

DOI 10.33099/2618-1614-2020-11-2-55-60

УДК 351.79+519.237.8/911.6+504.4

**Ю. М. Рак,***ад'юнкт кафедри екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності,***В. В. Карабин,***доктор технічних наук, доцент, начальник навчально-наукового інституту психології та соціального захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності,***В. І. Мірненко,***доктор технічних наук, професор, директор Департаменту військової освіти і науки Міністерства оборони України*

## Районування гірської річки для цілей цивільного захисту та екологічної безпеки (на прикладі р. Тисмениця)

*У статті розглядаються результати районування русла р. Тисмениця методом ієрархічного кластерного аналізу. Обґрунтоване районування русла річки дає змогу створювати гнучкі та адресні системи запобігання зниженню рівня екологічної безпеки та виникненню надзвичайних ситуацій. На підставі отриманих результатів кластерного аналізу макрокомпонентів обґрунтоване виокремлення трьох ділянок річки: верхньої, середньої та пригирлової, а за результатами кластерного аналізу вмісту забруднюючих компонентів – двох ділянок: пригирлової та верхньої й середньої. Обґрунтовано зв'язок між геологічною будовою території досліджень та зміною макрокомпонентного складу вод річки. Подано рекомендації для служб цивільного захисту щодо використання результатів наведених у статті досліджень.*

*Ключові слова: надзвичайна ситуація, кластерний аналіз, хімічний склад вод, управління ризиками.*

© Ю. М. Рак, В. В. Карабин, В. І. Мірненко, 2020

**П**остановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з актуальними науковими і практичними завданнями. Водні ресурси в багатьох країнах Європи перебувають під загрозою забруднення, що призводить до виникнення в деяких регіонах істотних проблем з надмірною експлуатацією та недостатньою якістю та кількістю вод. Найбільші проблеми виникають у випадку забруднення гірських річок, які часто є джерелами питного водопостачання. Забруднення річкових систем, особливо вуглеводневими сполуками, призводить не лише до порушення екологічної рівноваги екосистем, зниження рівня екологічної безпеки, а й до створення передумов виникнення надзвичайних ситуацій [1–3].

Управління річковими системами в Україні здійснюють за басейновим принципом. Цей принцип має багато переваг порівняно з територіально-адміністративним, який існував у минулому столітті. Водночас параметри вод річки не є однорідними по всій довжині її русла. Через це виникає потреба в обґрунтованому районуванні річки з метою більш адресного управління її окремими ділянками.

Відомості про хімічний склад вод р. Тисмениця, їхню екологічну оцінку наявні у працях В. В. Бабієнко, П. Г. Дригулича, П. С. Лозовіцького, М. І. Павлюка, Р. Паньківа, О. І. Романюка, В. К. Хільчевського та ін. Утім, гідрохімічний склад р. Тисмениця розглядається у цих працях або в контексті басейну р. Дністер, тобто в регіональному масштабі [4–6], або в контексті забруднення території м. Борислав [7, 8], або в контексті буріння нафтогазової свердловини Південнобориславська 1 [9]. У цитованих працях відсутня деталізація змін хімічного складу вод р. Тисмениця вздовж її русла. Автори не знайшли також публікацій стосовно районування р. Тисмениця та аналізу р. Тисмениця в аспекті загроз виникнення надзвичайних ситуацій.

**Мета дослідження** полягає в районуванні р. Тисмениця, що дасть змогу створити гнучкі та адресні системи запобігання зниженню рівня екологічної безпеки та виникненню надзвичайних ситуацій.

### Методи дослідження

Авторами здійснені моніторингові дослідження вод р. Тисмениця у вісьмох пунктах спостереження та чотирьох верхніх притоках річки в період 2014–2017 рр. У цих пунктах спостереження проби води відбирались чотири рази на рік: взимку, навесні, влітку й восени. Відбір взимку та влітку здійснювався в найбільш меженний період, а навесні та восени – в найбільш повноводний.

Аналітичні дослідження проведені в лабораторії екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Вміст хлоридів ( $\text{Cl}^-$ ) [10], гідрокарбонатів ( $\text{HCO}_3^-$ ) [11], кальцію ( $\text{Ca}^{2+}$ ) [10] та магнію ( $\text{Mg}^{2+}$ ) [10] визначався методом титрування. Зокрема:

хлориди – з нітратом срібла в присутності хромату калію; гідрокарбонати – із соляною кислотою в присутності метилоранжу; кальцій і магній – з трилоном Б у присутності мурексиду та еріохрому чорного, відповідно. Сульфати ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) визначалися ваговим методом (осадження нітратом барію з подальшим прожарюванням осаду) згідно з КНД 211.1.4.026-95. Вміст натрію ( $\text{Na}^+$ ) та калію ( $\text{K}^+$ ) розраховували за балансом еквівалентів. Інші аніони (нітрати ( $\text{NO}_3^-$ ) [12] та нітрити ( $\text{NO}_2^-$ ) [13] визначалися фотоколориметричним методом, а саме: вміст нітратів – взаємодією з розчином саліцилату натрію в сірчанокислому середовищі; нітритів – з реактивом Гріса. Визначені виключно розчинні форми іонів.

Дані лабораторних досліджень опрацьовані статистичними методами. Районування русла ріки здійснене методом ієрархічного кластерного аналізу. При цьому використано Евклідову відстань, яка є геометричною відстанню в багатовимірному просторі та обчислюється за формулою:

$$D = \sqrt{\sum (x_i - y_i)^2}.$$

Процедуру кластеризації проведено двічі: методом одиночного зв'язку та методом повного зв'язку.

У випадку методу одиночного зв'язку (найближчого сусіда) відстань  $D(X, Y)$  між кластерами  $X$  та  $Y$  обчислюється за формулою:

$$D(X, Y) = \min_{x \in X, y \in Y} d(x, y),$$

де  $d(x, y)$  – відстань між  $x \in X$  та  $y \in Y$ ,  $X, Y$  – різні кластери.

У випадку методу повного зв'язку (найвіддаленішого сусіда) відстань  $D(X, Y)$  обчислюється за формулою:

$$D(X, Y) = \max_{x \in X, y \in Y} d(x, y).$$

#### Об'єкт дослідження

Басейн річки Тисмениця розташований у межах Бориславського нафтопромислового району – одного з найстаріших нафтовидобувних районів Європи. Нафту на цій території видобувають з XIX ст. за допомогою ямок-копанок. У 1893 р. розпочато буріння свердловин канатним способом. У результаті майже півторастолітнього нафтовидобутку територія в околицях Борислава вкрита сотнями нафтових шурфів, копанок, свердловин, що створило передумови для виникнення екологічної катастрофи.

За фізико-географічним районуванням Й. Р. Гілецького [14] район Дрогобицького передгір'я Передкарпатської групи природних районів визначено як природно-географічний район Дрогобицька височина Прибескидського (північно-західного) Передкарпаття. Витоки р. Тисмениця належать до природно-географічної підобласті Українських Бескидів.

Геологічне середовище досліджуваного району складають юрські, крейдові, палеогенові й четвертинні породи.

Витоки р. Тисмениця розташовані в межах виходу на поверхню порід стрийської світи крейдової системи. Далі, до с. Мражниця, річка тече територією поширення порід палеогену, а від с. Мражниця і далі русло річки та четвертинні відклади підстеляють породи неогену [15, 16]. Таким чином, на хімічний склад р. Тисмениця впливають породи крейдової, палеогенової та найбільше неогенової систем.

#### Результати досліджень та їх обговорення

Ріка Тисмениця з притоками характеризується значною мінливістю хімічного складу в різних її частинах. Мінералізація вод зростає вниз за руслом річки [9, 17].

**1. Районування р. Тисмениця за макрокомпонентним складом вод.** За результатами кластерного аналізу даних макрокомпонентів та загальної мінералізації вод р. Тисмениця нами здійснене районування русла ріки (з її притоками). Виділено три ділянки. Перша ділянка розбита на дві підділянки (рис. 1):

1 Верхня частина р. Тисмениця.

1.1. Притоки р. Тисмениці у її верхній частині.

1.2. Річка Тисмениця від витоків до міста Борислав.

2. Середня частина р. Тисмениця (від м. Борислав до с. Вороблєвичі).

3. Пригирлова ділянка р. Тисмениця.

Як видно з дендрограми, межа між притоками р. Тисмениця та її витоків не є чіткою. Окремі проби води з приток р. Тисмениця потрапили в область проб води, відібраних з верхньої частини самої річки. Відстані між окремими кластерами середньої та верхньої частин річки також не надто великі. Виокремлені ділянки річки відповідають закономірностям зміни переважно головних природних компонентів вод, які, у свою чергу, значною мірою зумовлені геологічною будовою території досліджень (рис. 2).

Води приток р. Тисмениці у її верхній частині здебільшого характеризуються гідрокарбонатним кальцієво-магнієвим складом та середньою мінералізацією 207 мг/дм<sup>3</sup>.

Води р. Тисмениця у верхній частині характеризуються мінералізацією від 0,360 г/дм<sup>2</sup> до 0,585 г/дм<sup>2</sup> за середнього значення 0,450 г/дм<sup>2</sup>.

Кількість сухого залишку верхньої частини р. Тисмениця є дещо більшою порівняно з таким показником у водах верхніх частин інших Карпатських рік [18, 19].

Води русла р. Тисмениця у верхній частині мають більшу мінералізацію (450 мг/дм<sup>2</sup>) та здебільшого сульфатно-гідрокарбонатний натрієво-кальцієвий склад порівняно з водами приток, які характеризуються гідрокарбонатним кальцієво-магнієвим складом та середньою мінералізацією 207 мг/дм<sup>2</sup>. Слід зазначити, що русло верхньої частини р. Тисмениця сформоване відкладами стрийської світи верхнього відділу крейдової системи, ямненською, манявською, бистрицькою світами та нижньоменілітовою підсвітою палеогену, а також безпосередньо вище м. Борислав – поляницькою світою

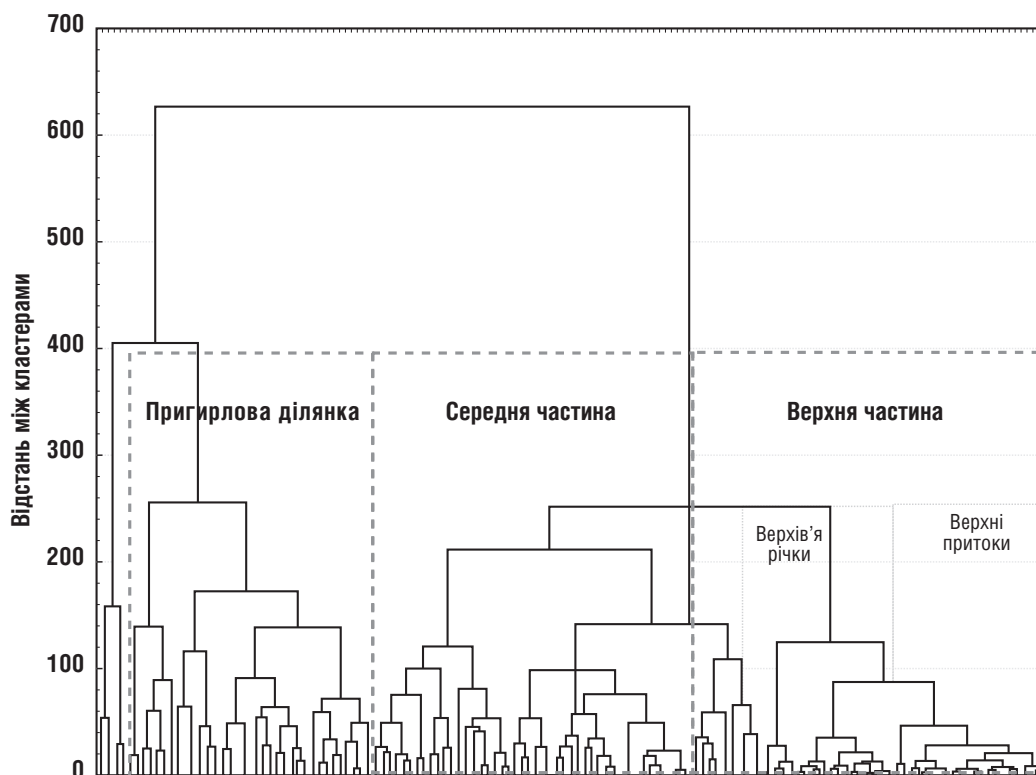


Рис. 1. Дендрограма кластерного аналізу методом повного зв'язку параметрів макрокомпонентного складу вод р Тисмениця

та нижньоворотищенською підсвітою нижнього відділу неогену. Відклади стрийської світи крейдової системи та поляницька світа неогену характеризуються підвищеною карбонатністю, нижньоменілітова підсвіта – високим вмістом органічних речовин, а нижньоворотищенська підсвіта неогену містить соленосні глини з прошарками пісковика з кам'яними і калійними солями [15]. Оскільки верхні притоки р. Тисмениця не протікають по породах верхнього палеогену та нижнього неогену, то їхній хімічний склад суттєво відрізнятиметься від хімічного складу вод р. Тисмениця на ділянці вище м. Борислав.

Середня частина р. Тисмениця, яка охоплює міста Борислав і Дрогобич, характеризується водами хлоридно-гідрокарбонатного кальцієво-натрієвого та хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатного кальцієво-натрієвого складу. Мінералізація вод збільшується вниз за руслом. Збільшення мінералізації води вниз за руслом загалом характерне для більшості річок, особливо на ділянках інтенсивного техногенного впливу [18–20]. Найінтенсивніше мінералізація вод зросла на ділянці впливу м. Борислав. Мінералізація вод на цьому відрізку зросла насамперед унаслідок збільшення вмісту хлоридів, сульфатів та іонів натрію і калію та магнію. Збільшення кількостей цих компонентів вод може мати як природне, так і техногенне походження. Техногенне пов'язане з надходженням високомінералізованих вод, які дренують Бориславське озокеритове родовище [21] та вод потічків, у які потрапляють комунальні стоки і стоки Бо-

риславської птахоферми; природне – зі зміною геологічних умов, а саме з дренаванням річки та її приток соленосними відкладами воротищенської світи неогену.

Пригирлова ділянка р. Тисмениця характеризується водами хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатного кальцієво-натрієвого складу та мінералізацією від 627 мг/дм<sup>3</sup> до 1446 мг/дм<sup>3</sup>. Русло цієї частини річки підстеляють здебільшого породи дашавської світи нижньосарматського під'ярусу неогену. Ця товща представлена переважно глинами та менше вапнистими алевролітами [15]. Відносна однорідність складу порід, які підстеляють русло в цій частині річки, впливає на зменшення мінливості гідрохімічного складу вод, що, у свою чергу, відображається на кращій відокремленості груп кластерів на дендрограмі.

**2. Районування р. Тисмениця за головними забруднюючими компонентами вод.** Наступною частиною нашого дослідження була спроба кластеризації вод ріки за вмістом головних забруднюючих компонентів: нітратів, нітритів, фенолів, нафтопродуктів, та показника хімічного споживання кисню. Ці параметри відображають техногенний вплив на гідрохімічний склад річки. Контроль таких параметрів є важливим як для цілей цивільного захисту, так і для екологічної безпеки.

За результатами кластерного аналізу методом повного зв'язку (рис. 3) нам удалося виокремити лише дві ділянки: пригирлову та верхню і середню. Розмежувати верхню і середню частини річки нам не вдалося, оскільки

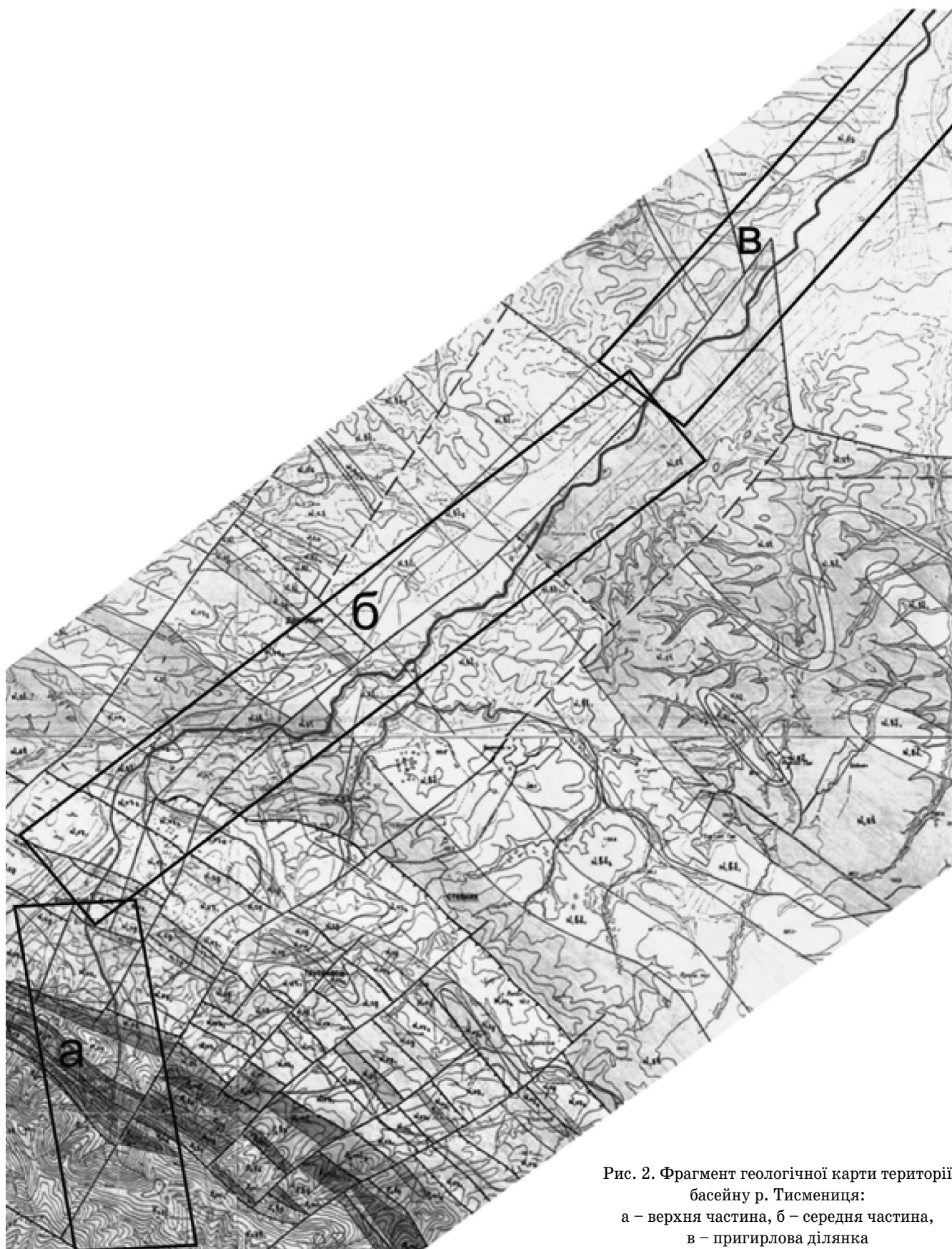


Рис. 2. Фрагмент геологічної карти території басейну р. Тисмениця:  
а – верхня частина, б – середня частина,  
в – пригирлова ділянка

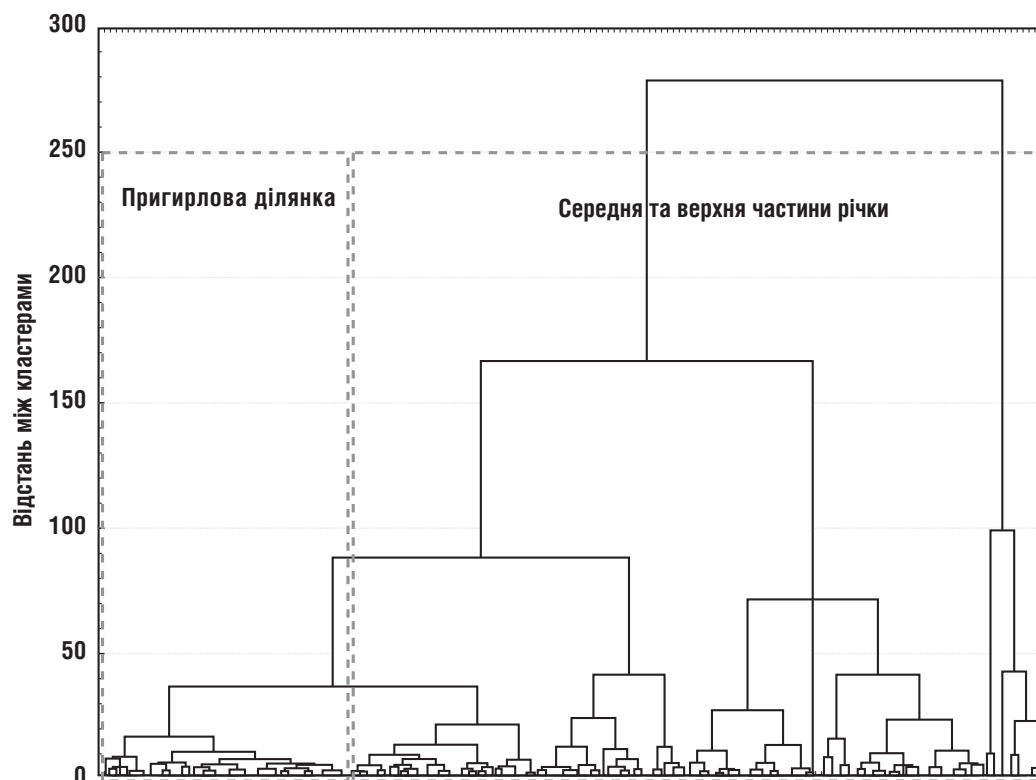


Рис. 3. Дендрограма кластерного аналізу методом повного зв'язку концентрації забруднюючих компонентів вод р. Тисмениця

ознаки проб із цих ділянок, які ми виокремили за результатами кластерного аналізу макрокомпонентів, у випадку аналізу концентрації забруднювачів розташувались у різних групах кластерів.

Одержані результати вказують на певну хаотичність надходження забруднювачів у води р. Тисмениця в територіальному аспекті. Такі процеси та явища здебільшого складно формалізувати, а висновки слід робити з урахуванням низки різноманітних чинників.

Управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з катастрофічним забрудненням вод річки Тисмениця, створення моделей забруднення тощо, доцільно здійснювати, виокремивши дві ділянки: перша – верхня і середня частини річки, друга – пригирлова ділянка р. Тисмениця.

#### Висновки та перспективи подальших досліджень

Річка Тисмениця з притоками характеризується значною мінливістю хімічного складу в різних її частинах. Мінералізація зростає вниз за течією. За результатами кластерного аналізу макрокомпонентів виокремлено три ділянки: верхню, середню і пригирлову.

За результатами кластерного аналізу вмісту забруднюючих компонентів у водах р. Тисмениця виокремлено дві ділянки: пригирлову та верхню і середню.

Урахування результатів представлених у статті досліджень є важливим для розроблення алгоритмів управ-

ління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з катастрофічним забрудненням вод р. Тисмениця.

Подальші дослідження слід проводити в напрямі виявлення найнебезпечніших періодів часу, коли виникають умови для розвитку надзвичайних ситуацій, математичного та експериментального моделювання поширення вуглеводневого забруднення у воді та донних відкладах річки.

#### Перелік літератури

1. Азаренко Е. Предложения по предупреждению чрезвычайных ситуаций, вызванных распространением антропогенных загрязнений в водной среде [Электронный ресурс] / Е. Азаренко, Ю. Гончаренко, М. Дивизинюк, Е. Иванов, В. Мирненко, А. Фаррахов // Social development & Security. – 2019. – № 9 (4). – С. 165–181. – Режим доступа : <http://doi.org/10.33445/sds.2019.9.4.13>.
2. Азаренко Е. В. Моделирование чрезвычайных ситуаций, вызванных нефтяным загрязнением на внутренних и внешних рейдах / Е. В. Азаренко, Ю. Ю. Гончаренко, М. М. Дивизинюк, Г. А. Черненко // Сб. науч. тр. НУЯЭИП. – 2008. – № 3 (31). – С. 208–215.
3. Гончаренко Ю. Ю. Этапы развития чрезвычайной ситуации, вызванной загрязнением водной среды нефтепродуктами / Ю. Ю. Гончаренко, М. М. Дивизинюк, А. Н. Фурсенко, Г. А. Черненко // Сб. науч. тр. СНУЯЭИП. – 2010. – № 2 (34). – С. 83–87.

4. *Бабієнко В. В.* Гігієнічна оцінка джерел забруднення річки Дністер / В. В. Бабієнко, В. Ю. Левковська, С. О. Ганикіна // *Одеський медичний журнал*. – 2017. – № 4 (162). – С. 64–67.
5. *Паньків Р.* Геохімічні особливості поверхневих вод басейну р. Дністер у межах України / Р. Паньків, М. Кость, В. Гарасимчук, О. Майкут, О. Мандзя, І. Сахнюк, Р. Козак, О. Пальчикова // *Геологія і геохімія горючих копалин*. – 2015. – № 1–2. – С. 135–144.
6. *Хільчевський В. К.* Гідрологічно-хімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / В. К. Хільчевський, І. М. Ромась, М. А. Ромась, В. В. Гребінь, І. О. Шевчук, О. В. Чуварьов. – К. : Ніка-Центр, 2007. – 184 с.
7. *Дригулич П. Г.* Проблеми урбанізованих територій під час розробки нафтогазових родовищ (на прикладі міста Борислава) / П. Г. Дригулич, А. В. Пукіш // *Нафтогазова галузь України*. – 2013. – № 2. – С. 44–49.
8. *Романюк О. І.* Комплексний екологічний моніторинг нафтозабруднених територій на прикладі м. Борислава / О. І. Романюк, Л. З. Шевчик // *Вісн. Вінницьк. політехн. ін-ту*. – 2013. – № 5. – С. 19–22.
9. *Павлюк М. І.* Геохімічні аспекти екологічної безпеки буріння нафтогазових свердловин на Південнобориславській площі Передкарпаття / М. І. Павлюк, Я. Г. Лазарук, В. В. Карабин // *Геологія та геохімія горючих копалин*. – 2016. – № 1–2. – С. 5–16.
10. *Унифицированные методы исследования качества вод. Справочник. СЭВ Ч.1.* – М. : Издательский отдел Управления делами Секретариата СЭВ, 1987. – 1244 с.
11. *Методика выполнения измерений массовых концентраций гидрокарбонатных ионов в пробах природных, поверхностных вод суши методом потенциометрического титрования : РД 52.24.24-86.* – К. : Міністерство охорони навколишнього природного середовища, 1995. – 12 с.
12. *Методика фотометричного визначення нітратів з саліциловою кислотою в поверхневих та біологічно очищених водах : КНД 211.1.4.027-95.* – К. : Міністерство охорони навколишнього природного середовища, 1995. – 10 с.
13. *Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом Гріса в поверхневих та очищених стічних водах : КНД 211.1.4.023-95.* – К. : Міністерство охорони навколишнього природного середовища, 1995. – 11 с.
14. *Гілецький Й. Р.* Природно-географічне районування Українських Карпат як основа оптимізації природокористування у регіоні / Й. Р. Гілецький // *Науковий вісник Чернівецького університету*. – 2012. – № 612–613. – С. 28–32.
15. *Герасімова І. І.* Державна геологічна карта України, м-б 1:200000. Карпатська серія. Аркуш: М-34-XXIV (Дрогобич). Кн. 1 – текст. / І. І. Герасімова. – Львів : ДП «Західукргеологія», 2009. – 67 с.
16. *Тріска М. Т.* Щодо аналізу екологічних функцій літосфери Дрогобицько-Бориславської кільцевої структури (на підставі дешифрування космічних знімків та опрацювання медичних даних) / М. Т. Тріска, О. І. Колодій, В. В. Карабин, І. В. Попівняк // *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. – 2004. – № 18. – С. 256–263.
17. *Rak J.* Macrocomponents and nitrogen compounds in upper part of river Tysmenytsya / J. Rak, V. Karabyn // *Resources of natural waters of the Carpathian region (Problems of protection and rational use). Scientific papers of 15-th International scientific conference (26–27 of May 2016)*. – Lviv : Lviv Polytechnic National University, 2016. – P. 124–125.
18. *Карабин В. В.* Закономірності зміни макрокомпонентного хімічного складу вод ріки Білий Черемош / В. В. Карабин // *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. – 2015. – №1. – С. 114–121.
19. *Карабин В. В.* Гідрохімія головних іонів вод р. Білий Черемош / В. В. Карабин // *Геологія та геохімія горючих копалин*. – 2013. – № 1–2. – С. 101–106.
20. *Басов М. В.* Комплексна оцінка якості малих річок на прикладі лівих приток річки Рось / М. В. Басов, Л. В. Сиса // *Вісник ЛДУ ББЖД*. – 2015. – № 12. – С. 100–105.
21. *Кречківська Г. В.* Дослідження стічних та поверхневих вод відвалів Бориславського озокеритового родовища / Г. В. Кречківська // *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. – Серія 20. Біологія*. – 2013. – № 5. – С. 174–181.