

М.В. Захарова, к.г.н., Я.С. Яров, ас.
Одеський державний екологічний університет

ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД БАСЕЙНУ р. ТИСА

В статті для визначення імовірності впливу систематичного фактору на формування хімічного складу поверхневих вод басейну р. Тиса використовується метод однофакторного дисперсійного аналізу.

Ключові слова: загальна дисперсія, міжгрупова дисперсія, внутрішньогрупова дисперсія, кореляційне відношення, коефіцієнт детермінації, критерій Фішера.

Вступ. Відомо, що жодне явище в природі не можна вивчати ізольовано, поза зв'язком з навколишнім середовищем. Так, в екології будь-яка результативна ознака (наприклад, обсяги скидів або концентрацій хімічних речовин) зазнає впливу багатьох факторів антропогенного та природного характеру. У зв'язку з цим результативні ознаки зазнають значної міжрегіональної і внутрішньорегіональної диференціації.

Чисельна характеристика взаємозв'язків визначається в результаті розрахунків низки статистичних характеристик, що відбивають різні аспекти залежності між факторними та результативними ознаками. Для кількісної ознаки взаємозв'язків і їхньої суттєвості при незначній кількості спостережень застосовується дисперсійний аналіз.

В результаті дисперсійного аналізу одержуються дані, що характеризують загальне розсіювання, або дисперсію ознаки, обумовлену дією всіх факторів; часткову або факторну дисперсію, зумовлену впливом організованих і врахованих факторів, та залишкову дисперсію, пов'язану з випадковими і неорганізованими факторами [1].

Метою статті є виявлення впливу систематичного фактору на просторовий розподіл рядів середніх багаторічних концентрацій хімічних речовин, що формують хімічний склад поверхневих вод басейна р. Тиса, та визначення обумовленості цього розподілу випадковістю за допомогою методу однофакторного дисперсійного аналізу.

Об'єкти та вхідні матеріали досліджень. При виконанні цього дослідження використовувалися осереднені за періоди спостережень (табл. 1) результати вимірювання показників якісного складу вод на 50 об'єктах басейну р. Тиса.

Таблиця 1 – Об'єкти дослідження та періоди спостережень за хімічним складом

№	Річка – пост	Роки	№	Річка – пост	Роки
1	2	3	1	2	3
1	р. Уж – м. Ужгород (н)	1976-2004	12	р. Латориця – м. Чоп	1976-2004
2	р. Уж – м. Ужгород (в)	1953-2003	13	р. Віча – с. Неліпіно	1963-2004
3	р. Уж – м. Перечин (н)	1980-2004	14	р. Латориця – м. Свалява (н)	1977-2004
4	р. Уж – м. Перечин (в)	1976-2004	15	р. Латориця – м. Свалява (в)	1977-2004
5	р. Уж – с. Жорнава	1963-2003	16	р. Латориця – с. Підполоззя	1963-2004
6	р. Тур'я – с. Симер	1963-2003	17	р. Боржава – с. Шаланки	1963-2003
7	р. Люта – с. Черногорова	1963-1988	18	р. Боржава – с. Довге	1961-1985
8	р. Стара – с. Зняцеве	1963-1985	19	р. Ріка – м. Хуст	1953-2003
9	р. Латориця – м. Мукачеве (н)	1977-2004	20	р. Ріка – с. Майдан	1993-2004
10	р. Латориця – м. Мукачеве (в)	1978-2004	21	р. Ріка – смт Міжгір'я (н)	1986-2004
11	р. Латориця – м. Мукачеве	1953-1985	22	р. Ріка – смт Міжгір'я (в)	1957-2004

Продовження табл. 1

1	2	3	1	2	3
23	р. Глибокий Яр – смт Міжгір'я	1962-1981	37	р. Шопурка – с. В. Бичків (с)	1988-2004
24	р. Грабовець – смт Міжгір'я	1966-1979	38	р. Шопурка – с. В. Бичків (в)	1988-2004
25	р. Йойковець – смт Міжгір'я	1962-1981	39	р. Тиса – м. Чоп	1975-2004
26	р. Репінка – с. Репіне	1958-2004	40	р. Тиса – смт Вилок	1961-2004
27	р. Лопушна – с. Лопушне	1960-1985	41	р. Тиса – м. Хуст (в)	1965-2004
28	р. Пилипець – с. Пилипець	1960-1985	42	р. Тиса – м. Хуст (н)	1984-2004
29	р. Студений – с. Н. Студений	1958-1983	43	р. Тиса – м. Тячів (в)	1986-2004
30	р. Теремля – с. Колочава	1957-2004	44	р. Тиса – м. Тячів	1963-2003
31	р. Мокранка – с. Рус. Мокра	1963-2002	45	р. Тиса – м. Тячів (н)	1986-2004
32	р. Тересва – с. Дубове	1953-1988	46	р. Тиса – м. Рахів (н)	1949-2004
33	р. Лужанка – с. Нересниця	1963-2002	47	р. Тиса – м. Рахів (в)	1976-2004
34	р. Брустуранка – с. Лопухів	1963-2002	48	р. Тиса – с. Луги	1963-2004
35	р. Тересва – с. Нересниця	1963-2003	49	р. Тиса – с. Ясиня (с)	1963-2004
36	р. Тересва – с. Усть-Чорна	1963-1985	50	р. Тиса – с. Ясиня (в)	1986-2004

Як вхідні матеріали для розрахунків використовувалися такі групи хімічного складу природних вод, як [2, 3]: 1) фізичні показники: температура, рН, завислі речовини, сума іонів, загальна твердість; 2) розчинені гази: кисень, двоокис вуглецю; 3) головні іони (макрокомпоненти): кальцій, магній, натрій і калій, гідрокарбонати, сульфати, хлориди; 4) біогенні речовини: мінеральний і загальний фосфор, нітрити, нітрати, іони амонію, кремній, залізо; 5) органічні речовини: ХСК, перманганатна і біхроматна окислюваність, БСК₅; 6) мікроелементи (мікрокомпоненти): мідь, цинк, хром, марганець, фтор, свинець, кадмій; 7) забруднювальні речовини: феноли, нафтопродукти, СПАР.

Методи дослідження. Дисперсійний аналіз – це математико-статистичний метод вивчення результатів спостереження, що залежать від різноманітних одночасно діючих факторів. Застосування дисперсійного методу дає можливість розв'язувати важливі завдання. Основне призначення дисперсійного аналізу – статистично виявити вплив факторів на варіацію ознак, що вивчається, визначити частку впливу різних факторів відокремлено, а також їхній сумарний вплив на мінливість ознаки.

За допомогою дисперсійного методу розв'язуються такі основні завдання: кількісне вимірювання сили впливу факторних ознак та їхніх сполучень на результативну; визначення імовірності впливу та його довірчих меж; аналіз окремих середніх та статистична оцінка їхньої різниці.

Схема дисперсійного аналізу включає такі етапи:

1) встановлення основних джерел мінливості результативної ознаки і розкладання загальної дисперсії по джерелах утворення та визначення обсягів варіації по джерелах утворення:

$$D_0 = D_M + D_G, \quad (1)$$

$$D_0 = \sum x^2 - (\sum x)^2 / N, \quad (2)$$

$$D_M = \sum (\sum x_i)^2 / n_i - (\sum x)^2 / N, \quad (3)$$

$$D_G = \sum x^2 - \sum (\sum x_i)^2 / n_i, \quad (4)$$

де D_0 – загальна дисперсія (складається під впливом багатьох факторів і характеризує варіацію числових значень результативної ознаки, пов'язану з варіацією всіх факторів, що на неї впливають);

D_M – міжгрупова дисперсія (характеризує варіацію групових середніх, тобто варіацію результативної ознаки, яка пов'язана з варіацією групувальної ознаки, що обумовлена дією систематичних факторів);

D_e – внутрішньогрупова дисперсія (характеризує варіацію ознаки всередині конкретної групи, що обумовлена дією випадкових факторів);

x – варіюючі ознаки;

x_i – варіюючі ознаки i -ої групи;

N – кількість об'єктів спостереження;

n_i – чисельність i -ої групи.

2) визначення числа степенів вільності варіації, що відповідають компонентам загальної варіації

$$v_1 = m - 1, v_2 = N - m, \quad (5)$$

де v_1 – кількість степенів вільності для міжгрупової варіації;

m – кількість груп;

v_2 – кількість степенів вільності для залишкової варіації.

3) обчислення середніх дисперсій:

$$\sigma_0^2 = \sigma_M^2 + \sigma_e^2, \quad (6)$$

$$\sigma_0^2 = D_0 / N, \quad (7)$$

$$\sigma_e^2 = \sigma_0^2 - \sigma_M^2, \quad (8)$$

де σ_0^2 – загальна середня дисперсія;

σ_M^2 – міжгрупова дисперсія;

σ_e^2 – внутрішньогрупова дисперсія.

4) оцінка ступеня і сили зв'язку факторних ознак з результативною ознакою здійснюється за допомогою таких показників:

$$\eta_M = \sqrt{D_M / D_0}, \eta_e = \sqrt{D_e / D_0}, \quad (9)$$

$$\eta_M^2 = D_M / D_0, \eta_e^2 = D_e / D_0, \quad (10)$$

де η_M, η_e – кореляційне відношення, що характеризує тісноту взаємодії з систематичними і випадковими факторами;

η_M^2, η_e^2 – коефіцієнти детермінації, що характеризують ступінь впливу систематичного і випадкового факторів на результативний.

5) оцінка достовірності одержаних результатів за допомогою F -критерію

$$F = \frac{\eta^2}{1 - \eta^2} \cdot \frac{\nu_2}{\nu_1}, \quad (11)$$

де F – дисперсійне відношення або критерій Фішера.

Результати дослідження та їх аналіз. Для оцінки просторових закономірностей формування хімічного складу поверхневих вод в басейні р. Тиса використовувалися середні багаторічні концентрації кожного з розглядуваних показників хімічного складу вод. Для одержаного просторового розподілу визначалися систематична і випадкова складові просторової дисперсії, кореляційні відношення η_m^2 і η_e^2 та оцінювалася достовірність одержаних результатів на основі F -критерію (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати дисперсійного аналізу

№	Показник	D_0	D_m	D_e	σ_0^2	σ_m^2	σ_e^2	η_m^2 , %	η_e^2 , %	F
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Температура	759	715	43,9	15,2	14,3	0,90	94	6	117
2	Завислі речовини	21785	21112	672	495	480	15,3	97	3	194
3	pH	3,50	3,30	0,20	0,07	0,07	0,00	93	7	104
4	Кисень	107	105	2,40	2,27	2,22	0,05	99	1	296
5	Двоокис вуглецю	767	746	21,1	18,2	17,7	0,50	97	3	206
6	Кальцій	1795	1749	45,9	35,9	35,0	0,90	97	3	273
7	Магній	133	129	4,20	2,70	2,60	0,10	97	3	221
8	Натрій + калій	2854	2769	85,4	57,1	55,4	1,71	97	3	232
9	Гідрокарбонати	33864	31770	2094	677	635	41,9	94	6	109
10	Сульфати	3025	2935	89,7	60,5	58,7	1,80	97	3	234
11	Хлориди	2161	2090	71,3	43,2	41,8	1,40	97	3	210
12	Сума іонів	76084	73676	2408	1522	1473	48,2	97	3	219
13	Мінеральний фосфор	0,034	0,033	0,001	0,0007	0,0007	0,00	96	4	174
14	Загальний фосфор	0,125	0,119	0,007	0,002	0,002	0,00	95	5	124
15	Нітриди	0,503	0,477	0,027	0,01	0,01	0,00	95	5	128
16	Нітрати	21,2	20,1	1,10	0,42	0,40	0,02	95	5	134
17	Іон амонію	38,0	36,3	1,70	0,76	0,73	0,03	95	5	152
18	Кремній	42,3	39,4	2,90	0,92	0,86	0,06	93	7	89,7
19	Залізо	8,20	7,80	0,40	0,16	0,16	0,00	95	5	143
20	ХСК	216	204	11,4	8,99	8,51	0,48	95	5	64,5
21	Пермангантна окислюваність	191	183	7,60	4,77	4,58	0,19	96	4	133

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22	Біхроматна окислюваність	1253	1196	56,2	25,0	23,9	1,10	95	5	153
23	БСК ₅	22,1	20,9	1,20	0,49	0,46	0,03	94	6	107
24	Феноли	0,022	0,021	0,001	0,00	0,00	0,00	97	3	227
25	Загальна твердість	8,20	7,80	0,40	0,17	0,17	0,00	96	4	153
26	Нафто-продукти	2,40	2,30	0,07	0,05	0,05	0,00	97	3	233
27	СПАР	0,05	0,05	0,004	0,001	0,001	0,00	94	6	106
28	Мідь	0,017	0,016	0,001	0,00	0,00	0,00	95	5	133
29	Цинк	0,007	0,007	0,0003	0,00	0,00	0,00	95	5	132
30	Хром	0,0012	0,0011	0,0001	0,00	0,00	0,00	95	5	112
31	Марганець	0,0134	0,0131	0,0003	0,00	0,00	0,00	98	2	200
32	Фтор	1,90	1,80	0,09	0,04	0,04	0,00	95	5	135
33	Свинець	0,0488	0,0487	0,0001	0,003	0,003	0,00	99	1	7799
34	Кадмій	0,00004	0,00004	0,00001	0,00	0,00	0,00	98	2	35,7

Аналіз результатів дослідження показав, що просторові закономірності формування хімічного складу вод басейну Тиси обумовлені впливом систематичного фактору, оскільки варіації групових середніх рядів багаторічних хімічних концентрацій в річкових водах коливаються в межах від 93% до 99%. Варіації за рахунок випадковості в середині груп цих концентрацій змінюються в межах від 1% до 7%.

Висновки. На основі однофакторного дисперсійного аналізу встановлена дисперсія просторової мінливості основних гідрохімічних показників. Показано, що просторова дисперсія усіх показників обумовлена впливом систематичного фактору, внесок якого становить 93-99%. Випадкова складова дисперсії становить всього 1-7%. Достовірність одержаних результатів підтверджується перевіркою статистичної гіпотези про незначущість різниці між просторовою та систематичною складовою дисперсії на основі критерію Фішера.

Список літератури

1. Тарасова В.В. Екологічна статистика. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 392 с.
2. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія. – К.: «Либідь», 1997. – 384 с.
3. Никаноров А.М. Гидрохимия. – СПб: Гидрометеоздат, 2001. – 444 с.

Дисперсионный анализ химического состава поверхностных вод бассейна р. Тисы. Захарова М.В., Яров Я.С.

В статье для определения вероятности влияния систематического фактора на формирование химического состава поверхностных вод бассейна р. Тисы используется метод однофакторного дисперсионного анализа.

Ключевые слова: общая дисперсия, межгрупповая дисперсия, внутригрупповая дисперсия, корреляционное отношение, коэффициент детерминации, критерий Фишера.

The dispersive analyze of surface water's chemical compound of basin of the river Tisa. Zakharova M., Yarov Y.

For definition of probability of influence of systematic factor on formation a surface water's chemical compound of basin of the river Tisa the method of the one-factorial dispersive analysis is used in this article.

Keywords: general dispersion, intergroup dispersion, intragroup dispersion, cross-correlation relation, coefficient of determination, criterion of Fisher's.