурними ознаками, оскільки їх яскравість часто майже не відрізняється від яскравості підстилаючої поверхні. Як правило, вони мають витягнуту форму, нагадуючи смугу або конус або звивисту форму (залежить від метеоумов та хімічного складу викидів). Шлейфи мають матову або волокнисту текстуру, а їх межа шлейфу часто підкреслюється тінню.



Космічний моніторинг антропогенного навантаження на екосистеми Рівненської області

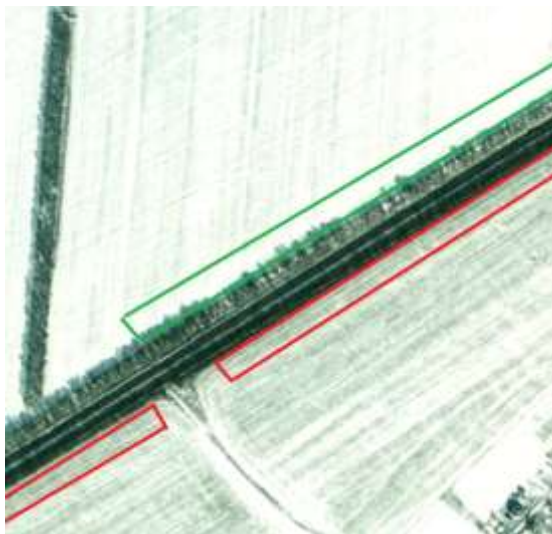
Для формалізації структурної ознаки характеру розподілу яскравості снігового покриву на ділянці, забрудненої техногенним пилом, використані процедури розкладання яскравості в спектр просторових частот. Для цього оброблено аналізований фрагмент знімка ковзним вікном заданої форми. За допомогою лінійної обробки ковзним квадратним вікном яскравість перетвореного зображення визначено через

$$f(i, j) = \sum_{i=i_0-w}^{i_0+w} \sum_{j=j_0-w}^{j_0+w} F(i, j) H(i-i_0+w+1, j-j_0+w+1)$$

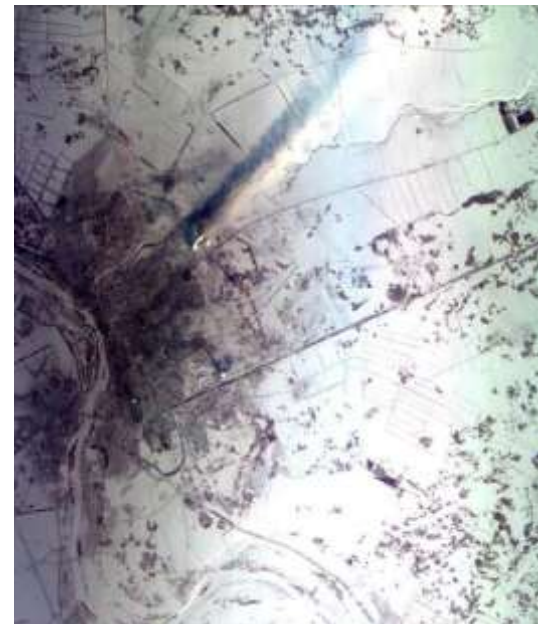
де H – задана матриця розміру

$(2w+1) * (2w+1)$ – маска параметрів лінійного зображення,

f – поле параметрів перетвореного зображення.



Локалізація забруднення придорожніх смуг на ділянці автошляху М-06 біля м. Дубно



Для контрастування вертикальних перепадів використовується

$$f(j, k) = F(j, k) - F(j, k + 1)$$

де k – номер строки зображення, j – номер елемента в строці, F – яскравість вихідного зображення, f – параметр обробленого зображення.

Для контрастування горизонтальних перепадів використовується відповідна формула просторового диференціювання вигляду

$$f(j, k) = F(j, k) - F(j + 1, k)$$

Космічний моніторинг антропогенного навантаження на екосистеми Рівненської області

Кластеризація даних за допомогою алгоритма k-середніх для вирішення завдання сегментації зображення акваторії:

- 1) вибір k -початкових наближень для центрів виділених сегментів \vec{m}_j^1 ;
 $j=1, k$;
- 2) розбивка множини елементів зображення на k -сегментів по ознаці мінімальної відстані вектора \vec{x} від середнього по сегменту вектора:

$$\vec{x} \in S_j^n, \text{ якщо } |\vec{x} - \vec{m}_j^n| < |\vec{x} - \vec{m}_i^n|,$$

де \vec{m}_j^n, \vec{m}_i^n – наближення центрів сегментів на кроці ітерації з номером n ,
 $i \neq j$;

- 3) визначення нових центрів сегментів за формулою

$$\vec{m}_j^{n+1} = \frac{1}{N_j^n} \sum_{x \in S_j^n} \vec{x},$$

де N_j^n – кількість елементів в j -му сегменті на кроці ітерації n . Якщо $\vec{m}_j^{n+1} = \vec{m}_j^n$, то виконання процедури припиняють; у протилежному випадку переходять до етапу 2).



Локалізація евтрофікованих прибережних ділянок акваторії оз. Біле (Володимирецький р-н)



Хмельницька АЕС

Рівненська АЕС





ВАТ «Рівнеазот»



Здолбунівський цементний комбінат



ТОВ «Свіспан-Лімітед»

Розрахунок категорії небезпечності підприємств:

$$КНП = \sum_{j=1}^n \left(\frac{M_j}{ГДК_{с.д.}} \right)$$

- ▶ де M_j — маса викиду j -ї речовини, т/рік;
- ▶ ГДК с.д — середньодобова гранично допустима концентрація i -ї речовини, мг/м³;
- ▶ n — кількість шкідливих речовин, які викидаються підприємством і забруднюють атмосферу;
- ▶ j — безрозмірна константа, яка дозволяє порівняти ступінь шкідливості i -ї речовини зі шкідливістю сірчистого газу

Константа	Клас небезпечності речовин			
	1	2	3	4
	1,7	1,3	1,0	0,9

Ступінь навантаження	Галузь господарства		Назва джерела навантаження	Район розташування	Оцінений вплив на навколишнє
	атомна енергетика	Аграрно-лісове навантаження	Чорнобильська АЕС	транскордонний об'єкт (Київська обл., м. Прип'ять)	радіаційне забруднення довкілля
	виробництво мінеральних добрив		ВАТ "Рівнеазот"	м. Рівне, Рівненський р-н	випади в атмосферу, водозабір, росташування полігону відходів
	атомна енергетика		Рівненська АЕС	м. Кузнецовськ, Володимирецький р-н	радіаційне забруднення довкілля
	атомна енергетика		Хмельницька АЕС	транскордонний об'єкт (Хмельницька обл., м. Нетішин)	радіаційне забруднення довкілля
	деревообробна промисловість		ВАТ "Свіспан-Лімітед"	Костопільський р-н	забруднення водних ресурсів
Дуже висока	целюлозно-паперова промисловість		Мокшинецька паперова фабрика	Костопільський р-н	забруднення водних ресурсів, значні об'єми водозабору

Інвентаризація джерел забруднення довкілля та їх класифікація за ступенем небезпеки для екосистем

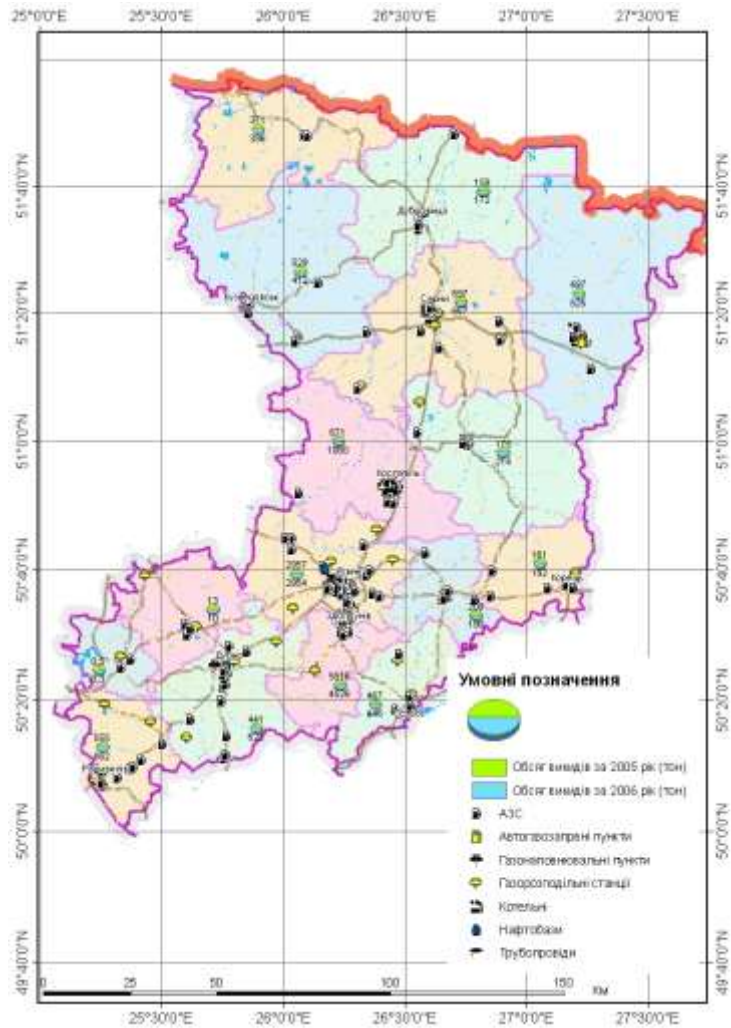
	автомобільний транспорт	Автомобільні дороги М.Об.	Корсаків, Здолбунівський, Рівненський, Острівський, Дубенський, Радивилівський р-ни	забруднення атмосфери CO, CO2, бензапленом, забруднення земель важкими металами
	упаковка відходів	Полігони твердих побутових відходів	всі райони	забруднення ґрунтового покриття
	харчова промисловість	Зірецький спиртзавод	Березнівський р-н	викиди в атмосферу
	виробництво будівельних матеріалів	Роситнівський склянозавод	Роситнівський р-н	викиди в атмосферу
	агропромисловий комплекс	С/г підприємства-виробники рослинницької продукції	всі райони	забруднення ґрунтів пестицидами та ін. шкідливими речовинами, деградація ґрунтів, антропогенні геоморфологічні процеси

Південь

	авіація-комунальне господарство	Підприємства лісового господарства	всі райони	можливий витик об'єктів економіки значний вклад
	лісогосподарський комплекс	Підприємства лісового господарства	всі райони	зведення лісових ресурсів
	харчова промисловість	Здолбунівський цукрозавод	Здолбунівський р-н	викиди в атмосферу
	залізничний транспорт	Залізничні станції "Здолбунів"	Здолбунівський р-н	забруднення продуктами згоряння дизпалива, електр.омовитне та шумове навантаження
	трубопровідний транспорт	Об'єкти транспортування вуглеводнів		можливий витик продуктів
	автомобільний транспорт	Автомобільні дороги регіонального та місцевого значення		забруднення атмосфери CO, CO2, бензапленом, забруднення земель важкими металами
	залізничний транспорт	Залізнична мережа області		забруднення продуктами згоряння дизпалива, електр.омовитне та шумове навантаження

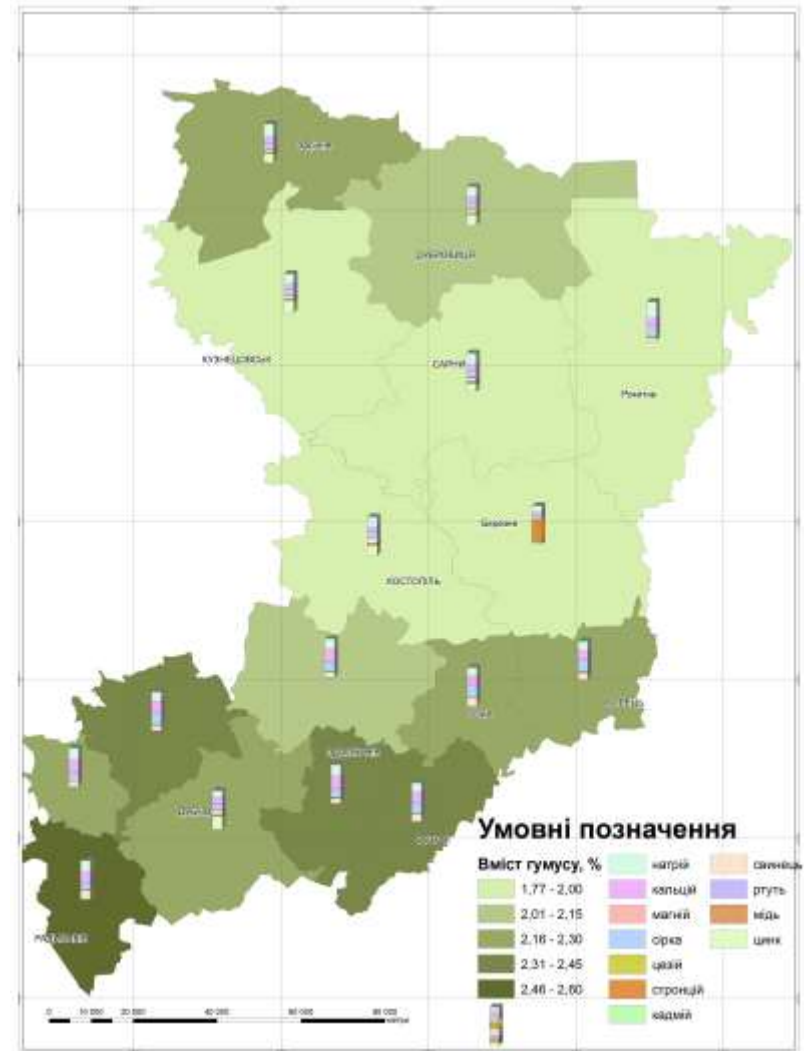
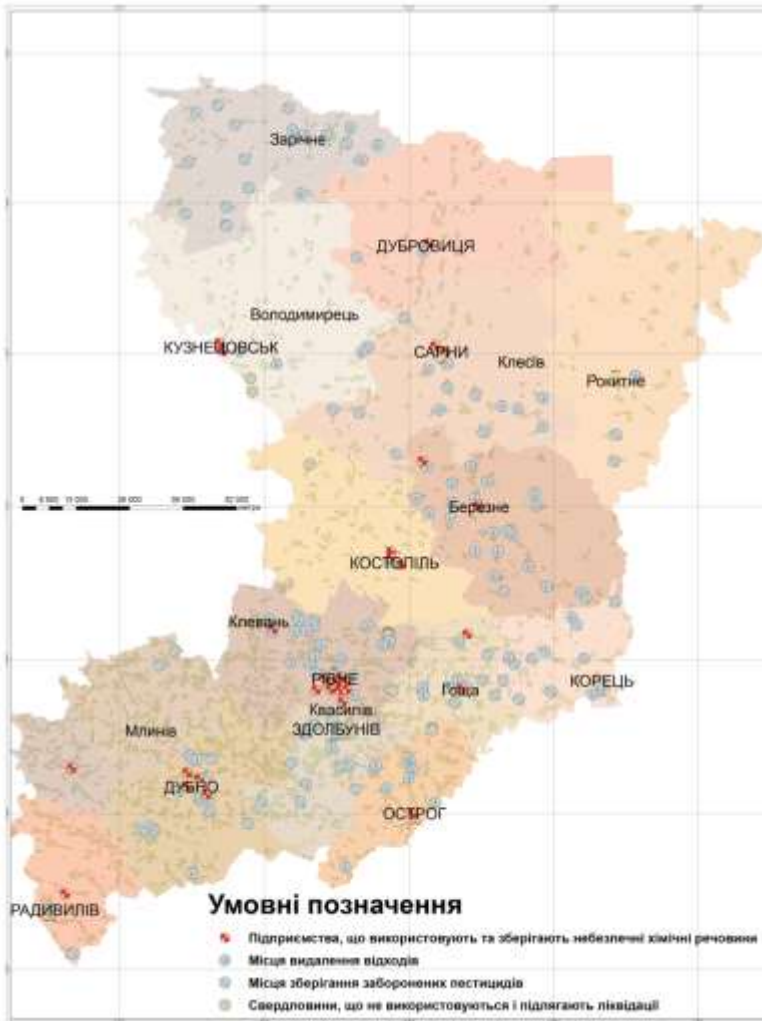
Середня

Інвентаризація джерел забруднення довкілля та їх класифікація за ступенем небезпеки для екосистем



Картографічна модель
антропогенного навантаження на атмосферу

Назва об'єкту	Назва забруднюючої речовини	Частка викидів забруднюючої речовини		
		всього викидів, т/рік	до загального обсягу викидів об'єкту, %	до загального обсягу викидів (населеного пункту), %
ВАТ „Рівнеазот”	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна)	297.1	20,1	14,4
	Сполуки азоту	670.2	45,4	32,5
	Діоксид та інші сполуки сірки	0.7	0,005	0,003
	Вуглецю оксид	361.9	24,5	17,5
	Всього	1477.1	-	71,6
ТОВ „Свиспан Лімітед”	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна)	98,1	26,1	12,9
	Сполуки азоту	48,8	13,0	6,5
	Вуглецю оксид	144,1	38,4	19,1
	НМЛЮС	84,5	22,5	11,2
	Всього	375,7	-	49,7
ТзОВ „Одек” Україна	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна)	57,9	23,1	3,9
	Сполуки азоту	82,6	33,0	5,6
	Вуглецю оксид	113,3	45,3	7,6
	Всього	250,3	-	16,9
ЗАТ „Консомерс-Скло-Зоря”	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна)	140,9	33,0	9,5
	Сполуки азоту	187,4	43,9	12,6
	Вуглецю оксид	50,4	11,8	3,4
	Всього	427,1	-	28,7
ВАТ „Волинь-цемент”	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна)	890,5	43,4	39,4
	Сполуки азоту	777,3	37,9	34,4
	Діоксид та інші сполуки сірки	16,9	0,8	0,7
	Вуглецю оксид	330,9	16,1	14,6
	Всього	2052,2	-	90,8



Картографічні моделі антропогенного навантаження на земельні ресурси

Моделювання процесів антропогенного навантаження та інтегральне оцінювання екологічного стану довкілля

Показники, що кількісно та якісно характеризують антропогенне навантаження:

- оцінка радіаційного забруднення територій та акваторій
- кількісні оцінки забруднення довкілля (атмосфери, вод, ґрунтів) хімічними речовинами
- метеокліматичні умови
- показники ресурсокористування (зокрема, поверхневий та підземний водозабір)
- зарегульованість річкових басейнів
- інтенсивність землекористування (зокрема, показники розораності та використання мінеральних добрив)
- інтенсивність модернізації промислових підприємств
- кількість очисних споруд та показники їх роботи
- показники, що характеризують поводження з відходами
- довжина транспортних комунікацій
- відсоток земель, що належить до кожної з категорій природно-заповідного фонду
- густота населення та урбанізація

Попередня обробка емпіричних даних

Нормування даних та обробка екстремальних значень проводилась за допомогою множинної регресії із застосуванням одночасного центрування даних

$$y(k) = \beta_0 + \beta_1 x_1(k) + \beta_2 x_2(k) + \dots + \beta_p x_p(k) + \varepsilon(k)$$

$$x_{iH}(k) = \frac{x_i(k) - \bar{x}_i}{\left(\sum_{k=1}^N (x_i(k) - \bar{x}_i)^2\right)^{1/2}}, k = 1, \dots, N, i = 1, \dots, p;$$

$$y_H(k) = \frac{y(k) - \bar{y}}{\sqrt{S_y}} = \frac{y(k) - \bar{y}}{\left(\sum_{k=1}^N (y(k) - \bar{y})^2\right)^{1/2}}$$

де $x_i(k)$ - значення i -го стовпчика матриці вимірів незалежних змінних; $y(k)$ - виміри залежної змінної; $x_{iH}(k)$, $y_H(k)$ – нормовані значення змінних; \bar{x}_i , \bar{y} - вибіркові значення середніх незалежних і залежної змінних, N - кількість вимірів, p - кількість регресорів (незалежних змінних).

Після підстановки центрованих змінних і спрощення регресія виглядатиме:

$$y_H(k) = \alpha_1 x_{1H}(k) + \alpha_2 x_{2H}(k) + \dots + \alpha_p x_{pH}(k) + \varepsilon''(k)$$

Аналіз часових рядів на наявність нелінійності

Визначення наявності нелінійного детермінованого тренду:

$$y(k) = a_0 + c_1 x(k) + c_2 k^2 x(k) + \dots + c_m x^m(k) + \varepsilon(k)$$

Обчислення коефіцієнтів кореляції

За формулою Пірсона:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i^1 - \langle X^1 \rangle)(X_i^2 - \langle X^2 \rangle)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i^1 - \langle X^1 \rangle)^2 \sum_{i=1}^n (X_i^2 - \langle X^2 \rangle)^2}}$$

Розрахунок кореляційного відношення та оцінка його достовірності

Коефіцієнт вважаємо статистично значущим, якщо $|r| \geq 0.25$

$$\eta, r_x = \frac{\sigma_y r}{\sigma_x} \quad \eta_x, r = \frac{\sigma_x r}{\sigma_y} \quad m_{\eta^2} = (1 - \eta^2) \frac{k - 1}{n - k} \quad k - \text{число класів варіаційного ряду, } m - \text{об'єм виборки}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (\frac{y}{x} - M_y)^2 f_x}{n}} \quad - \text{міра змінюваності залежного показника (сигма ряду зважених квадратів відхилень точок емпіричної лінії регресії від середнього арифметичного)}$$

Моделювання процесів антропогенного навантаження на територію обласного рівня

Встановлення залежності параметрів забруднення від зовнішніх факторів через рівняння регресії:

$$y(k) = a_0 + a_1x(k) + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_{p-1}x^{p-1}(k) + \varepsilon(k)$$

$$\hat{\varepsilon}(k) = e(k) = y(k) - \hat{y}(k) \quad \text{- похибка моделі; } \hat{y}(k) \quad \text{- оцінка змінної } y(k)$$

Сезонний ефект враховується в адитивному вигляді за допомогою залежної змінної, запізнення якої дорівнює n

$$y(k) = a_n y(k-n) + \varepsilon(k)$$

Визначення порядку авторегресії

$$r_y(s) = r_{y(k)y(k-s)} = \frac{1}{N-1} \frac{\sum_{k=s+1}^N \{[y(k) - \bar{y}][y(k-s) - \bar{y}]\}}{\sigma_y^2}, s = 1, 2, 3, \dots, \quad \text{- вибіркова АКФ}$$

σ_y^2 - вибіркова дисперсія змінної $y(k)$ \bar{y} - середнє значення вибірки даних

$$\Phi_{11} = r(1), \quad \Phi_{22} = \frac{r_2 - r_1^2}{1 - r_1^2}, \quad \Phi_{ss} = \frac{r_s - \sum_{j=1}^{s-1} \Phi_{s-1,j} r_{s-j}}{1 - \sum_{j=1}^{s-1} \Phi_{s-1,j} r_j} \quad \text{- ЧАКФ}$$

Моделювання процесів антропогенного навантаження на територію обласного рівня

Оцінка параметрів моделі

При нелінійній залежності поліноміального типу модель має вигляд поліному порядку

$$p - 1$$

У векторно-матричному вигляді:

$$y(k) = b_0 + b_1 x(k) + b_2 x^2(k) + \dots + b_p x^p(k) + \varepsilon(k)$$

$$\begin{bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ \vdots \\ y(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x(1) & x^2(1) & \dots & x^p(1) \\ 1 & x(2) & x^2(2) & \dots & x^p(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x(N) & x^2(N) & \dots & x^p(N) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon(1) \\ \varepsilon(2) \\ \vdots \\ \varepsilon(N) \end{bmatrix}$$

або у вигляді

$$y = X\theta + \varepsilon$$

θ - параметричний вектор моделі

Методом найменших квадратів розраховуємо мінімум квадратичного функціоналу для оцінки параметричного вектора даного полінома:

$$\min_{\theta} \sum_{k=1}^N [y(k) - b_0 - b_1 x(k) - \dots - b_p x^p(k)]^2$$

Вектор параметрів $\theta = [b_0, b_1, b_2 \dots b_p]^T$ розраховуємо шляхом розв'язання отриманої системи нормальних рівнянь

Моделі порівняльних оцінок антропогенного навантаження на територію обласного рівня

Структура інтегрального індексу антропогенного навантаження на довкілля

- - індекс навантаження на приземний шар атмосфери, що характеризує рівень забруднення повітря основними групами шкідливих речовин;
- - індекс навантаження на водні об'єкти, що характеризує рівень забруднення водних ресурсів суходолу речовинами антропогенного походження, а також відображає показники водокористування;
- - індекс навантаження ґрунтового покриву, що характеризує рівень забруднення земель речовинами антропогенного походження, а також відсоток розораності земельних ресурсів, показники, що характеризують рівень еродованості ґрунтів;
- - індекс, що визначає лісистість територій;
- - індекс охороняємості територій, що включає відсоток земель, що входять до складу природно-заповідного фонду та їх охоронний статус, виражений в формі вагового коефіцієнту;
- - довжина транспортних шляхів та їх соціально-економічне значення;
- - площа урбанізованих територій та густина населення.

Методика розрахунку інтегрального індексу антропогенного навантаження на довкілля

Інтегральний індекс – лінійна згортка нормованих в бальній шкалі значень окремих критеріїв.

$$I(t) = \sum_{j=1}^s w_j x_j$$

$x_j(t)$ значення j-го нормованого показника в рік t
 w_j ваговий коефіцієнт критерію

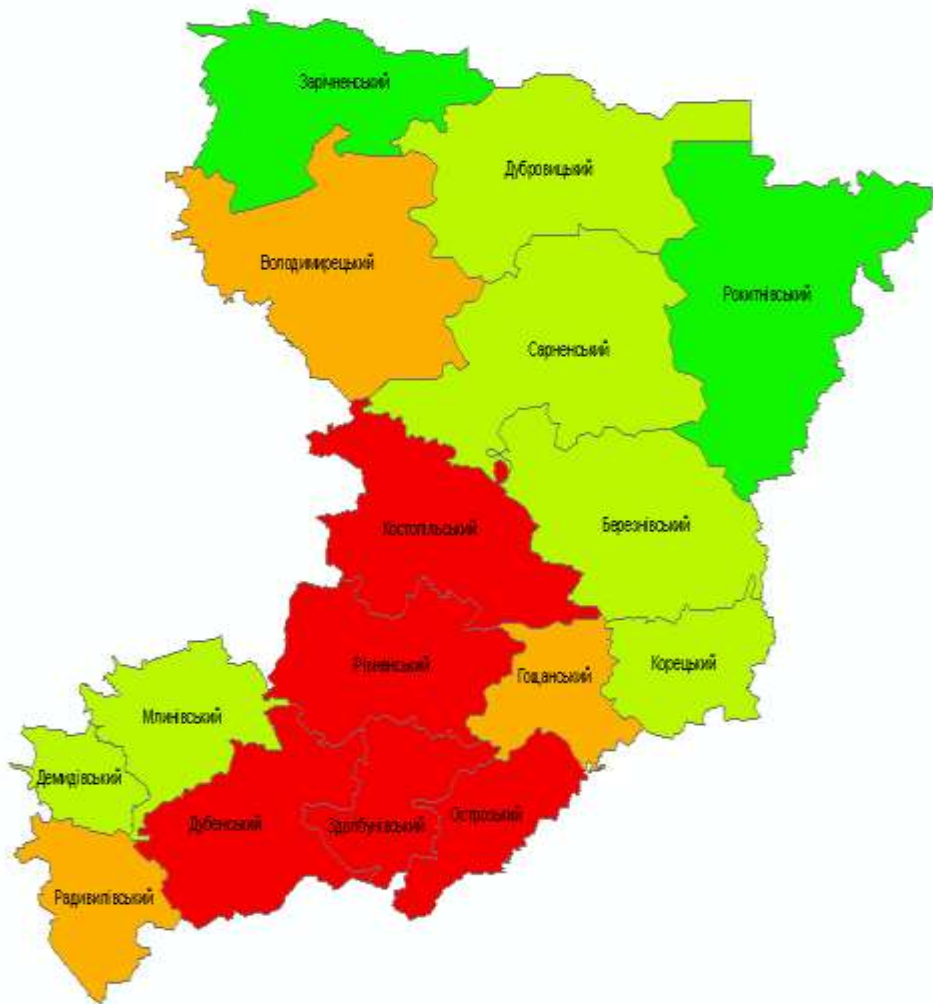
Розрахунок нормованого окремого критерію (приведення до безрозмірної шкали)

$$\tilde{x} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} N$$

якщо динаміка критерію прямо пропорційна динаміці навантаження

$$\tilde{x} = \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}} N$$

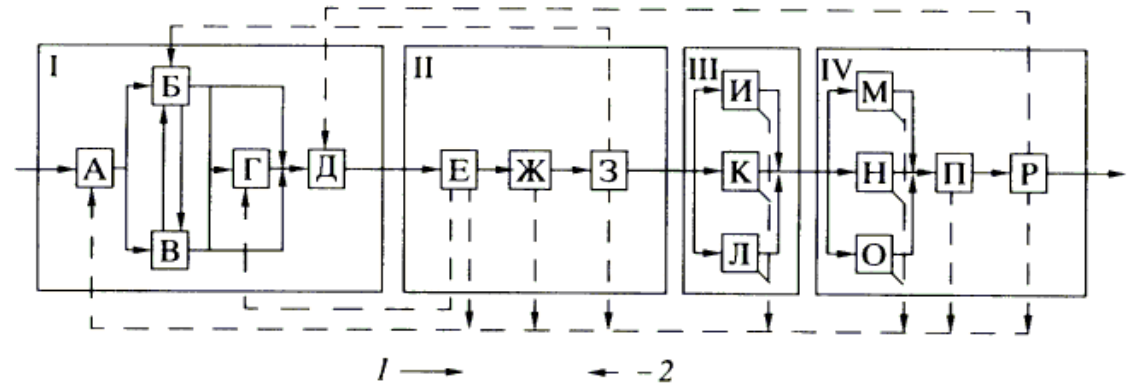
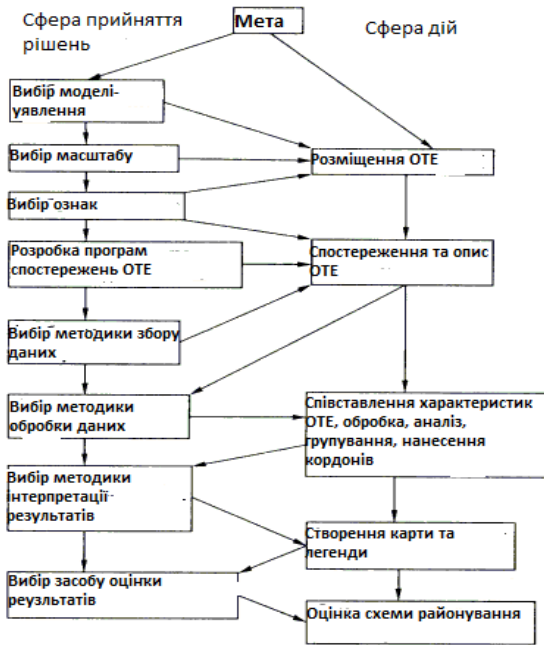
якщо динаміка критерію зворотно пропорційна динаміці навантаження



Район	$I(t)$
Березнівський	5,3
Володимирецький	4,7
Гощанський	4,6
Демидівський	6,7
Дубенський	2,9
Дубровицький	6,8
Зарічненський	7,4
Здолбунівський	2,4
Корецький	5,3
Костопільський	2,6
Млинівський	6,7
Острозький	2,9
Радивилівський	4,4
Рівненський	2,4
Рокитнівський	7,3
Сарненський	5,2

Ранжування адміністративних одиниць Рівненської області за інтегральним індексом антропогенного навантаження

Моделі порівняльних оцінок антропогенного навантаження на територію обласного рівня



- I – формування концептуальної моделі
- II – зміна параметрів об'єкту районування
- III- виділення районів
- IV – перевірка отриманих результатів
- A – визначення завдань районування
- B – побудова моделі об'єкту районування
- V – побудова моделі процедури районування
- Г – створення понятійної моделі
- Д – визначення принципів районування
- Е – побудова операційної моделі районування
- Ж – зміна характеристик
- З – оптимізація набору понять

- Е – евристичне виділення районів
- К – виявлення районів під час вертикальної експертної оцінки
- Л – автоматичне виявлення системи районів
- М – логічна
- Н – алгоритмічна
- О – змістовна верифікація результатів районування
- П – корекція
- Р – інтерпретація результатів
- 1 – інформаційний потік
- 2 – повернення до попередніх методів

Концептуальна схема процесу районування

Шкала екологічної напруги для підтримки прийняття управлінських рішень в сфері екологічної безпеки

- ▶ **відносно безпечний (7–10)** – антропогенне навантаження порівняно невисоке. Екологічні проблеми мають флюктуативний характер, не відчуються або майже не відчуються в сусідніх районах та можуть вирішуватись на рівні керівництва району. Пропонується підтримувати діяльність системи екологічної безпеки та природокористування на поточному рівні;
- ▶ **Підвищений (5–7)** – антропогенне навантаження середнє. Екологічні проблеми мають характер тренду, відчуються в сусідніх районах. Пропонується внести корективи в стратегію природокористування, ситуація потребує розглядання на обласному рівні.
- ▶ **Небезпечний (3–5)** – антропогенне навантаження інтенсивне. Екологічні проблеми мають чітко виражений системний характер, відчуються на значній території. Пропонується розглянути питання про прийняття нової стратегії природокористування з обов'язковим винесенням проблеми на рівень обласного керівництва.
- ▶ **Критичний (0–4)** – екологічні проблеми приймають форму, близьку до надзвичайної ситуації, їх наслідки відчуються на дуже значній території, ставлять загрозу для безпеки життєдіяльності населення. Ситуація потребує введення режиму кризового (оперативного моніторингу) навколишнього середовища, радикального перегляду програми соціально-економічного розвитку регіону. Проблема потребує розглядання на загальнодержавному рівні, з залученням непрофільних установ.

Дякую за увагу!

