

**Світлана ВОЙТОВИЧ**

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
e-mail: starostasvetik@mail.ru

## **ЕКОЛОГО-ГІДРОГЕОХІМІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ**

Проведено комплексний гідрогеохімічний аналіз шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району. Встановлено райони поширення певних діапазонів концентрацій головних іонів складу цих вод, а також виявлено їхні просторові геохімічні особливості. За результатами досліджень розроблено картосхеми районування шахтних вод за мінералізацією і вмістом основних макрокомпонентів. Районування регіону за цими водами дозволило виокремити геологічні, структурні, фізико-географічні, техногенні та інші чинники формування їхнього складу. Схарактеризовано основні екологічні проблеми досліджуваного району та оцінено вплив цих вод на довкілля, а також запропоновано рекомендації щодо зменшення їхнього негативного впливу на навколишнє середовище.

*Ключові слова:* шахтна вода, компоненти вод, гідрогеохімічне районування, Червоноградський гірничопромисловий район.

**Вступ.** Високі темпи господарського освоєння території супроводжуються техногенною трансформацією природного середовища. Експертні оцінки стану довкілля в гірничодобувних регіонах України свідчать про зростання екологічної небезпеки і надзвичайне антропогенне перевантаження. Таким є Червоноградський гірничопромисловий район (ЧГПР) – один з найбільших вугільних комплексів Західної України. Понад 50 років тут на відносно великій площі – 180 км<sup>2</sup> – видобувають кам'яне вугілля.

У ЧГПР протягом останніх десятиріч головними екологічними проблемами є осідання території, підтоплення, зміна геохімічних полів та забруднення ґрунтів, утворення техногенних ландшафтів, забруднення гідросфери й атмосфери. Діяльність гірничодобувних підприємств також спричиняє суттєві зміни гідрогеологічного стану значних територій. Одним із основних джерел забруднення поверхневих і пов'язаних із ними підземних вод є шахтні води, які впливають на стан водоносних горизонтів басейну, а також зумовлюють забруднення природних водойм – річок Рата, Солокія, Західний Буг. Щоб виявити, як вони впливають на довкілля проведено комплексний гідрогеохімічний аналіз.

Щорічно з підземних виробок на поверхню викачують понад 4,0 млн м<sup>3</sup> високо мінералізованих шахтних вод. Однією з найважливіших проблем дослідження шахтних вод є встановлення районів поширення певних діапазонів концентрацій головних іонів їхнього складу і виявлення просторових геохімічних особливостей цих вод. Найоптимальнішим засобом відображення

цих особливостей є районування. Основним методом поглибленої оцінки є геохімічне картування, що дає можливість вивчити просторовий розподіл досліджуваних компонент. Окрім геохімічного типу, вмісту мікроелементів, газів, мінералізації та інших фізичних і хімічних параметрів вод, вивчали геологічні, структурні, фізико-географічні, техногенні та інші чинники формування їхнього складу.

Екологічна ситуація, яка сьогодні склалася в регіоні, негативно впливає на всі складові довкілля, тому такі дослідження мають важливе значення.

**Аналіз останніх досліджень.** Шахтні води Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну вивчені недостатньо. Питаннями гідрогеохімії вугільних родовищ займалося багато дослідників, але, на жаль, основну увагу приділяли проблемі очищення цих вод різними методами, з'ясуванню їхньої генези, а питання геохімії шахтних вод чи їхнього районування залишаються мало висвітленими, як і вплив скидних шахтних вод на гідроекосистеми річок досліджуваного району.

Аналіз виконаних робіт з шахтної гідрогеології для ЧГПР показує, що сьогодні особливості боротьби з підземними шахтними водами розглядають у науковій літературі, однак повної і детальної картини про їхній компонентний склад та схем районування для району дослідження немає. У статті зроблено спробу заповнити цю прогалину, а також виконано гідрогеохімічне районування шахтних вод за мінералізацією і вмістом основних макрокомпонентів.

**Постановка завдання.** Мета статті – виявити просторові геохімічні особливості шахтних вод ЧГПР і за результатами досліджень розробити картосхеми їхнього районування за мінералізацією та вмістом основних макрокомпонентів. Для цього ми здійснили комплексний аналіз складу шахтних вод ЧГПР; встановили просторові закономірності гідрогеохімічних характеристик цих вод; провели еколого-гідрогеохімічне районування, на основі якого побудували картосхеми (за мінералізацією та головними йонами). Для реалізації поставлених завдань використано статистичні методи, геохімічне картування і математичне моделювання.

**Виклад основного матеріалу.** Червоноградський гірничопромисловий район займає центральну частину Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну і на північному сході межує з Нововолинським гірничопромисловим районом. Він вважається основним у басейні, де експлуатація шахт розпочалася ще 1957 р. (Львовско-Вольинский бассейн, 1984). У межах басейну зосереджено приблизно 70–90 % балансових запасів вугілля, які розроблялися чи розробляються 12 шахтами, чотири з яких уже зупинили свою діяльність.

ЧГПР розташований у південно-західній частині Волино-Подільської плити. У геологічній будові Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну беруть участь докембрійські, силурійські, девонські, кам'яновугільні, юрські, верхньокрейдові і четвертинні утворення (Бучацька, 2009; Львовско-Вольинский бассейн, 1984). Основне промислове значення мають вугільні пласти у відкладах бужанської світи серпуховського та нижньої частини башкирського ярусів нижнього карбону, які містять до 50 вугільних пластів і прошарків.

Як уже зазначалося, одним із основних джерел забруднення поверхневих і пов'язаних із ними підземних вод є шахтні води – це підземні води, що

проникли в гірничі виробки і потім пройшли через водовідливне господарство (Посохов, 1975).

Щоб визначити райони поширення певних діапазонів концентрацій головних іонів складу шахтних вод і просторові геохімічні особливості, автор виконав комплексні дослідження з використанням математичних і статистичних методів. Усі результати аналізів складу шахтних вод від 2001 до 2012 р. зібрали до купи. Відтак весь діапазон отриманих значень розбили на малі інтервали і підраховували ймовірність попадання значень в даний інтервал. Результати досліджень представлені у вигляді діаграм, які показують, як часто були отримані ті чи інші значення. Відповідно, автор отримав графіки частот для таких характеристик, як мінералізація та вміст аніонів і катіонів.

На шахтах ЧГПР вміст компонентів шахтних вод змінюється в широких межах (рис. 1–7). Проведені дослідження показали такі результати.

Мінералізація шахтних вод варіює в широких межах – від 1000 до 13 000 г/дм<sup>3</sup>, але найчастіше – від 2000 до 8000 мг/дм<sup>3</sup>.

У групі аніонів переважають хлориди з вмістом в основному 500–2500 мг/дм<sup>3</sup>. Кількість сульфатів досягає і 3000 мг/дм<sup>3</sup>, але найчастіше – 500–1500 мг/дм<sup>3</sup>. Гідрокарбонати трапляються в незначній кількості, переважно від 400 до 800 мг/дм<sup>3</sup>.

Серед катіонів домінує натрій і калій, присутній здебільшого в шахтних водах у кількості – від 500 до 2500 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст кальцію найчастіше становить 100 мг/дм<sup>3</sup>, переважно не перевищуючи 200 мг/дм<sup>3</sup>, а магній не перевищує 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Як і всяке природне утворення, шахтні води відображають складні природні взаємозалежності та мають зонально-регіональний характер. Склад і властивості цих вод формуються під впливом фізико-географічних, геоморфологічних, геохімічних, геологічних, тектонічних, гідрогеологічних та антропогенних чинників, провідну роль серед яких відіграють геологічні (рис. 8).

Щоб встановити просторову зміну складу шахтних вод, автор використав метод гідрогеохімічного районування, який полягав у виявленні закономірностей розподілу по території концентрацій окремих компонент складу шахтних вод, що характеризують умови їхнього формування, та виокремленні на основі аналізу цих закономірностей окремих районів з урахуванням усіх головних чинників, насамперед, фізико-географічних. Районування дасть

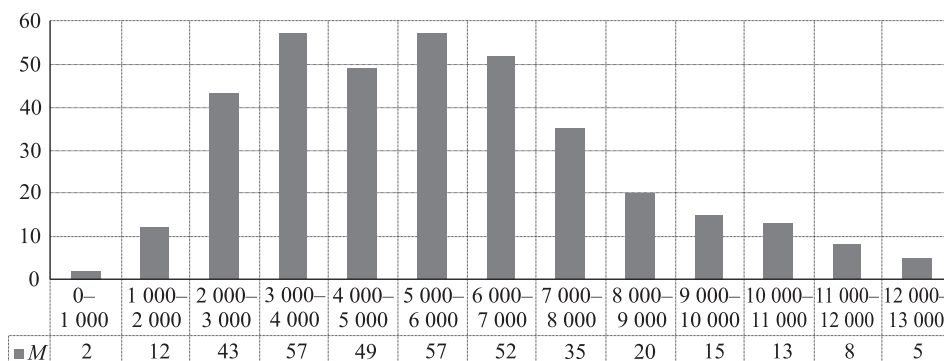


Рис. 1. Частота значень мінералізації для шахтних вод

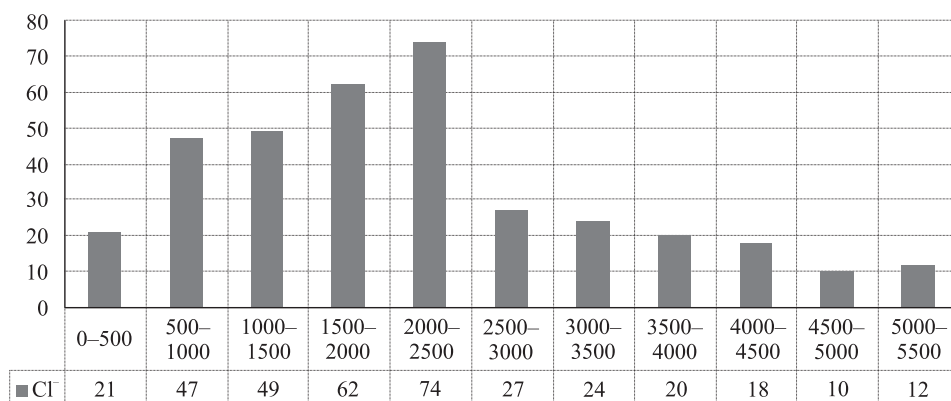


Рис. 2. Частота значень вмісту Cl<sup>-</sup> у шахтних водах

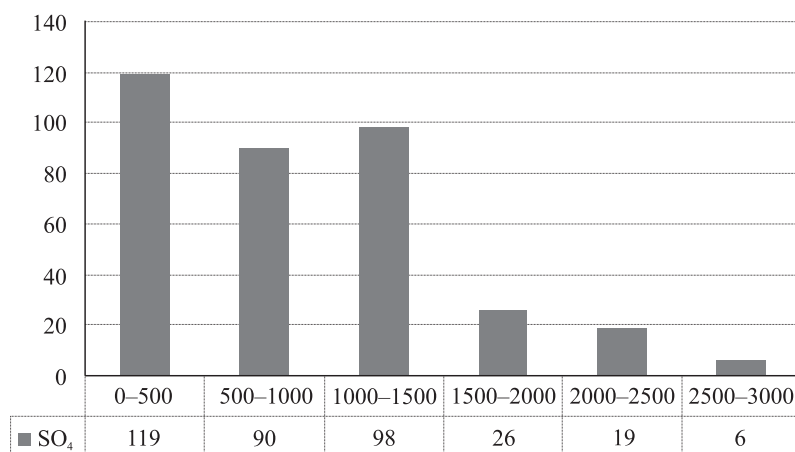


Рис. 3. Частота значень вмісту SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> у шахтних водах

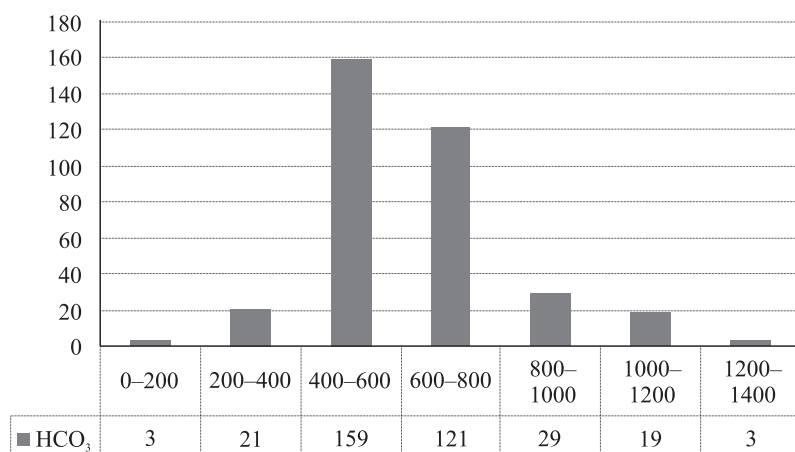


Рис. 4. Частота значень вмісту HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> у шахтних водах

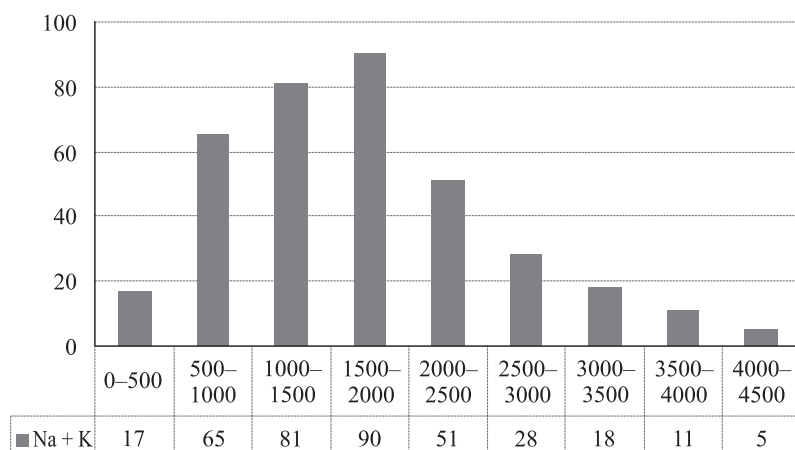


Рис. 5. Частота значень вмісту Na + K<sup>+</sup> у шахтних водах

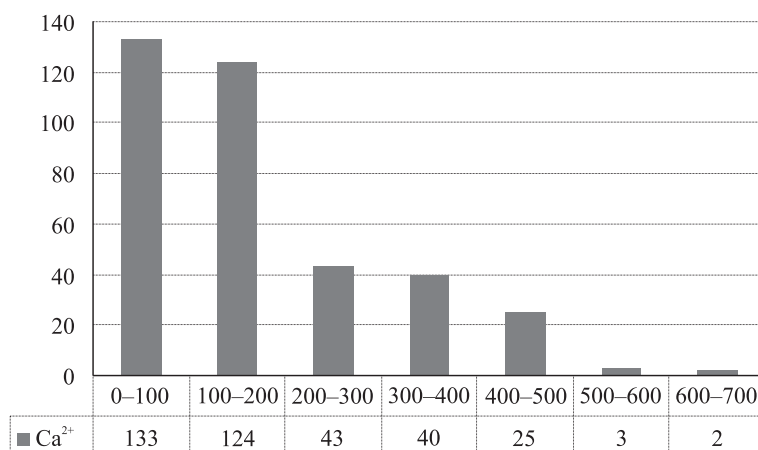


Рис. 6. Частота значень вмісту Ca<sup>2+</sup> у шахтних водах

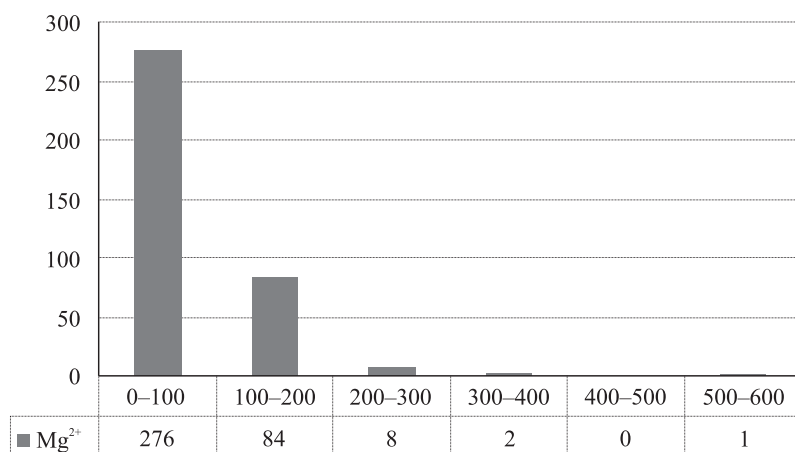


Рис. 7. Частота значень вмісту Mg<sup>2+</sup> у шахтних водах



Рис. 8. Чинники формування складу шахтних вод

можливість отримати знання про умови певних невивчених територій за аналогією до вивчених досліджуваних районів, які за комплексом елементів природного середовища схожі (однорідні), а також дозволить обґрунтовано здійснити географічну інтерполяцію знайдених закономірностей. За даними про хімічний склад шахтних вод виокремлено площі з однаковими значеннями та умовами формування, а саме площі у межах яких зберігається наявність одного і того самого провідного фактора (однорідні гідрохімічні поля). Результати районування представлені у вигляді картосхем. У наших дослідженнях районування проводили окремо за кожним показником, унаслідок чого отримали карти розподілу окремих компонентів складу шахтних вод. При цьому, порівнюючи наведені карти поширення різних головних іонів, доводиться констатувати, що райони їхніх максимальних і мінімальних концентрацій хоча й дуже схожі, але не ідентичні (рис. 9–15).

У результаті всіх взаємодій, напрямком яких постійно змінюється під впливом різних чинників, формується той тип і гідрогеохімічний склад шахтних вод, який відповідає сформованим мінливим умовам у конкретному місці і в конкретний час.

Для шахтних вод досліджуваного району побудовані картосхеми зміни їхньої мінералізації, катіонів та аніонів. Як видно, збільшення мінералізації, вмісту  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na} + \text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  відбувається з північного сходу на південний захід. Зростання значень мінералізації спричинене збільшенням вмісту йонів  $\text{Cl}^-$  і  $\text{Na} + \text{K}^+$ . Такий розподіл характеристик зумовлений формуванням складу шахтних вод завдяки надходженню вод з кам'яновугільного водоносного комплексу, склад яких змінюється в такому самому напрямку: на північному сході

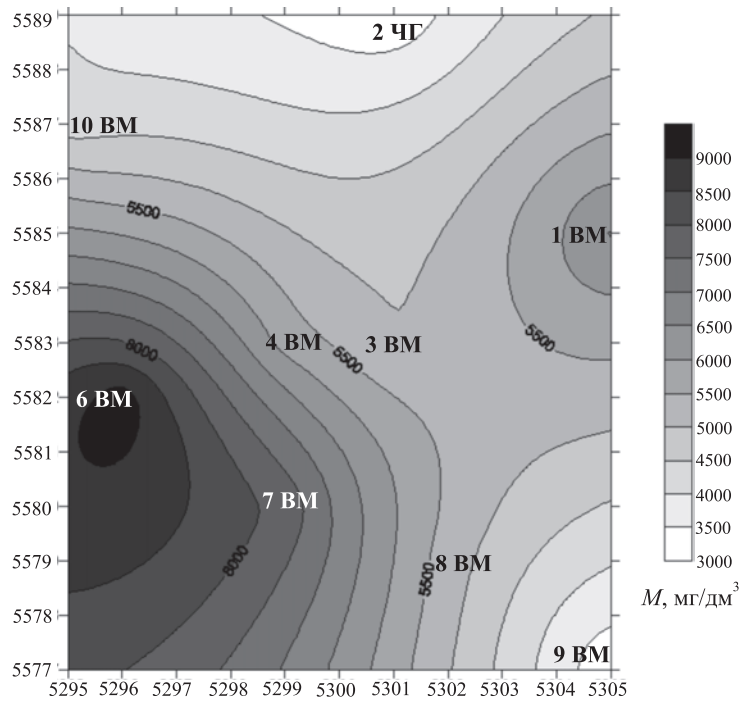


Рис. 9. Районування території за показниками мінералізації в шахтних водах.  
Шахти: 1ВМ – Великомоствівська; 2ЧГ – Червоноградська; 3ВМ – Межиріченська; 4ВМ – Від-  
родження; 6ВМ – Лісова; 7ВМ – Зарічна; 8ВМ – Візейська; 9ВМ – Надія; 10ВМ – Степова.

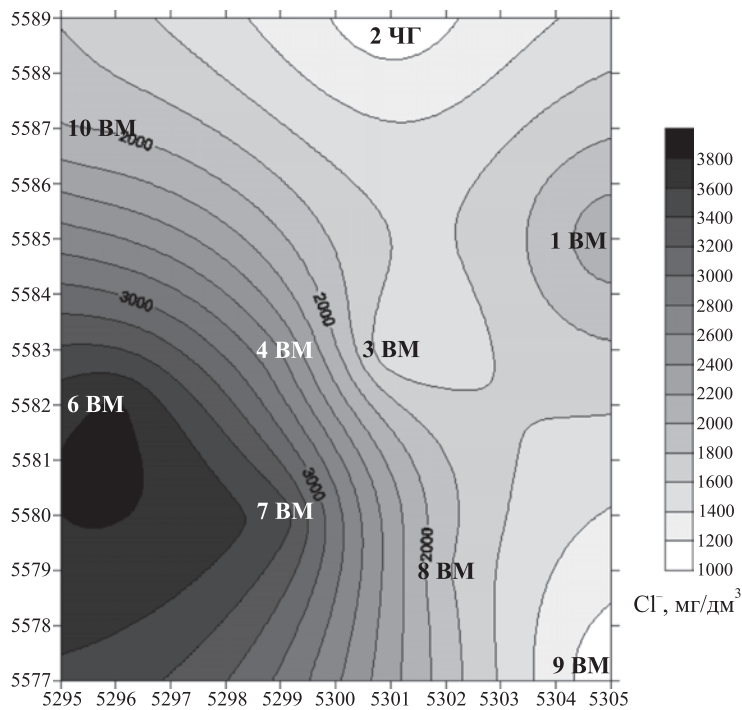


Рис. 10. Районування території за вмістом СГ у шахтних водах.  
Умовні позначення див. рис. 9.

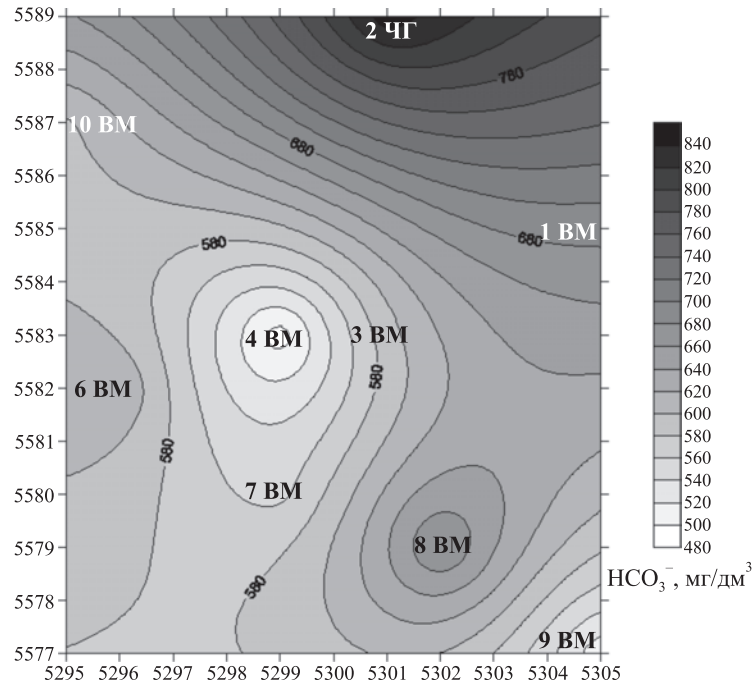


Рис. 11. Районування території за вмістом  $\text{HCO}_3^-$  у шахтних водах.  
Умовні позначення див. рис. 9.

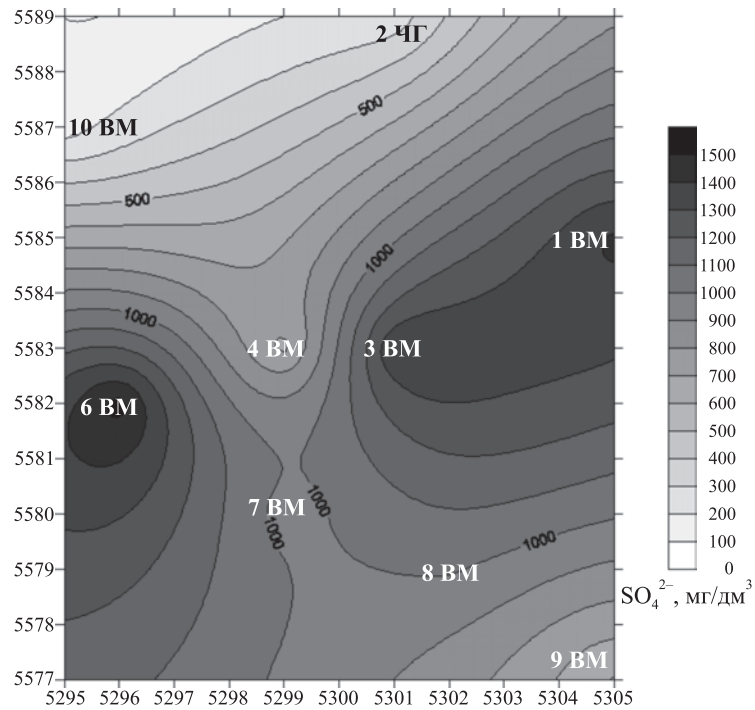


Рис. 12. Районування території за вмістом  $\text{SO}_4^{2-}$  у шахтних водах.  
Умовні позначення див. рис. 9.



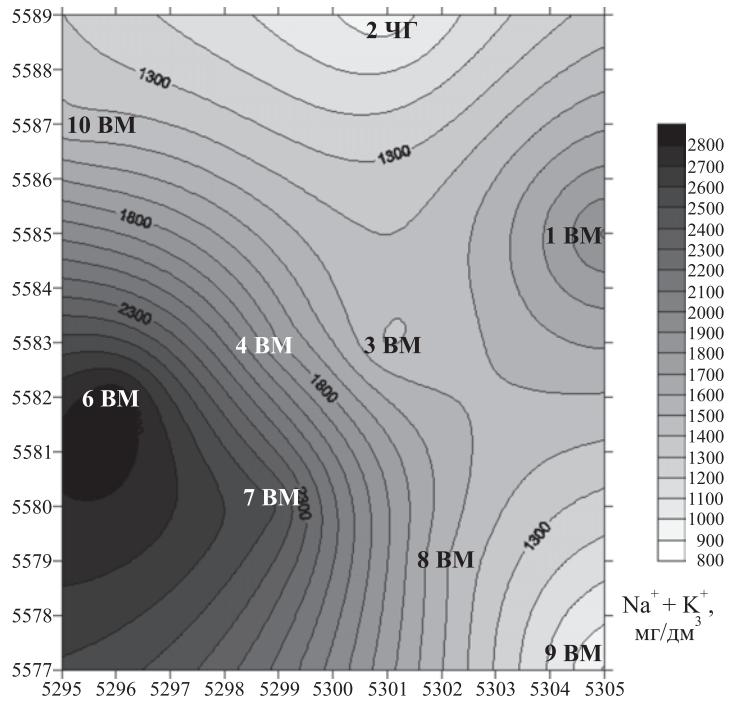


Рис. 13. Районування території за вмістом  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  у шахтних водах.  
Умовні позначення див. рис. 9.

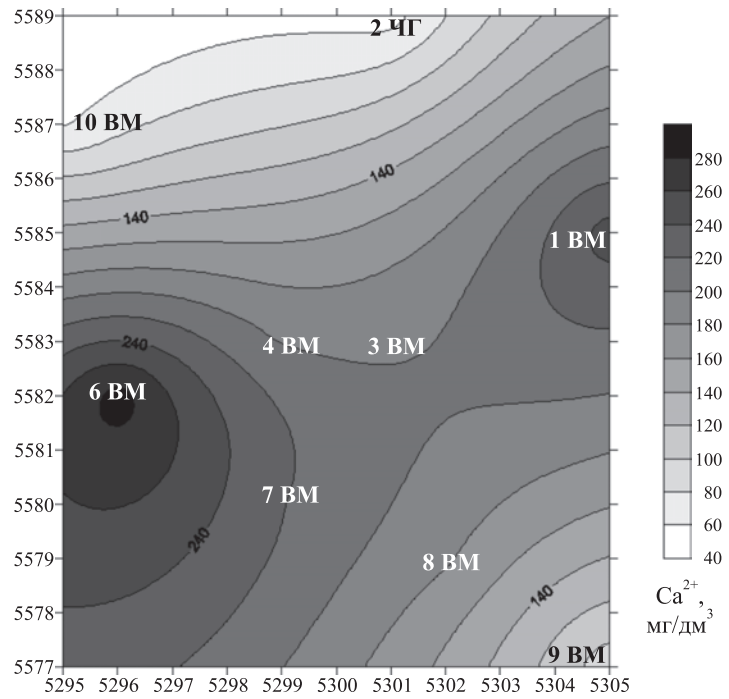


Рис. 14. Районування території за вмістом  $\text{Ca}^{2+}$  у шахтних водах.  
Умовні позначення див. рис. 9.

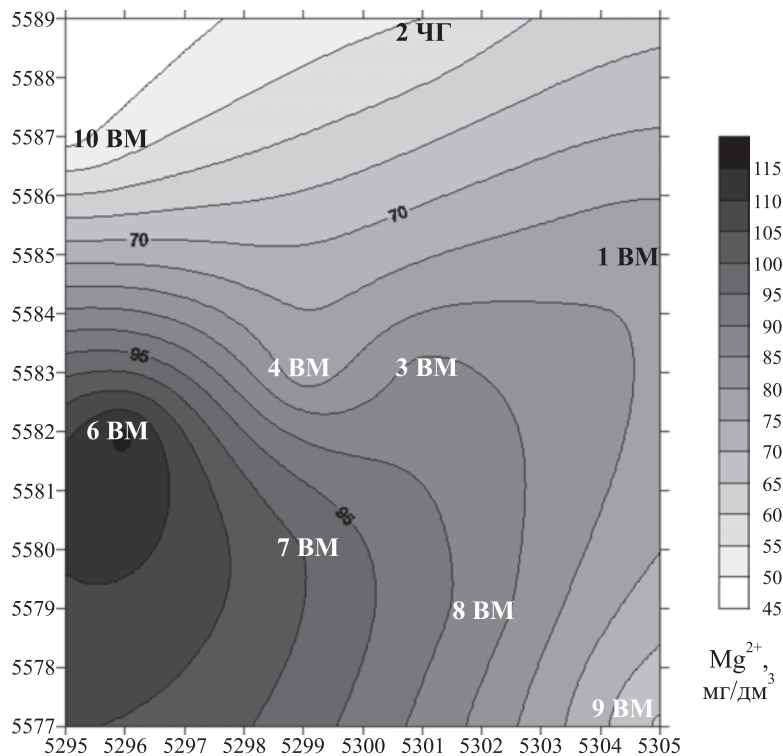


Рис. 15. Районування території за вмістом  $Mg^{2+}$  у шахтних водах.  
Умовні позначення див. рис. 9.

тип вод переважно хлоридно-гідрокарбонатний натрієвий з мінералізацією до  $2,5 \text{ г/дм}^3$ , у центральній частині басейну мінералізація вод підвищується до  $3\text{--}4 \text{ г/дм}^3$  зі збільшенням вмісту натрію і хлоридів, а на південному заході концентрація солей досягає свого максимуму (Бучацька, 2009).

Максимальний вміст  $HCO_3^-$  характерний для північної частини Червоноградського гірничопромислового району, яка збігається по площі з областю розвантаження сенонського водоносного горизонту. Склад цих вод здебільшого гідрокарбонатно-кальцієвий (Бучацька, 2009). На південь, у бік області живлення, вміст гідрокарбонатів істотно зменшується. Відповідно головною причиною такого хімічного складу є гідравлічний зв'язок глибинними розломами сенонського водоносного горизонту з підземними водами відкладів карбону. Джерелом живлення верхньокрейдового водоносного горизонту є інфільтрація атмосферних опадів.

Також існує зв'язок між вмістом аніонів: при збільшенні вмісту йонів хлору і сульфат-іонів (яке властиве південній частині досліджуваного району) зменшується кількість гідрокарбонатів (у південній частині району вона мінімальна).

Найбільший вміст іонів кальцію спостерігається в шахтних водах 6ВМ, 7ВМ, 1ВМ, 4ВМ. Це можна пояснити наявністю на цих територіях тектонічних розривних порушень, якими перетікають крейдові води в карбоніві, що змінює якісну і кількісну характеристики кам'яновугільних вод. Також варто звернути увагу на карту поширення вмісту йонів сульфату, яка є подібною до карти поширення йонів кальцію. Вміст сульфатів може бути спричинений

антропогенним чинником, а саме збільшенням протяжності гірничих виробок і поверхні порід, що зазнають окиснення (збагачення шахтних вод продуктами руйнування гірських порід і вугілля, які містять сульфідів, і які в умовах активного впливу шахтного середовища стають джерелом надходження сульфатів у шахтні води); або сульфати потрапляють унаслідок перетікання вод з кам'яновугільних відкладів (води сульфатно-хлоридно-натрієві та хлоридно-натрієві (Бучацька, 2009), що залягають під пластами, які розробляються по зонах тектонічних порушень.

Отже, розподіл шахтних вод зумовлений геологічною будовою, гідрогеологічними умовами і тектонічними особливостями території, а також сукупністю основних природних чинників, які визначають закономірності формування, розподіл і склад цих вод. Найважливішим серед них є кліматичний чинник, який зумовлює не тільки поповнення водоносних горизонтів атмосферними опадами, але й інтенсивність перетворення гірських порід.

На основі гідрогеохімічного аналізу ми змогли комплексно оцінити закономірності просторової зміни складу шахтних вод, їхній вплив на екологічний стан досліджуваного району та встановити фактори формування складу цих вод. Гідрогеохімічне районування розкрило нові закономірності встановлення складу шахтних вод, дозволило оцінити їхній склад, що дає можливість передбачити їхній негативний вплив на довкілля і вжити заходи з охорони довкілля, їхнього очищення і раціонального використання.

Відпомповувані з гірничих виробок шахтні води через систему шахтного водовідливу збираються в ставках-нагромаджувачах, які відіграють роль відстійників, і під час повеней частково потрапляють у р. Західний Буг (Львовско-Волынский басейн, 1984). Однією з найбільш серйозних і складних екологічних проблем є значні обсяги скидання шахтних вод, що подаються з шахт на поверхню. Середньорічні загальношахтні притоки води в шахти ЧГПР становлять 30–138 м<sup>3</sup>/год. Вони негативно впливають на довкілля, насамперед, на еколого-гідрохімічний стан поверхневих та підземних вод (рис. 16). Унаслідок шахтного водовідливу з'являються нові техногенні області розвантаження, змінюється напрямок руху підземних вод, збільшується градієнт підземного стоку, порушується загальний баланс підземного і поверхневого стоку (Дузь і др., 1990). Потрапляючи в річкову систему, шахтні води збільшують мінералізацію води рік, порушують її кисневий режим, погіршують санітарний стан довкілля. Особливої уваги заслуговують питання, пов'язані з інфільтрацією вод шахтного водовідливу в ґрунти і водоносні горизонти.

Наведені результати досліджень свідчать, що наявність високих концентрацій деяких компонентів у шахтних водах – це потенційно небезпечний чинник впливу на геологічне середовище. Шахтні стічні води та домішки, що в них містяться є різноманітними. Тому немає єдиного способу їхнього очищення, а вибір оптимального методу є значно ускладненим. Щоб знизити забруднення шахтних вод, необхідно основні заходи спрямувати на зменшення ступеня забруднення цих вод на шляху їхнього проходження шахтою; очищувати воду в підземних умовах з дільниць видобування вугілля; поліпшити роботу підземних очисних споруд шахт, тобто, передбачати відведення води закритими трубопроводами; доочищувати води в наземних умовах. Застосування цих рекомендацій може забезпечити стабільну екологічну ситуацію в регіоні.

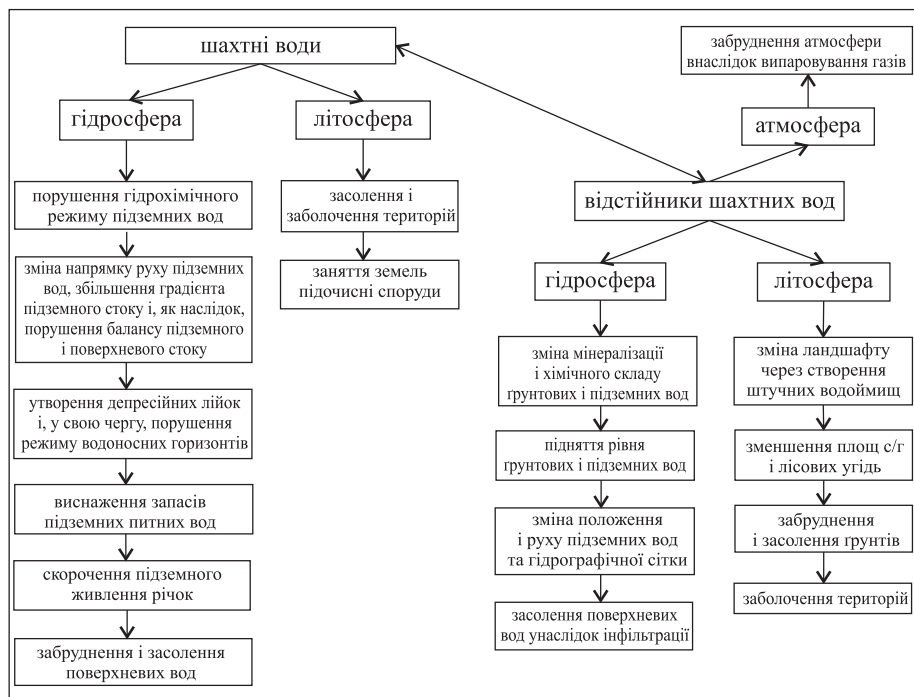


Рис. 16. Вплив шахтних вод на довкілля

**Висновки.** Встановлено діапазони концентрацій головних іонів складу шахтних вод та наведено графічні діаграми вмісту в них компонентів. Мінералізація варіює від 2000 до 8000 мг/дм<sup>3</sup>, вміст хлоридів змінюється в межах – 500–2500 мг/дм<sup>3</sup>, сульфатів – 500–1500 мг/дм<sup>3</sup>, гідрокарбонатів – від 400 до 800 мг/дм<sup>3</sup>, натрій і калій – від 500 до 2500 мг/дм<sup>3</sup>, вміст кальцію не перевищує 200 мг/дм<sup>3</sup>, а магнію – 100 мг/дм<sup>3</sup>. Розроблені картосхеми районування шахтних вод ЧГПР за мінералізацією і вмістом їхніх основних макрокомпонентів. Інтерпретуючи дані картосхем, виокремили чинники формування складу шахтних вод. Їхній розподіл зумовлений геологічною будовою, гідрогеологічними умовами і тектонічними особливостями території, а також сукупністю основних природних чинників, які визначають закономірності формування, розподіл і склад цих вод. Найважливішим серед них є кліматичний, який зумовлює не тільки поповнення водоносних горизонтів атмосферними опадами, але й інтенсивність перетворення гірських порід. Оцінено вплив шахтних вод і їхніх відстійників на геосферу Землі та запропоновано рекомендації щодо зменшення їхнього негативного впливу на навколишнє середовище, що дозволить отримати технічну воду (це дасть змогу використати її повторно). Шахтні води перестануть забруднювати довкілля і будуть корисними для подальшого виробництва.

*Бучацька Г. М.* Гідрогеологічні умови та гідрогеохімічна зональність Львівсько-Волинського вугільного басейну // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2009. – Вип. 23. – С. 175–183.

*Дузь А. И., Пичугин Б. В., Дуденко И. И.* Охрана среды и использование отходов угольного производства. – Донецк : Донбас, 1990. – 110 с.

*Посохов Е. В.* Общая гидрогеохимия. – Л. : Недра, 1975. – 208 с.

*Львовско-Волинский бассейн : Геолого-промышленный очерк / М. И. Струев, В. И. Исаков, В. Б. Шпакова и др.* – Киев, 1984. – 273 с.

Стаття надійшла  
16.06.14

**Svitlana VOITOVYCH**

### **ECOLOGICAL-HYDROGEOCHEMICAL ZONING OF CHERVONOHRAH MINING AND INDUSTRIAL REGION**

The complex hydrogeochemical analysis of mine water of the Chervonohrad mining area was conducted. Established were areas of distribution of a certain range of concentrations of major ions composition of mine waters and were found spatial geochemical characteristics of these waters. By the result of research a diagrammatic map of zoning of mine waters of Chervonohrad mining area based on mineralization and content of the main components in mine waters was compiled. Zoning of the region based on composition of mine water has allowed us to identify factors of shaping composition of these waters. In addition to geochemical type, mineralization and other water parameters were studied geological, structural, geographical, technological and other factors of the formation of the mine water. Environmental problems of the study area were characterized and estimated impact of mine water on environment, were proposed recommendations for reduction of negative impact of mine water on environment.