

УДК 553.93:622.7-17.004.82(477.82)

## ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ШАХТНИХ ВОД ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

С. Войтович

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
геологічний факультет, кафедра петрографії,  
вулиця Грушевського, 4, 79005, Львів, Україна,  
e-mail: starostasvetik@mail.ru*

На підставі системного аналізу компонентного складу шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району з'ясовано вид і характер розподілу в них основних компонентів. Визначено кількісно переважні класи вод: а)  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ ; б)  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ . За допомогою факторного аналізу обґрунтовано ефект змішування мінералізованих (хлоридних натрій-кальцієвих) вод кам'яновугільного і прісних (гідрокарбонатно кальцієвих) вод сенонського водоносних комплексів.

*Ключові слова:* шахтні води, компоненти вод, кореляційний аналіз, регресійний аналіз, факторний аналіз, Червоноградський гірничопромисловий район.

Проблема шахтних вод виникає від початку діяльності гірничого підприємства. Шахтна вода, маючи різні показники хімічного складу й агресивних властивостей, негативно впливає на техніку, яку використовують у ході добування, і на навколишнє середовище. З огляду на це необхідні дослідження хімічного складу цих вод, визначення взаємозалежності між окремими компонентами, які входять до складу води, для подальшого використання цих даних у разі вибору оптимального способу очищення шахтних вод і для прогнозування змін стану довкілля під їхнім впливом.

Сьогодні переважна більшість наукових і експериментальних робіт спрямована на вирішення питань з очищення шахтних вод різними методами, з'ясування їхньої генези, тоді як питання геохімії шахтних вод висвітлюють мало.

Визначення поняття “шахтні води” наведене в багатьох працях і підручниках, проте найсучасніша його характеристика є в “Екологічній енциклопедії” [2]: “Шахтні води – це води, що утворюються внаслідок формування припливу підземних вод у гірські виробки при видобуванні корисних копалин”.

Аналіз виконаних робіт з шахтної гідрогеології засвідчує, що нині особливості боротьби з підземними шахтними водами розглядають у науковій літературі, та все ж повної і детальної картини про компонентний склад шахтних вод досі немає. Ми спробували заповнити цю прогалину безпосередньо для Червоноградського гірничопромислового району.

*Червоноградський гірничопромисловий район* (ЧГПР) займає центральну частину Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну і на північному сході межує з Ново-волинським гірничопромисловим районом. Його вважають основним у басейні, де експлуатація шахт розпочалася ще 1957 р. У межах басейну зосереджено приблизно 70–90 % балансових запасів вугілля, які розробляли чи розробляють 12 шахтами, чотири із яких уже припинили діяльність (1 ЧГ, 2 ВМ, 5 ВМ, 8 ВМ), а інші ще експлуатують (1 ВМ-10 ВМ, 1 ЧГ, 2 ЧГ) [4].

Одним із основних джерел забруднення поверхневих і пов'язаних із ними підземних вод є шахтні води.

*Походження і формування шахтних вод.* В умовах ЧГПР шахтні води формуються з переважанням впливу підземних вод кам'яновугільного гідрогеологічного комплексу, однак за складом і властивостями шахтні води дещо відрізняються від природних підземних вод цього комплексу. Формування шахтних вод починається ще на першій стадії підготовчих виробок. Особливо значна в цьому процесі роль очисних робіт, унаслідок яких утворюються тріщини обвалу, які поширюються на сусідні водоносні горизонти і навіть гідрогеологічні комплекси. Води, що циркулюють по них, змішуються з водами, які містяться в розроблюваних вугільних пластах і бокових породах, піддаються впливу повітряного окиснювального середовища і в такому “метаморфізованому” вигляді на першій стадії надходять у гірничі виробки [4].

Суттєвіше змінюються шахтні води на другій стадії експлуатації виробок в умовах активного впливу шахтного середовища. Накопичення вод у підшві штреків і у відпрацьованому просторі лав, рух їх до центральних водозбірників зі збагаченням на шляху продуктами руйнування гірських порід і вугілля, які містять сульфіді, надають їм нових властивостей і призводять до зміни хімічного складу. Унаслідок цього нагромаджуються сульфат-іони, збільшується вміст лужноземельних елементів. Також шахтні води, стікаючи по відпрацьованому просторі, збагачуються розчинами мінерального і механічного походження та завислими речовинами. Це піскові й глинисті частинки, мінеральні крапленьня вугілля (кварц, пірит, карбонати), інертний пил, розчинені у воді солі та кислоти, частинки вугілля (флюїт, вітриніт), нафтопродукти тощо. Наявність зазначених речовин у воді спричиняє її каламутність, зумовлює забарвлення, запах, присмак, мінералізацію, кислотність і твердість [6].

Завислі речовини утворюються і надходять до води внаслідок руйнування гірського масиву, під час вантаження вугілля на транспортні засоби, дренажу вод через вироблений простір. За умов гірничого виробництва виникають вторинні джерела надходження речовин у шахтні води: під час транспортування вугілля (вантажні пункти, пересипи, стовбури), руху транспорту і людей у підоплених місцях виробок, унаслідок здування вентиляційними повітряними потоками технологічного інертного пилу.

Відпомповувані з гірничих виробок шахтні води через систему шахтного водовідливу збираються в ставках-накопичувачах, які відіграють роль відстійників, і під час поведень частково потрапляють у р. Західний Буг [5].

Для визначення особливостей розподілу компонентів у 2005–2009 рр. у шахтних водах діючих шахт ми виконали комплексні дослідження й опрацювали дані компонентного складу методами багатовимірної статистики. На діючих шахтах ЧГПР вмісті окремих компонентів шахтних вод змінюються в широких межах (див. таблицю).

Методи регресійного аналізу забезпечують не тільки оцінку сили зв'язку між двома ознаками, а й допомагають визначити вид цього зв'язку у вигляді рівняння регресії, що

описує залежність між середнім значенням однієї ознаки (залежної, поведінку якої вивчають) та значеннями певної сукупності ознак (незалежних, вплив яких на залежну ознаку намагаються оцінити). За лінією рівняння регресії (лінія тренда) визначають тенденцію зміни даних, її можна використовувати для складання прогнозів.

Таблиця 1

Склад шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району

Показник	Мінімальне значення	Максимальне значення
Мінералізація (М)	1 100 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Червоноградська)	13 122 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Лісова)
Хлориди (Cl <sup>-</sup> )	143 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Червоноградська)	5 750 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Зарічна)
Сульфати (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	84 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Степова)	4 195 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Межирічанська)
Гідрокарбонати (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	176,99 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Надія)	1 251,12 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Червоноградська)
Натрій+калій (Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> )	229,96 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Червоноградська)	4 266,1 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Лісова)
Магній (Mg <sup>2+</sup> )	9,73 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Зарічна)	373,31 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Лісова)
Кальцій (Ca <sup>2+</sup> )	22,03 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Надія)	667 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Візейська)
Твердість	4,1 мг-екв/дм <sup>3</sup> (шахта Надія)	43,9 мг-екв/дм <sup>3</sup> (шахта Межирічанська)
Сухий залишок	936 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Червоноградська)	12 518 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Лісова)
Завислі речовини	20,8 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Лісова)	583,8 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Лісова)
Окисність	2 мгО/дм <sup>3</sup> (шахта Степова)	17,8 мгО/дм <sup>3</sup> (шахта Лісова)
Аміак (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,15 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Червоноградська)	6,98 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Лісова)
Нітрати (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,19 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Степова)	2,2 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Степова)
Нітриди (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,022 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Візейська)	1,17 мг/дм <sup>3</sup> (шахта Лісова)

Для всіх шахт побудовано поліноміальні криві регресії третього порядку аніонів у шахтних водах, які відображають співвідношення вмісту аніонів (мг-екв/дм<sup>3</sup>) і загальної мінералізації (мг/дм<sup>3</sup>), та поліноміальні криві регресії третього порядку катіонів у шахтних водах, які відображають співвідношення вмісту катіонів (мг-екв/дм<sup>3</sup>) і загальної мінералізації (мг/дм<sup>3</sup>) (рис. 1, 2).

Особливості поліноміальних кривих розподілу аніонів і катіонів у шахтних водах дають змогу зробити такі висновки.

Серед аніонів найбільше значення має Cl<sup>-</sup> і тільки за низької мінералізації (<2 г/дм<sup>3</sup>) над Cl<sup>-</sup> переважає HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Зі збільшенням мінералізації зростає вплив аніонів Cl<sup>-</sup> і незначно – іонів SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Вміст іона HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> стабільно низький. Переважним класом шахтних вод

за аніонами для всіх шахтних полів ЧГПР за К. Питєвою є  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$  [3]. Цей же клас вод стабільний на шахтних полях 3 ВМ, 6 ВМ, 7 ВМ, 8 ВМ, 10 ВМ.

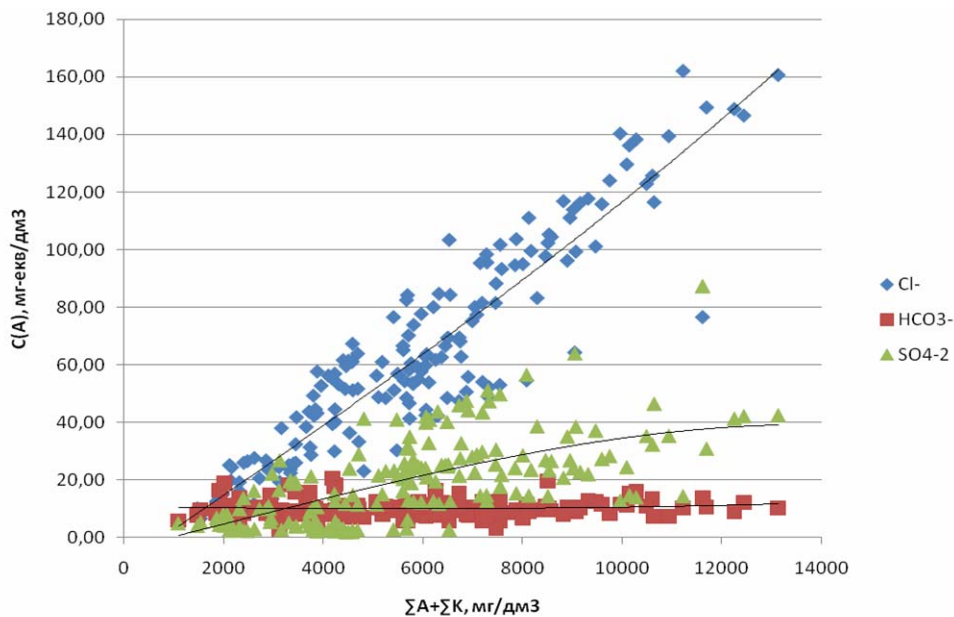


Рис. 1. Поліноміальні криві регресії третього порядку між вмістами аніонів (C(A)) та мінералізацією (ΣМ) у шахтних водах ЧГПР.

Серед катіонів у шахтних водах найвищі значення мають  $\text{Na}^+$ . Зі збільшенням мінералізації їхній вміст поступово зростає. Вміст  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  порівняно з  $\text{Na}^+$  досить низький. Переважним класом шахтних вод за катіонами для всіх шахтних полів ЧГПР є  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$  [3]. Цей же клас вод стабільний на шахтних полях – 1 ВМ, 4 ВМ, 6 ВМ.

За результатами регресійного аналізу визначено, що:

- 1) серед аніонів значно переважає  $\text{Cl}^-$ , а серед катіонів –  $\text{Na}^+$ ;
- 2) зростання мінералізації зумовлене збільшенням вмісту йонів  $\text{Cl}^-$  і  $\text{Na}^+$ ;
- 3) катіони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  наявні в невеликій кількості;
- 4) переважні класи шахтних вод (за К. Питєвою):  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ ;  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ .

За результатами кореляційного аналізу виділено такі пари хімічних елементів, що визначені близьким коефіцієнтом кореляції. Графічно сили зв'язку між парами, які виділились, зображені на рис. 3.

Для шахтних вод Червоноградського ГПР проведено *факторний аналіз*. Для вод дев'ятох шахт проаналізовано всі характеристики змінних (14 –  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , мінералізація, твердість, завислі речовини, окисність, сухий залишок,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) протягом п'яти років.

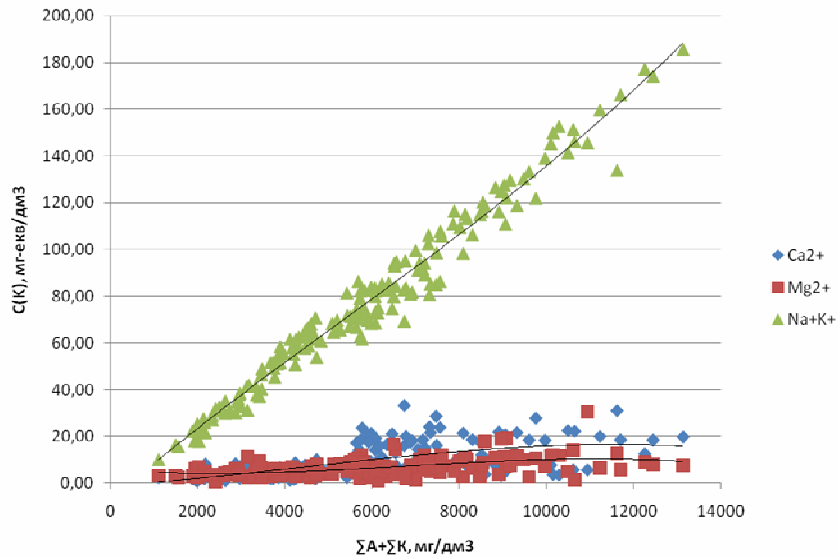


Рис. 2. Поліноміальні криві регресії третього порядку між вмістом катіонів (С(К)) та мінералізацією (ΣМ) у шахтних водах ЧГПР.

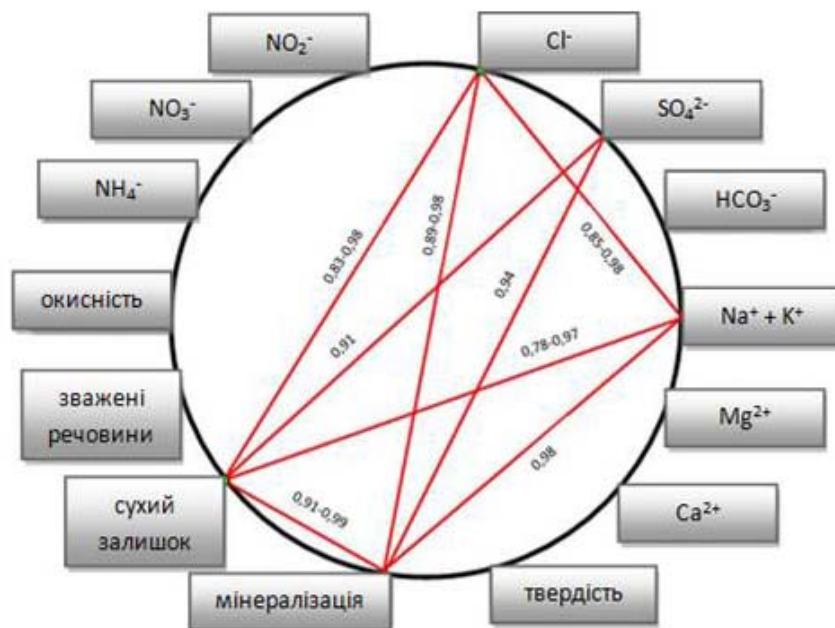


Рис. 3. Граф кореляційних зв'язків між компонентами в шахтних водах ЧГПР (лінії означають силу зв'язку  $\geq 0,71$ ).

Таблиця 2

Розподіл компонентів і характеристик у межах впливу факторів

УСІ ШАХТИ	
За вісьмома компонентами	За всіма компонентами
$F_1 = \frac{\text{ж.М., Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, (\text{Na}^+ + \text{K}^+)^+, \text{Ca}^{2+}}{\text{—}}$	$F_1 = \frac{\text{ж.М., Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, (\text{Na}^+ + \text{K}^+)^+, \text{Ca}^{2+}}{\text{—}}$
$F_2 = \frac{\text{—}}{\text{—}}$	$F_2 = \frac{\text{—}}{\text{—}}$
$F_3 = \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{—}}$	$F_3 = \frac{\text{NH}_4^+}{\text{—}}$

Примітка. У чисельнику – додатні значення факторів, у знаменнику – від’ємні.

Аналіз змінних з усіх шахт засвідчує, що перший фактор має найбільшу вагу – 40,29 %, другий – 11,53, третій – 9,92 %. У сумі вага цих факторів становить 61,74 %. За цими трьома факторами побудовано графіки розподілу в полях дії факторів F1-F2, F1-F3 (рис. 4, 5).

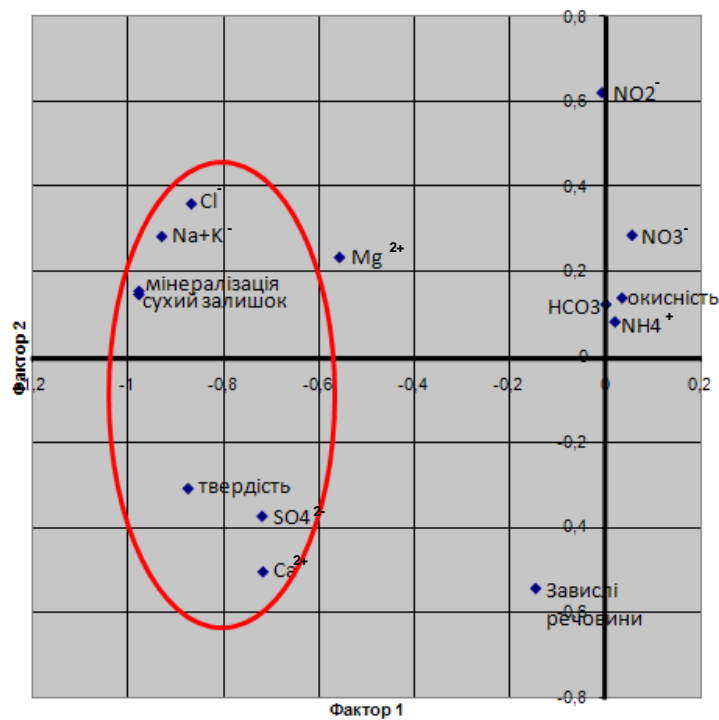


Рис. 4. Розподіл компонентів і характеристик у полях факторів F1–F2 (за всіма компонентами).

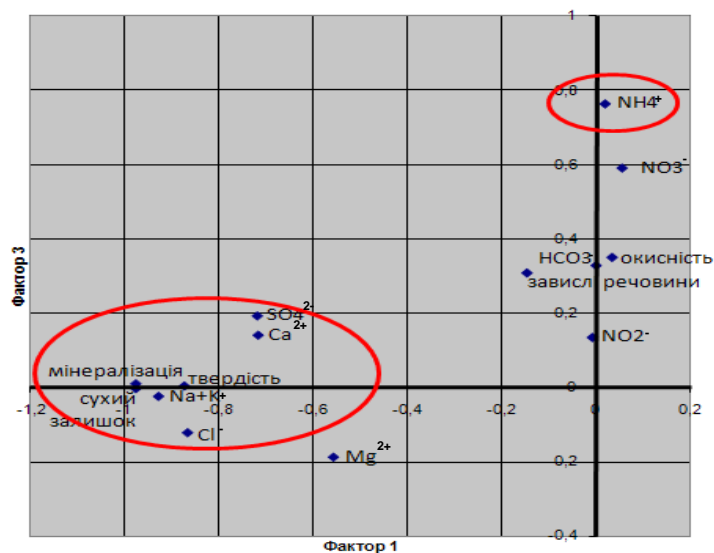


Рис. 5. Розподіл компонентів і характеристик у полях факторів F1–F3 (за всіма компонентами).

Під час інтерпретації даних факторного аналізу з'ясовано, що перший фактор зумовлений формуванням складу шахтних вод завдяки надходженню вод з кам'яновугільного водоносного комплексу. Цей фактор контрольований вмістом  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  і такими характеристиками, як мінералізація і сухий залишок (води кам'яновугільного водоносного комплексу за складом переважно гідрокарбонатно-хлоридні кальцієво-натрієві).

Другий фактор, імовірно, характеризує зміну складу шахтних вод унаслідок перетікання вод із сенонського водоносного комплексу і через це їхнє можливе опріснення. Цей фактор контрольований вмістом  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  і жорсткістю вод (води сенонського водоносного комплексу є переважно гідрокарбонатно-кальцієвими).

Результати досліджень дають загальні уявлення про особливості компонентного складу шахтних вод ЧГПР; наведено також попередні дані щодо визначених факторів, які впливають на геохімічний склад цих вод, і можливі взаємозв'язки між окремими компонентами і величинами.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бучацька Г. М. Гідрогеологічні умови та гідрогеохімічна зональність Львівсько–Волинського вугільного басейну / Г. М. Бучацька // Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2009. – Вип. 23. – С. 175–183.
2. Екологічна енциклопедія. Т. 1. – К., 2006.
3. Питьєва К. И. Гидрогеохимические аспекты охраны геологической среды / К. И. Питьева. – М. : Наука, 1984. – 221 с.
4. Струев М. И. Львовско-Волинский бассейн: Геолого-промышленный очерк / М. И. Струев, В. И. Исаков, В. Б. Шпакова [и др.]. – Киев, 1984. – 273 с.

5. Шевяков Л. Д. Шахтный водоотлив. Издание 5, переработане / Л. Д. Шевяков, А. Н. Бредихини. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 349 с.
6. Щеголев Д. И. Рудничные воды / Д. И. Щеголев. – М. : Углетехиздат, 1948. – 145 с.
7. Ярош Ю. Хімізм шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району як один із чинників негативного впливу на геологічне середовище / Ю. Ярош, В. Харкевич // Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2003. – Вип. 17. – С. 137–147.

Стаття: надійшла до редакції 10.06.2013

доопрацьована 09.10.2013

прийнята до друку 04.11.2013

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MINE WATERS OF CHERVONOGRAD MINING-INDUSTRIAL DISTRICT

**S. Voitovych**

*Ivan Franko National University of Lviv,  
geological faculty, department of petrography,  
Hrushevsky Street, 4, 79005, Lviv, Ukraine,  
e-mail: starostasvetik@mail.ru*

Based on systematic analysis of component composition of mine water Chervonograd mining - industrial area distribution pattern in these essential components is defined. Determined prevailing water classes is: a)  $Cl^- > SO_4^{2+} > HCO_3^-$  b)  $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ . Based on factor analysis the fact of mixing mineralized coal and fresh waters senon water-bearing complexes is established.

*Key words:* mine water, correlation analysis, regression analysis, factor analysis, Chervonograd Mining-Industrial District.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШАХТНЫХ ВОД ЧЕРВОНОГРАДСКОГО ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

**С. Войтович**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,  
геологический факультет, кафедра петрографии,  
улица Грушевского, 4, 79005, Львов, Украина,  
e-mail: starostasvetik@mail.ru*

На основе системного анализа компонентного состава шахтных вод Червоноградського горнопромшленного району установлено вид и характер распределения в них основных компонентов. Определено количественно превосходящие классы вод: а)  $Cl^- > SO_4^{2+} > HCO_3^-$ ; б)  $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ . На основе факторного анализа обоснованно эффект смешивания минерализованных вод каменноугольного и пресных вод сенонского водоносных комплексов.

*Ключевые слова:* шахтные воды, компоненты вод, корреляционный анализ, регрессионный анализ, факторный анализ, Червоноградский горнопромшленный район.