

Національна академія наук України  
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка

**ВОЙТОВИЧ СВІТЛАНА ПЕТРІВНА**

УДК 550.4:622.51 (477.83)

**ГЕОХІМІЯ ШАХТНИХ ВОД ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО  
КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ  
(на прикладі Червоноградського гірничопромислового району)**

04.00.02 – геохімія

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата геологічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Львівському національному університеті імені Івана Франка МОН України

**Науковий керівник:** доктор геолого-мінералогічних наук, професор  
**Гулій Василь Миколайович**,  
Львівський національний університет  
імені Івана Франка МОН України, м. Львів,  
завідувач кафедри петрографії

**Офіційні опоненти:** доктор геолого-мінералогічних наук, професор  
**Загнітко Василь Миколайович**,  
ННІ «Інститут геології», Київський  
національний університет імені Тараса  
Шевченка МОН України, м. Київ;

кандидат геолого-мінералогічних наук  
**Люта Наталія Георгіївна**,  
Український державний геологорозвідувальний  
інститут Держгеонадра України, м. Київ  
завідувач відділу гідрогеологічних та  
еколого-геологічних досліджень

Захист відбудеться “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2017 року, о \_\_\_\_\_ годині, на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.203.01 в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України за адресою: просп. Акад. Палладіна, 34, м. Київ-142, 03680.  
Тел./факс: +38 (044) 424-12-70. Електронна пошта: [office.igmr@gmail.com](mailto:office.igmr@gmail.com),  
[d26.203.01@gmail.com](mailto:d26.203.01@gmail.com).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України за адресою: просп. Акад. Палладіна, 34, м. Київ-142, 03680.

Автореферат розісланий “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.203.01

кандидат геологічних наук



І. А. Швайка

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Червоноградський гірничопромисловий район (ЧГПР) є основним регіоном видобутку вугілля у Львівсько-Волинському басейні. Його вивченню присвячені праці численних дослідників, однак на сьогодні відсутня системна інформація щодо якісного та кількісного складу шахтних вод басейну, що не дає змоги виявити їхні геохімічні особливості. Відомості про компонентний склад та встановлення походження шахтних вод району досліджень сприятиме створенню геохімічної моделі їхнього виникнення і еволюції, якої досі не існувало. Геохімія шахтних вод залишається найменш вивченою галуззю геохімії, однак вкрай важливою, оскільки сприяє вирішенню низки наукових і практичних проблем гідрогеології, інженерної геології, геохімії, охорони довкілля.

Шахтні води, проникаючи до колодязів та свердловин у межах ЧГПР, забруднюють питну воду, створюючи загрозу людському здоров'ю. Істотним негативним фактором підземного вуглевидобування району є також шкода, що завдається водному басейну регіону. У зв'язку з цим усе гострішає проблема охорони водних ресурсів території дослідження. Це зумовлено скиданням у річку Західний Буг великих об'ємів мінералізованих шахтних вод. Їхнє надходження у природні водойми значно погіршує екологічні показники води. Зміна складу та якості води річки Західний Буг має важливі наслідки, оскільки ріка є транскордонним водотоком і використовується як для постачання питної води населенню, зокрема м. Варшава, так і для комунально-побутових цілей на території України і Польщі. Тому, вивчення геохімії та генезису шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району, використання отриманих даних для прогнозу змін якості шахтних вод та окремих компонентів природних водойм під їхнім впливом має велике теоретичне і практичне значення. Все це свідчить про актуальність теми дисертаційної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано на кафедрі петрографії Львівського національного університету імені Івана Франка. Вона відповідає науковим напрямкам діяльності кафедри, геологічного факультету та тісно пов'язана з нормативами виконання еколого-геологічних робіт, спрямованих на безпеку вуглевидобування і ліквідацію негативних наслідків, які виникають при цьому, згідно з «Загальнодержавною програмою розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» та Стратегією державної екологічної політики України на період до 2020 року. Частина досліджень за темою дисертації виконана у рамках договору про науково-технічну співпрацю між геологічним факультетом ЛНУ імені Івана Франка та ДП «Львіввугілля» (договір від 24 лютого 2015 р.).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є встановлення геохімічних особливостей і закономірностей формування складу шахтних вод ЧГПР, масштабів їхнього впливу на якість природних вод та розробка рекомендацій щодо зменшення негативних екологічних наслідків.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі основні завдання:

- 1) визначити якісний і кількісний склад шахтних вод ЧГПР та виявити тенденції зміни у просторі та часі їхніх показників;
- 2) встановити природу та умови формування шахтних вод ЧГПР;
- 3) виконати прогнозування зміни хімічного складу шахтних вод району дослідження;
- 4) оцінити масштаби впливу шахтних вод на довкілля, зокрема на хімічний склад природних вод;
- 5) здійснити пошук раціональних методів очистки шахтних вод та розробка методу оптимізації системи скидання шахтних вод у річку Західний Буг.

**Об'єкт дослідження:** шахтні води Червоноградського гірничопромислового району.

**Предмет дослідження:** геохімічні особливості шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району.

**Методи дослідження** – аналіз і узагальнення фондових та опублікованих матеріалів, методи хімічного аналізу якості вод (об'ємний титриметричний, колориметричний, фотометричний, гравіметричний, органолептичні та розрахункові), математичне опрацювання результатів аналізів шахтних вод з використанням багатовимірної статистичної та графічної аналізів, метод порошкової рентгенівської дифрактометрії та гідрогеохімічного моделювання, імерсійний метод.

**Наукова новизна.** На основі проведених комплексних досліджень шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району автором вперше:

1) виконано геохімічну систематизацію шахтних вод району дослідження. Встановлено, що за хімічним складом шахтні води належать до  $\text{Cl-SO}_4\text{-Na}$  групи хлоридно-натрієвого типу з діапазоном мінералізації від 0,9 до 17,1 г/дм<sup>3</sup>, виявлено зростання вмісту макрокомпонентів та мікроелементів шахтних вод на південний захід, що ймовірно пов'язано з геологічною будовою та тектонічними особливостями району;

2) обґрунтовано, що на сучасному етапі вуглевидобутку формування складу шахтних вод району відбувається завдяки змішуванню мінералізованих вод кам'яновугільного і прісних вод сенонського водоносних комплексів, визначено джерела надходження макрокомпонентів – поховані морські води, процеси хімічного вивітрювання, розчинення та окислення порід;

3) за результатами гідрогеохімічного моделювання встановлено, що в процесі експлуатації Червоноградського гірничопромислового району мінералізація шахтних вод, вміст іонів натрію та калію, магнію та хлор-іонів буде підвищуватися;

4) розроблено метод оптимізації системи скидання шахтних вод району відповідно до гідрологічних – гідрохімічних особливостей річки Західний Буг. Визначено, що з відстійника с. Городище під час весняної повені максимально можливий скид шахтних вод – 0,24 м<sup>3</sup>/с, у літньо-осінню межень – 0,15 м<sup>3</sup>/с, у зимову межень – 0,19 м<sup>3</sup>/с; з відстійника м. Червоноград у весняну повінь – 0,23 м<sup>3</sup>/с.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що результати вивчення компонентного складу шахтних вод стануть підґрунтям для вибору

найбільш ефективного і мало затратного способу очищення шахтних вод у регіоні, тобто передумовою використання шахтних вод для технічного і господарського водопостачання регіону. Також ці дані будуть використані на вуглевидобувних підприємствах для прогнозу змін хімічного складу шахтних вод, стану довкілля під їхнім впливом та для розроблення рекомендацій щодо зменшення негативного впливу цих вод на навколишнє середовище.

Результати виконаної роботи можуть бути використані проектними організаціями та установами під час розробки і планування водоохоронних заходів басейну ріки Західний Буг, для оцінки ефективності цих заходів, для зменшення впливу шахтних вод на мережу гідрографії і на формування якісного стану підземних й поверхневих вод.

**Особистий внесок автора** полягає у систематизації, узагальненні, обробці та інтерпретації даних. Особисто автором створено гідрогеохімічну базу даних, виявлено геохімічну спеціалізацію та закономірності просторового та часового розподілу компонентів складу шахтних вод; вивчено взаємозв'язки між окремими геохімічними показниками; визначено переважаючі чинники надходження та акумуляції хімічних елементів; проведено системно-статистичне опрацювання аналітичних даних, розроблено схему мінімалізації шкідливого впливу шахтних вод та модель їх скидання у природні басейни на основі геохімічного моделювання. У публікації [8] за участю автора подано зібрані та оброблені статистичні дані, а також сформульовано висновки.

**Апробація результатів досліджень.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на щорічних звітних наукових конференціях Львівського національного університету імені Івана Франка (2011, 2015) та наукових семінарах кафедри петрографії, а також під час навчання в аспірантурі (2010 – 2013 рр.), на Вчених радах геологічного факультету. Окремі положення дисертації розглядалися на наукових конференціях: “Стан і перспективи сучасної геологічної освіти та науки” (м. Львів, Геологічний факультет, Львівський національний університет імені Івана Франка, 13 – 15 жовтня 2010 р.), на 3rd Students International Geological Conference (Lviv, Ukraine, April 27 – 30, 2012), на 4th Students International Geological Conference (Brno, Czech Republic, April 19 – 21, 2013), «Фундаментальне значення і прикладна роль геологічної освіти і науки» (м. Львів, Геологічний факультет, Львівський національний університет імені Івана Франка, 7 – 9 жовтня 2015 р.).

**Публікації.** Головні результати досліджень та основні висновки, що викладені в дисертаційній роботі, опубліковані у 11 наукових працях, зокрема, в 6 статтях у наукових фахових виданнях, включно з 2 зарубіжними виданнями і тими, що входять в наукометричні бази, відповідно до вимог МОН України. Крім цього, матеріали дисертації апробовано на міжнародних і вітчизняних наукових конференціях.

#### **Структура та об'єм дисертації.**

Дисертаційну роботу викладено на 124 сторінках тексту, вона складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку літератури з 194 найменувань, 5 додатків, містить 51 рисунок, 45 таблиць. Загальний обсяг дисертації 245 сторінок.

Автор висловлює щире подяку науковому керівнику д. г.-м. н. Гулію В. М. за цінні поради, допомогу і терпіння, за підтримку у написанні роботи. Особлива подяка першому наставнику і вчителю доценту Сеньковському А. Ю. за вибір напрямку досліджень в області геохімії; за консультації і поради – к. геол. н. Дяківу В. О., д. г.-м. н. Суярку В. Г., д. г. н. Улицькому О. А., к. геол. н. Яковенко М. Б., к. г.-м. н. Харкевичу В. В.; за допомогу у математико-статистичній обробці – к. ф.-м. н. Хом'яку М. М. За цінні поради автор висловлює велику вдячність д. г.-м. н. Узіюку В. І., д. геол. н. Крупському Ю. З., к. г.-м. н. Побережській І. В., к. ф.-м. н. Фурману В. В., к. г.-м. н. Степанову В. Б., к. геол. н. Костюку О. В., к. геол. н. Борняк У. І.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, показано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, представлено дані про публікації та апробацію результатів дослідження.

У першому розділі «**Особливості геологічної будови Червоноградського гірничопромислового району**» стисло подано фізико-географічний нарис, сучасні уявлення про стратиграфію, літологію і тектоніку Червоноградського гірничопромислового району.

Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн розташований у західній частині України, в середині течії р. Західний Буг, займає північно-західну частину Львівської і південно-західну частину Волинської областей. Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн знаходиться в південно-східній частині більш значного за площею, розташованого на території Польщі, Люблінського кам'яновугільного басейну. Басейн поділяється на гірничопромислові райони: Червоноградський, Нововолинський і Південно-Західний (М. І. Струєв, 1984).

Червоноградський гірничопромисловий район розташований в центральній частині Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, на північному сході межує з Нововолинським районом (рис. 1). Цей район вважається основним в басейні. Експлуатація шахт розпочалася ще у 1957 році. Тут знаходиться 12 шахт (1 – 10 ВМ, 1 ЧГ, 2 ЧГ), 4 з яких уже призупинили діяльність – 1 ЧГ, 2 ВМ, 5 ВМ, 8 ВМ (рис. 2). Район дослідження характеризується спокійними формами рельєфу. Основні водотоки рівнинного типу: р. Західний Буг та її притоки – Солокія, Рата.

У геоструктурному відношенні Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн є пологою асиметричною западиною, розташованою на південно-західному закінченні Волино-Подільської плити, в зоні занурення Східно-Європейської платформи. Червоноградський гірничопромисловий район у структурному плані включає в себе Забузьку монокліналь, Межирічанську і Сокальську синклінальні складки (В. А. Кушнірук, 1968). У межах району помітні численні тектонічні розривні порушення, а диз'юнктивні дислокації представлені скидами і насувами. Внаслідок цього район дослідження має інтенсивні тектонічні порушення, які можна розглядати як чинник, що гідравлічно пов'язує між собою водоносні горизонти карбонових, вище і нижче залягаючих відкладів (Г. І. Рудько, 2001).

У геологічній будові району бере участь складний комплекс палеозойських, мезозойських і четвертинних відкладів, які залягають на докембрійському фундаменті, однак особливий науковий інтерес мають відклади від девонських до четвертинних (Д. П. Бобровник, 1962).

Девон широко розповсюджений в районі, має велику потужність (2300 м). Нижній девон сформований товщею континентальних червоних пісковиків і піщано-глинистих порід; середній – чергуванням доломітів з вапняками і аргілітами; верхній – доломітами з пісками у нижній частині, вапняками – у верхній.

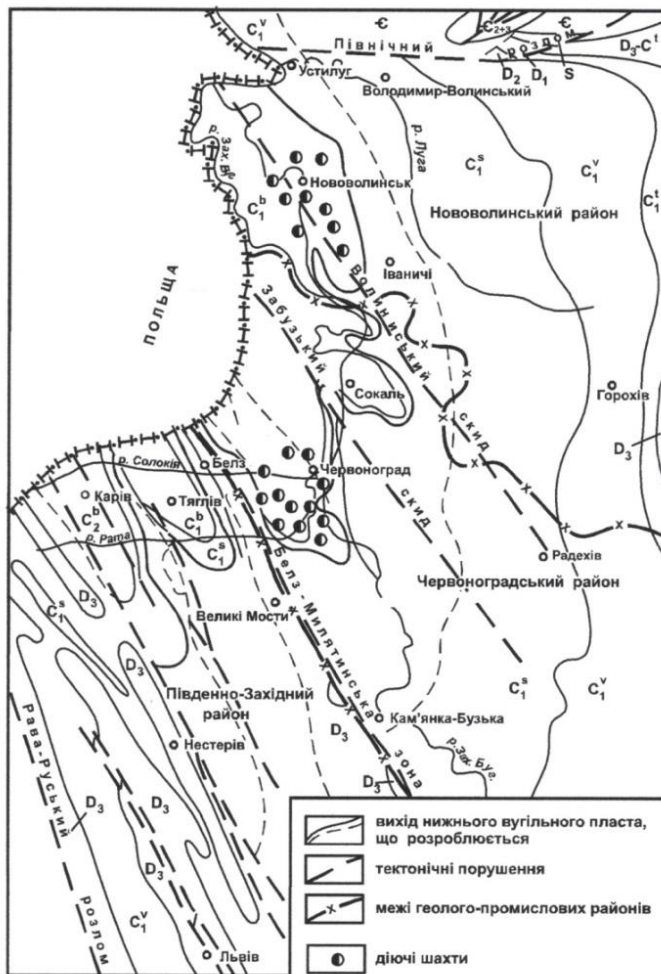


Рис. 1. Схематична карта Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну (Струев М.І. та ін., 1984)

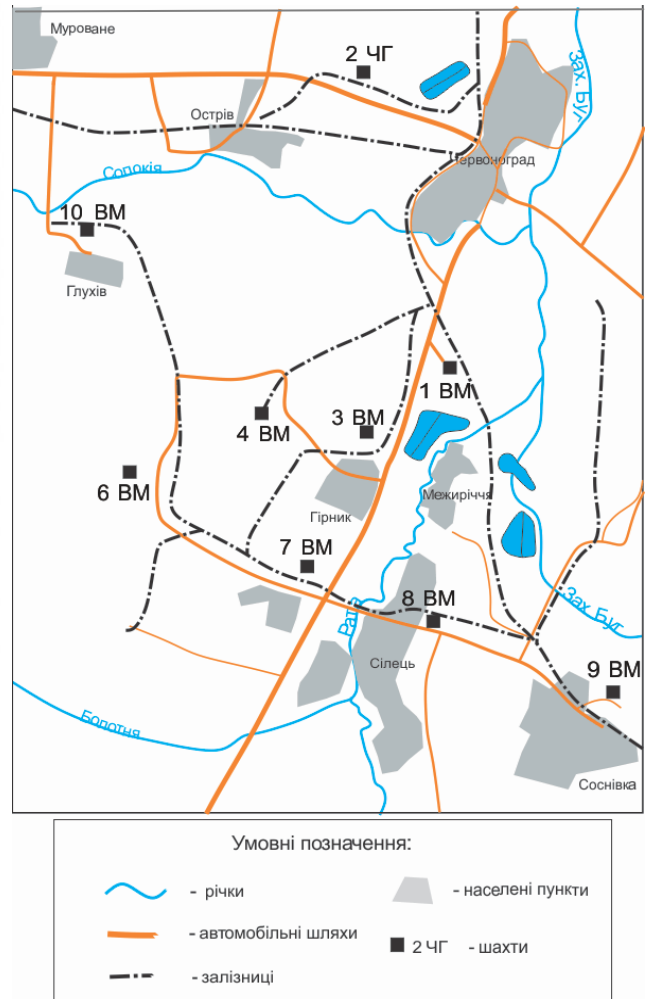


Рис. 2. Карта-схема розташування шахт Червоноградського гірничопромислового району

Карбон незгідно залягає на породах верхнього девону, кам'яновугільні відклади поширені на всю площу ЧГПР і представлений нижнім і частиною середнього ярусу. Нижній карбон представлений піщано-конгломератовою і вапняково-аргілітовою товщами (турнейський ярус); аргілітами, алевролітами, пісковиками, вапняками і вугіллям (візейський ярус) потужністю до 200 м; теригенними і вапняковими породами з основною продуктивною товщею вугільних пластів (серпухівський ярус) потужністю 250 м. Середній карбон представлений нижньою частиною башкирського ярусу, яку складають аргіліти, алевроліти, пісковики з прошарками вапняків, кам'яного вугілля, вуглистих сланців, загальна потужність ярусу – 200 м.

Юра розповсюджена нерівномірно – залягає на окремих площах, заповнюючи знижені ділянки рельєфу часів палеозою, і представлена строкатими, буруваточервонуватими глинами, аргілітами, пісковиками, гравелітами, рідше – конгломератами. Відклади крейдової системи представлені її верхнім відділом і трансгресивно перекривають юрські, кам'яновугільні та девонські утворення. Проявляються вони однорідною мергельно-крейдіною товщею потужністю 120–200 м. Четвертинні утворення складені головно лесовим, флювіогляціальним та алювіальним комплексами відкладів. Загальна потужність четвертинної системи 0,5–35 м.

Львівсько-Волинський вугленосний басейн належить до таких, що розташовані на крайових частинах давніх платформ, його формування відбувалося в паралічних умовах (В. А. Михайлов, М. В. Курило, В. Г. Омельченко, 2009).

У другому розділі **«Стан вивченості проблеми шахтних вод»** розглядаються питання вивчення геохімії шахтних вод різних родовищ багатьма дослідниками як нашої країни, так і за кордоном. Детально проаналізовано літературні джерела та фондові матеріали, присвячені цій проблемі.

Питання дослідження складу шахтних вод та з'ясуванню їх генези є висвітлені в наукових публікаціях таких вчених, як Улицький О. А., Суярко В. Г., Шевченко О. А., Тарасова Е. А., Проскурня Ю. А., Розковський А., Рижков І. Ю., Рижикова І. А., Кроик А. А., Щеголев Д. І, Натаров В. В., Натаров В. Д. та інших дослідників. Проблема прогнозування змін хімічного складу шахтних вод стала актуальною і почала вивчатися з 80-х років ХХ століття. Дослідженням даної проблеми займалися, зокрема, Макляк В. Ф., Калигін П. В., Яковлев Е. А.

Сучасні уявлення про особливості геохімії шахтних вод району досліджень пов'язані з іменами В. Я. Караваєв (1984), В. В. Харкевич (2003), Ю. В. Ярош (2003).

На даний час проведені численні дослідження геохімії шахтних вод різних басейнів як в Україні, так і за кордоном, однак щодо шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району такі дослідження, за незначним винятком, майже відсутні, що і послужило підставою для їх вивчення.

У третьому розділі **«Методи і методологія досліджень»** описано фактичний матеріал, який покладено в основу дисертації, схему комплексної методики, на підставі якої вивчали геохімію шахтних вод та головні методи досліджень.

В основу роботи покладено результати вивчення хімічного складу шахтних вод району дослідження з 2001 до 2012 року, а це понад 500 аналізів. Відбір проб проводився в центральних водозбірниках шахт та відстійниках шахтних вод. Склад шахтних вод визначався стандартними методами хімічного аналізу якості вод (об'ємним титриметричним, колориметричним, фотометричним, гравіметричним, органолептичним та розрахунковим методами) в акредитованих лабораторіях ДП «Львіввугілля».

Проведено збір, аналіз, узагальнення і систематизацію даних за геологічною будовою, тектонічними особливостями та гідрогеологічними умовами району дослідження.

При вивченні геохімії шахтних вод району досліджень використовувався комплексний підхід і метод системного аналізу. В роботі застосовано методи



математичної статистики (кореляційний, регресійний, факторний аналізи) та графічного аналізу (побудова графіків, діаграм, карт), метод гідрогеохімічного та гідрохімічного моделювання. Одержані дані оброблялись за допомогою комп'ютерних програмних комплексів «Microsoft Excel», «Statistica 10.0», «Surfer» та «Corel Draw», «Microsoft Power Point».

У четвертому розділі «**Геохімічні особливості шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району**» наведено результати вивчення геохімії складу шахтних вод досліджуваного регіону.

*Діапазони концентрацій головних іонів складу шахтних вод.* На шахтах Червоноградського гірничопромислового району вмісти компонентів шахтних вод змінюються в широких межах (рис. 3). Мінералізація шахтних вод варіює в широких межах: від 1000 до 13000 г/дм<sup>3</sup>, але найчастіше – від 2000 до 8000 мг/дм<sup>3</sup>. У групі аніонів переважають хлориди (вміст їх в основному сягає 500–2500 мг/дм<sup>3</sup>). Кількість сульфатів сягає і 3000 мг/дм<sup>3</sup>, але найчастіше – 500–1500 мг/дм<sup>3</sup>. Гідрокарбонати зустрічаються в незначній кількості, переважно від 400 до 800 мг/дм<sup>3</sup>. Серед катіонів домінуюче значення має натрій і калій, присутні вони в основному в шахтних водах в кількості від 500 до 2500 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст кальцію становить найчастіше 100 мг/дм<sup>3</sup>, причому здебільшого не перевищує 200 мг/дм<sup>3</sup>. Кількість магнію найчастіше не перевищує 100 мг/дм<sup>3</sup>.

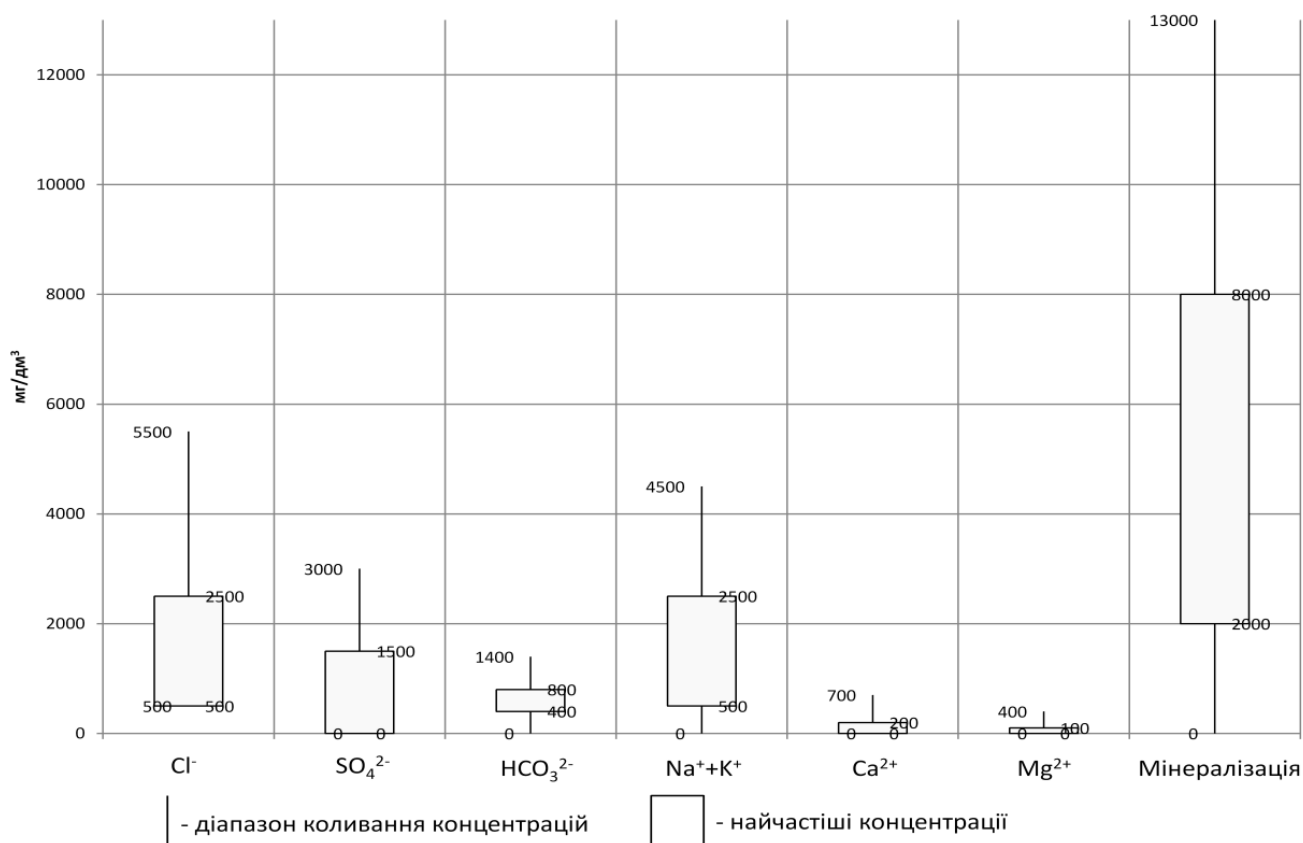


Рис. 3. Діапазони концентрацій макрокомпонентів шахтних вод району дослідження

*Класифікація шахтних вод за величиною мінералізації.* Оскільки поведінка компонентів у шахтних водах залежить від двох груп факторів: внутрішніх і зовнішніх, то міграцію кожного компонента можна розглядати з урахуванням дії на

нього сукупності параметрів, які характеризують середовище міграції. Компоненти шахтних вод вивчалися методом побудови концентраційних кривих, які дають уявлення про вміст компонента (а відповідно і про його поведінку) при різних концентраціях розчину (рис. 4).

Автором дисертаційного дослідження зроблено висновок: серед аніонів значно переважає  $\text{Cl}^-$ , а серед катіонів –  $\text{Na}^+$ ; вони є домінуючими серед інших аніонів і катіонів; зі збільшенням мінералізації вміст  $\text{Cl}^-$  та  $\text{Na}^+$  зростає; катіони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  присутні в невеликих кількостях; збільшення мінералізації призводить до зменшення іонів  $\text{SO}_4^{2-}$  і  $\text{HCO}_3^-$ .

Загальна формула хімічного складу всіх шахтних вод в отриманих інтервалах мінералізації:

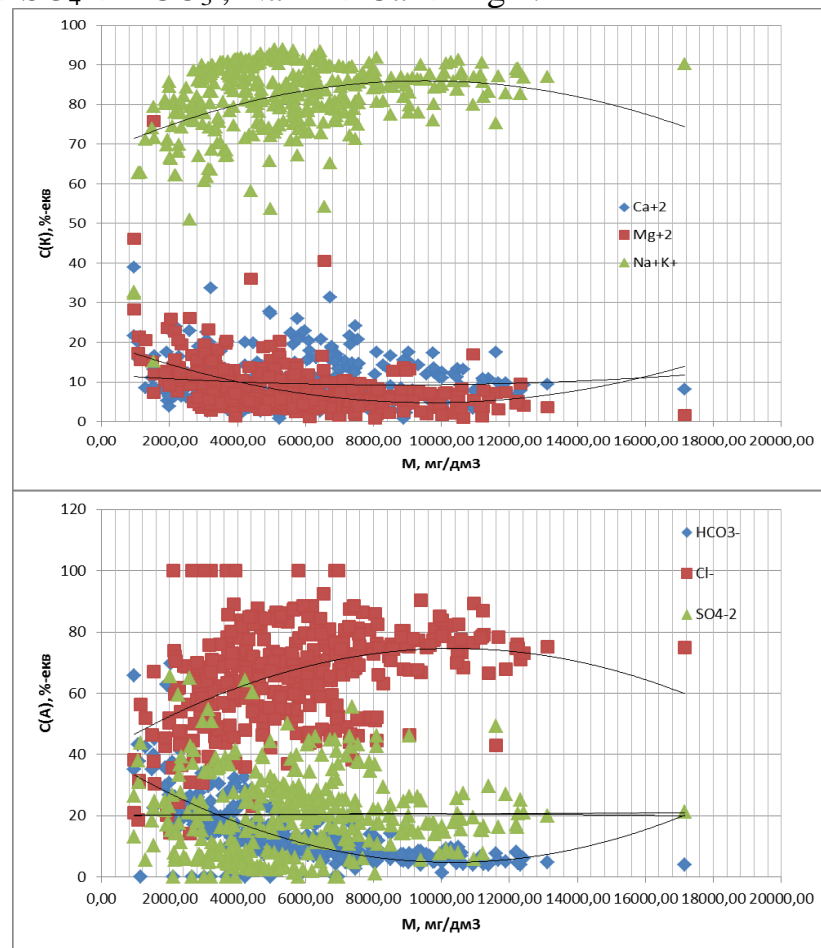
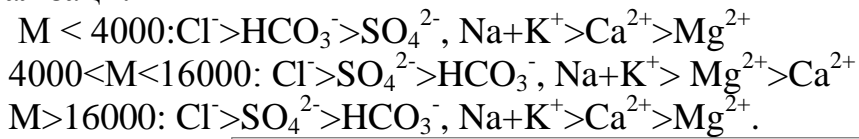


Рис. 4. Концентраційні криві макрокомпонентів хімічного складу шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району (за даними Войтович С. П., 2013)

Встановлено, що склад шахтних вод по аніонах змінюється в такій послідовності:  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ ; по катіонах:  $\text{Na} + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Na} + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Na} + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ .

На основі концентраційних кривих були встановлені класи шахтних вод залежно від величини мінералізації для кожної шахти і для усіх шахтних вод району дослідження (табл. 1).

Таблиця 1

## Класифікація шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району за величиною мінералізації (М)

№ шахти	Класи шахтних вод за Питтьєвою К. Е.				Інтервали зміни М, г/дм <sup>3</sup>	Формула Курлова (за середніми значеннями)
	М г/дм <sup>3</sup>	класи по аніонах	класи по катіонах	формула		
1 ВМ	М<8,8	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>	Cl131-76 SO <sub>4</sub> 13-51 HCO <sub>3</sub> 6-19 Na54-92 Ca3-34 Mg 1-41 SO <sub>4</sub> 46 Cl46 HCO <sub>3</sub> 8 Na 80 Ca15 Mg 5	2,9 – 9	$\frac{Cl\ 60\ SO_4\ 29\ HCO_3\ 11}{M_{6,5}\ Na\ 81\ Ca\ 12\ Mg\ 6}$
	М>8,8	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>			
2 ЧГ	М<1,4	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> 35-43 Cl19-38 SO <sub>4</sub> 27-38 Na 32-63 Mg17-46 Ca 16-22 Cl15-74 HCO <sub>3</sub> 14-70 SO <sub>4</sub> 5-34 Na 15-94 Mg 3-76 Ca 2-17	0,9 – 5,3	$\frac{Cl\ 61\ HCO_3\ 29\ SO_4\ 10}{M_{3,1}\ Na\ 85\ Mg\ 10\ Ca\ 5}$
	М>1,4	Cl <sup>-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Ca <sup>2+</sup>			
3 ВМ	М<3,8	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Ca <sup>2+</sup>	Cl14-72SO <sub>4</sub> 5-65HCO <sub>3</sub> 15-40 Na 51-79 Mg7-26 Ca 10-23 Cl23-83SO <sub>4</sub> 6-64HCO <sub>3</sub> 7-21 Na71-92 Ca4-22Mg 1-19	1,5 – 11,6	$\frac{Cl\ 51\ SO_4\ 37\ HCO_3\ 12}{M_5\ Na\ 78\ Ca\ 13\ Mg\ 9}$
	М>3,8	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>			
4 ВМ	М<2,4	Cl <sup>-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>	Cl62-71 HCO <sub>3</sub> 21-23 SO <sub>4</sub> 7-18 Na62-70 Ca16-24 Mg 14 Cl51-92 SO <sub>4</sub> 1-34HCO <sub>3</sub> 4-23 Na62-91 Ca5-24 Mg 1-16	2,1 – 9,8	$\frac{Cl\ 77\ SO_4\ 15\ HCO_3\ 8}{M_{5,8}\ Na\ 83\ Ca\ 10\ Mg\ 7}$
	М>2,4	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>			
6 ВМ	М<4	Cl <sup>-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>	Cl21-64 HCO <sub>3</sub> 16-66 SO <sub>4</sub> 13-21 Na33-62 Ca22-39 Mg 16-28 Cl38-82 SO <sub>4</sub> 8-55 HCO <sub>3</sub> 4-13 Na66-91 Ca2-28 Mg 1-17	0,9 – 17,1	$\frac{Cl\ 72\ SO_4\ 21\ HCO_3\ 7}{M_{9,2}\ Na\ 84\ Ca\ 10\ Mg\ 6}$
	М>4	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>			
7 ВМ	М<5,2	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Ca <sup>2+</sup>	Cl36-78 SO <sub>4</sub> 15-39 HCO <sub>3</sub> 7-24 Na 74-86 Mg6-20 Ca 6-15 Cl68-89 SO <sub>4</sub> 6-26 HCO <sub>3</sub> 1-14 Na78-91 Ca1-17 Mg 1-14	2,3 – 11,2	$\frac{Cl\ 77\ SO_4\ 16\ HCO_3\ 7}{M_{7,8}\ Na\ 85\ Ca\ 9\ Mg\ 6}$
	М>5,2	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>			
8 ВМ		Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>	Cl14-72 SO <sub>4</sub> 14-65 HCO <sub>3</sub> 8-28 Na54-90 Ca1-31 Mg 3-20	2 – 7,5	$\frac{Cl\ 62\ SO_4\ 25\ HCO_3\ 13}{M_{5,2}\ Na\ 80\ Ca\ 11\ Mg\ 9}$
9 ВМ	М<7,4	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Ca <sup>2+</sup>	Cl24-79 SO <sub>4</sub> 13-59 HCO <sub>3</sub> 6-38 Na 63-91 Mg5-23 Ca 4-22 Cl90 SO <sub>4</sub> 6HCO <sub>3</sub> 4 Na90 Ca7 Mg 3	1,1 – 9,3	$\frac{Cl\ 58\ SO_4\ 25\ HCO_3\ 17}{M_{3,1}\ Na\ 80\ Mg\ 11\ Ca\ 9}$
	М>7,4	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>			
10 ВМ		Cl <sup>-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Ca <sup>2+</sup>	Cl52-89 HCO <sub>3</sub> 8-43 SO <sub>4</sub> 2-19 Na 71-91 Mg 3-21 Ca 1-11	1,2 – 6,4	$\frac{Cl\ 81\ HCO_3\ 14\ SO_4\ 5}{M_{4,3}\ Na\ 90\ Mg\ 6\ Ca\ 4}$
Усі шахтні води	М<4	Cl <sup>-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>	Cl14-89 HCO <sub>3</sub> 6-70 SO <sub>4</sub> 3-65 Na15-92 Ca1-76 Mg 1-39 Cl23-92 SO <sub>4</sub> 1-64 HCO <sub>3</sub> 1-32 Na54-94 Mg1-41 Ca 1-31 Cl75 SO <sub>4</sub> 21 HCO <sub>3</sub> 4 Na90 Ca8 Mg 2	0,9 – 17,1	$\frac{Cl\ 60 - 81\ SO_4\ 5 - 37\ HCO_3\ 7 - 29}{M_{3-9,2}\ Na\ 78 - 90\ Ca\ 4 - 13\ Mg\ 6 - 11}$
	4<М>16	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Ca <sup>2+</sup>			
	М>16	Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> >Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup>			

Для шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району найбільш характерними *мікроелементами* є: барій, купрум, цирконій, стронцій, титан, силіцій, манган, хром, нікель, молібден, літій, алюміній, лантан. Рідше зустрічаються плюмбум, йод, бром та флуор. В одиночних пробах в незначних кількостях виявлено цинк, рубідій, кобальт, ітрій. В досліджуваних нами водах немає станума, фосфору, германія, галію, берилію.

Простежується певна закономірність зростання в водах вмісту мікроелементів з північного сходу на південний захід. Максимальні концентрації мікроелементів найчастіше виявлялися у шахтних водах хлоридно-натрієвого та сульфатно-хлоридно натрієвого складу, що відрізняються підвищеною мінералізацією.

Джерелами надходження мікроелементів у шахтні води можуть бути осадові породи водоносних горизонтів, вугілля. За даними вчених (В. Г. Суярко, О. А. Улицький, Г. І. Рудько), ще одним вірогідними джерелом їх надходження у шахтні води є сучасний тепломасоперенос, осередки якого приурочені до глибинних розломів.

*Часові зміни хімічного складу шахтних вод.* На фоні загального високого вмісту хімічних інгредієнтів спостерігаються різкі їх коливання у часі. Зміна якості води, на нашу думку, знаходиться в тісній залежності від притоку вод, що надходять у гірничі виробки, а зміна їх кількості перебуває в прямій залежності від природних умов: клімату (кількості атмосферних опадів), рельєфу місцевості, тектоніки шахтних полів і від зв'язку поверхневих вод з підземними. Відповідно до цього і зміна мінералізації відбувається в залежності від джерела поступлення води в гірничу виробку і від кількості води, яка поступає.

*Закономірності просторового розподілу компонентів шахтних вод.* Збільшення мінералізації, вмісту  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  та  $\text{Ca}^{2+}$  відбувається з північного сходу на південний захід, а вміст іонів  $\text{HCO}_3^-$  збільшується з південно-західного на північно-східний. Такий розподіл компонентів зумовлений умовами формування складу шахтних вод. Вміст сульфат іонів на кожній шахті залежить від протяжності гірничих виробок і поверхні порід, що зазнають окиснення, та від часу перебування шахтних вод у водозбірниках шахт перед відкачуванням їх на поверхню.

У п'ятому розділі **«Чинники та умови формування хімічного складу шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району»** наведено гідрогеохімічні особливості підземних вод району та результати особистих досліджень.

Проведення гірничих виробок у великих обсягах і на різних глибинах спричиняє порушення складеної внаслідок геологічного розвитку природної циркуляції підземних вод. При проходці гірничих виробок розкриваються обводнені тектонічні порушення, які поширюються на сусідні водоносні горизонти і навіть гідрогеологічні комплекси. Води, які циркулюють ними, змішуються і надходять у гірничі виробки. Шахтні води – це поверхневі і підземні води, що проникли в гірничі виробки в процесі розкриття й експлуатації родовища, потім пройшли через водовідливне господарство і впливають на умови експлуатації родовища. Шахтні води на початку їх появи представляють підземні води у природному стані, які поширені в районі.

*Водоносні комплекси району досліджень.* Площа району досліджень розташована в межах Волино-Подільського артезіанського басейну; підземні води поширені в усіх стратиграфічних відкладах, однак практичне значення мають водоносні горизонти від четвертинних до девонських (О. Д. Штогрин, 1968) (табл. 2).

Води водоносного горизонту в четвертинних відкладах живляться виключно за рахунок атмосферних опадів і талих вод. Води водоносного горизонту в верхньокрейдових відкладах розповсюджені на всій площі басейну. Відклади юрської системи на території ЧГПР збереглися від розмиву лише в знижених частинах поверхні карбону, завдяки чому води їх гідравлічно пов'язані з водами кам'яновугільних відкладів. Водоносний горизонт кам'яновугільних відкладів є основним, що обводнює відклади карбону та за своєю природою вони є похованими реліктовими водами, обмеженими виключно статичними запасами, не маючи в природному стані ніякого поповнення зовні. Води водоносного комплексу в девонських відкладах суцільно розповсюджені під відкладами карбону.

Таблиця 2

**Основні водоносні комплекси  
Червоноградського гірничопромислового району**

Водоносний комплекс (індекс)		Літологічний склад		Питомий дебіт, дм <sup>3</sup> /с	Коеф. фільтрації, дм <sup>3</sup> /добу	Тип скучень підземних вод	Характер напору	Мінералізація мг/дм <sup>3</sup>	Переважні геохімічні типи підземних вод
		основних водовмісних порід	водотривких товщ						
Q		піски	суглинки	0,5-0,6	2-5	порові	безнапірний	347,5	HCO <sub>3</sub> -Ca
		супіски		0,00056-0,0048	0,03-0,17				
щільні суглинки або замулена верхня частина мергелів сенону (потужність від см до 20 м)									
K <sub>2</sub>	сенонський водоносний комплекс	мергелі		0,009-25	0,02-5	тріщинні	напірний	568	HCO <sub>3</sub> -Ca HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg
	сенонський водоносний комплекс нижня частина	мергелі		0,11	0,002-0,004	практично безводний		2213,5	HCO <sub>3</sub> -Na
товща турону - монолітна крейда, крейдоподібні вапняки									
J		пісковики піски конгломерати	глини алевроліти	0,0028-0,0031	0,037-0,15	тріщинні	напірні	5020	Cl-Na
C <sub>1</sub> <sup>b+s</sup>	башкирський ярус + бужанська світа C <sub>1b</sub>	пісковики вугілля вапняки	алевроліти аргіліти	0,0015-0,036	0,02-0,24	пластово - тріщинні	напірні	7049	Cl-Na
C <sub>1</sub> <sup>s</sup>	лишнянська + іваницька світи C <sub>1s+iv</sub>							24348	Cl-Na
потужна товща аргілітів та алевролітів									
C <sub>1</sub> <sup>v</sup>		пісковики вапняки	алевроліти аргіліти			пластово - тріщинні	напірні	31000	Cl-Na
D		вапняки доломіти пісковики		0,1-5,4		пластові пластово - тріщинні	напірні	139755	Cl-Ca-Na
щільні вапняки у верхній частині силурійських відкладів									

*Умови формування шахтних вод.* На основі проведеного гідрогеохімічного моделювання процесів змішування підземних вод Червоноградського гірничопромислового району (табл. 3) встановлено, що на сучасному етапі

вуглевидобутку хімічний склад шахтних вод формується за рахунок змішування підземних вод верхньої крейди (сенонський водоносний комплекс) з водами нижньої частини серпухівського ярусу (лишнянської та іваницької світ) кам'яновугільної системи (вибрані води дійсно змішуються, якщо для всіх іонів різниця між відсотками змішування підземних вод різних водоносних комплексів не перевищує 5 %).

Таблиця 3

**Результати гідрогеохімічного моделювання змішування підземних вод  
Червоноградського гірничопромислового району**

Співвідношення змішування, %	M	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
K <sub>2</sub> :C <sub>bz</sub>	23:77	40:60	-	-	49:51	-
K <sub>2</sub> :C <sub>ls+iv</sub>	79:21	80:20	83:17	81:19	84:16	-
C <sub>bz</sub> :C <sub>ls+iv</sub>	-	-	86:14	90:10	-	-
K <sub>2</sub> :C <sub>bz</sub> :C <sub>ls+iv</sub>	60:26:14	60:30:10	60:24:16	64:19:17	64:29:7	-
K <sub>2</sub> :C <sub>1</sub> <sup>v</sup>	84:16	85:15	79:21	88:12	85:15	-
C <sub>bz</sub> :D	-	-	-	99:1	-	-
C <sub>ls+iv</sub> :D	-	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> :C <sub>bz</sub> :D	84:13:3	81:16:3	96:3:1	32:66:2	69:30:1	-
K <sub>2</sub> :C <sub>ls+iv</sub> :D	93:4:3	84:15:1	98:1:1	96:1:3	95:3:2	-

Певну інформацію про закономірності змішування підземних вод дає ранжирований ряд відсотків надходження підземних вод лишнянської та іваницької світ: 2ЧГ (10%) → 9ВМ (10%) → 10ВМ (15%) → 3ВМ (17%) → 8ВМ (18%) → 4ВМ (20%) → 1ВМ (22%) → 7ВМ (27%) → 6 ВМ (32%) (табл. 4).

Таблиця 4

**Результати гідрогеохімічного моделювання змішування сенонського водоносного  
комплексу з водами лишнянської та іваницької світ для шахт Червоноградського  
гірничопромислового району**

Співвідношення змішування, %	1ВМ	2ЧГ	3ВМ	4ВМ	6ВМ	7ВМ	8ВМ	9ВМ	10ВМ
K <sub>2</sub>	78	90	83	80	68	73	82	90	85
C <sub>ls+iv</sub>	22	10	17	20	32	27	18	10	15

Отримані дані свідчать, що в південно-західному напрямку відсоток надходження підземних вод сенонського водоносного комплексу зменшується, відповідно відсоток надходження підземних вод лишнянської та іваницької світ збільшується, що ймовірно пов'язано з геологічними (в цьому ж напрямку покращуються водотривкі властивості товщі туронських крейдоподібних вапняків)

та тектонічними (зменшення кількості обводнених розривних порушень, які сягають верхньої крейди) особливостями території.

Необхідно звернути увагу на те, що вміст сульфат іонів не встановлено в жодному варіанті змішування. Це може бути пояснене іншим джерелом надходження даного компонента у шахтні води, а саме внаслідок окислення порід, що містять сульфіди і сірку. В пластах вугілля Червоноградського гірничопромислового району широко поширені вкраплення піриту, а вугілля басейну відноситься до сірчистого.

*Геохімічні асоціації основних компонентів шахтних вод.* Для виявлення закономірностей формування хімічного складу шахтних вод проведено кореляційний та факторний аналізи всієї сукупності геохімічних даних.

Кореляційним методом аналізу встановлено тісний взаємозв'язок мінералізації з сухим залишком,  $\text{Na}+\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ; сухого залишку з  $\text{Na}+\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  і  $\text{Na}+\text{K}^+$  з  $\text{Cl}^-$ , зважених речовин і прозорості. У шахтних водах деяких шахт простежуються значимі кореляційні зв'язки між сухим залишком, мінералізацією і  $\text{SO}_4^{2-}$ , між мінералізацією, сухим залишком,  $\text{Cl}^-$  і  $\text{Ca}^{2+}$ .

Проведення процедури факторного аналізу для всієї сукупності шахт дозволило виявити факторну структуру, представлену трьома факторами та 12 характерними показниками формування складу шахтних вод ЧГПР. Показано, що значущість першого фактора у цьому формуванні становить близько 45 %, другого фактору – 12 %, на третій припадає 9 %. У сумі доля усіх факторів сягає 68 %.

Виявлені в дослідженні фактори були інтерпретовані таким чином: 1) перший фактор (ідентифіковані як геологічний фактор) контролює вміст  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^++\text{K}^+$  і таких характеристик як мінералізація і сухий залишок; він характеризує формування складу шахтних вод завдяки поступленню мінералізованих підземних вод нижньої частини серпухівського ярусу (лишнянська та іваницька світи) кам'яновугільного водоносного комплексу (води хлоридно-натрієві; літологічний склад порід представлений морськими фаціями, серед яких значне місце займають вапняки); 2) другий фактор (ідентифікований як технологічний фактор) відзначається впливом технологічної діяльності, а саме збільшенням протяжності гірничих виробок і поверхні порід, внаслідок чого відбувається збагачення шахтних вод продуктами руйнування гірських порід і вугілля, які і є джерелом поступлення зважених речовин у шахтні води; відповідно цей фактор контролює вміст таких характеристик як прозорість і зважені речовини; 3) третій фактор (ідентифікований як тектонічний фактор) контролює вміст  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  і такої характеристики як твердість; відображає процес формування шахтних вод внаслідок змішування підземних вод верхньої крейди з підземними водами лишнянської та іваницької світ і їх опріснення.

Отримані результати дослідження підтверджують, що формування шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району відбувається внаслідок змішування кам'яновугільних і верхньокрейдових вод.

Аналізуючи вищенаведене у п'ятому розділі, ми дійшли висновку, що головними джерелами надходження компонентів до складу шахтних вод є: поховані морські води ( $\text{Na}+\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ); процеси хімічного вивітрювання і розчинення вапняків,



доломітів ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^{2-}$ ); процеси окислення порід, що містять сульфіді (пірит) (вугілля та аргіліти) та сірку (вугілля) ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

*Прогноз змін якості шахтних вод.* Важливим фактором, що вплине на зміну якості шахтних вод, є спрацювання підземних вод лишнянської та іваницької світ. Внаслідок цього посиляться процеси перетікання підземних вод візейського ярусу у вище залягаючі горизонти і відповідно у гірничих виробках будуть змішуватися верхньокрейдові води з візейськими. Внаслідок цього будуть формуватися шахтні води, мінералізація яких збільшиться на 11,2 – 19,6 %, вміст натрію та калію – 18,3 – 38,6 %, хлору – 7 – 72 %, магнію – 6,7 – 102 %, а вміст кальцію на окремих шахтах збільшиться від 15,5 до 127,9 % (2ЧГ, 9ВМ, 10ВМ), а на решті шахт зменшиться від 7,8 до 30,2 %.

У шостому розділі **«Напрямки зменшення негативного впливу шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району на довкілля»** оцінено вплив шахтних вод на довкілля, містяться рекомендації із зменшення впливу цих вод на довкілля та проаналізовано різні варіанти скидання шахтних вод у річку Західний Буг.

Шахтна вода, яка поступила в гірничі виробки, відводиться через систему водозбірних каналів і труб в центральні водозбірники. Після відстоювання шахтної води у водозбірниках залишаються відходи – вугільні шлами (рис. 5), які накопичуються у центральних водозбірниках, а освітлена шахтна вода поступає у резервуари. На 77 % шлам складається з дрібних часток вугілля, решта – 23 % становить мінеральна частина (кварц, пірит, серицит, каолінит, альбіт).



Рис. 5. Центральний водозбірник та вугільний шлам

З резервуарів шахтна вода видається на поверхню насосними установками через шахтні стволи. Далі через систему шахтного водовідливу на поверхні ці води збираються в ставках – накопичувачах, які відіграють роль відстійників, і під час повеней частково потрапляють у р. Західний Буг. У Червоноградському гірничопромисловому районі споруджено два відстійники шахтних вод: у с. Городище і у м. Червоноград (рис. 6). Відстійник с. Городище обслуговує шахти великомостівської групи; у відстійник м. Червонограда здійснюється скид шахтних вод шахти 2ЧГ.



Однак відстійники не дають потрібного результату, оскільки експлуатуються впродовж десятиліть, потребують реконструкції для запобігання фільтрації з них неочищених вод (діючі відстійники не мають протифільтраційних екранів) і для забезпечення ефективності очистки шахтних вод. Внаслідок цього практично всі об'єми скиду шахтних вод належать до категорії недостатньо очищених.



Рис. 6. Відстійники шахтних вод (верхнє фото – с. Городище, нижнє – м. Червоноград)

У шахтних водах перевищення нормативних показників встановлено за: мінералізацією, зваженими речовинами,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  і  $\text{SO}_4^{2-}$ , мікроелементами (барій, цирконій, стронцій, титан, манган, хром, літій, плюмбум, алюміній, лантан, кобальт, йод і бром).

Шахтні води негативно впливають на довкілля, насамперед на еколого - гідрохімічний стан поверхневих і підземних вод. Водовідливи із вугільних копалень вичерпують запаси підземних вод, загрожують їхньому забрудненню, зумовлюють погіршення умов водопостачання населених пунктів у районі дослідження. На особливу увагу заслуговують питання, пов'язані з фільтрацією вод шахтного водовідливу в ґрунти, водоносні горизонти та річкову систему. Шахтні води є головним джерелом забруднення поверхневих вод. Вони мають високу мінералізацію. При їх скиданні у р. Західний Буг під час повеней мінералізація води в річці (на межі Львівської і Волинської областей) збільшується з 394–400 до 634 мг/дм<sup>3</sup>. Потрапляючи в річкову систему, ці води збільшують мінералізацію річкової води, порушують її кисневий режим і погіршують санітарний стан природного середовища. Їх скидання в наземну гідрографічну мережу спричиняє відчутне замулення, засолення та закислення водойм і водотоків, порушуючи тим самим екологічну рівновагу у водному об'єкті.

Запропоновано декілька варіантів утилізації шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району: опріснення мінералізованих шахтних вод з отриманням та реалізацією твердих солепродуктів; захоронення шахтних вод у глибоких водоносних горизонтах; реконструкція діючих очисних споруд або будівництво нових на основі фітотехнологій (рис. 7).

На основі порівняння складу шахтних вод різних вугільних басейнів та методів їх очистки встановлено, що для демінералізації шахтних вод району дослідження метод зворотного осмосу є найбільш ефективним: він дозволяє отримати найменшу кількість концентрату в порівнянні з іншими методами. Для захоронення шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району необхідно проводити цільові роботи з пошуку колекторів для захоронення. Реконструкцією відстійників можна досягнути менших значень мінералізації шахтних вод, що в свою чергу дозволить збільшити об'єми скидів шахтних вод у річку Західний Буг. Підвищити ступінь очистки шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району при мінімальних затратах можна впровадженням БІС (біоінженерних споруд) методом реконструкції діючих ставків – відстійників. Аналіз економічних параметрів наведених методів дозволяє зробити висновок, що в сучасних умовах реалізація будь-якого з проектів є складною, затратною задачею як для окремих шахт, так і для галузі в цілому, і на сучасному економічному рівні держави може розглядатися лише як перспектива.

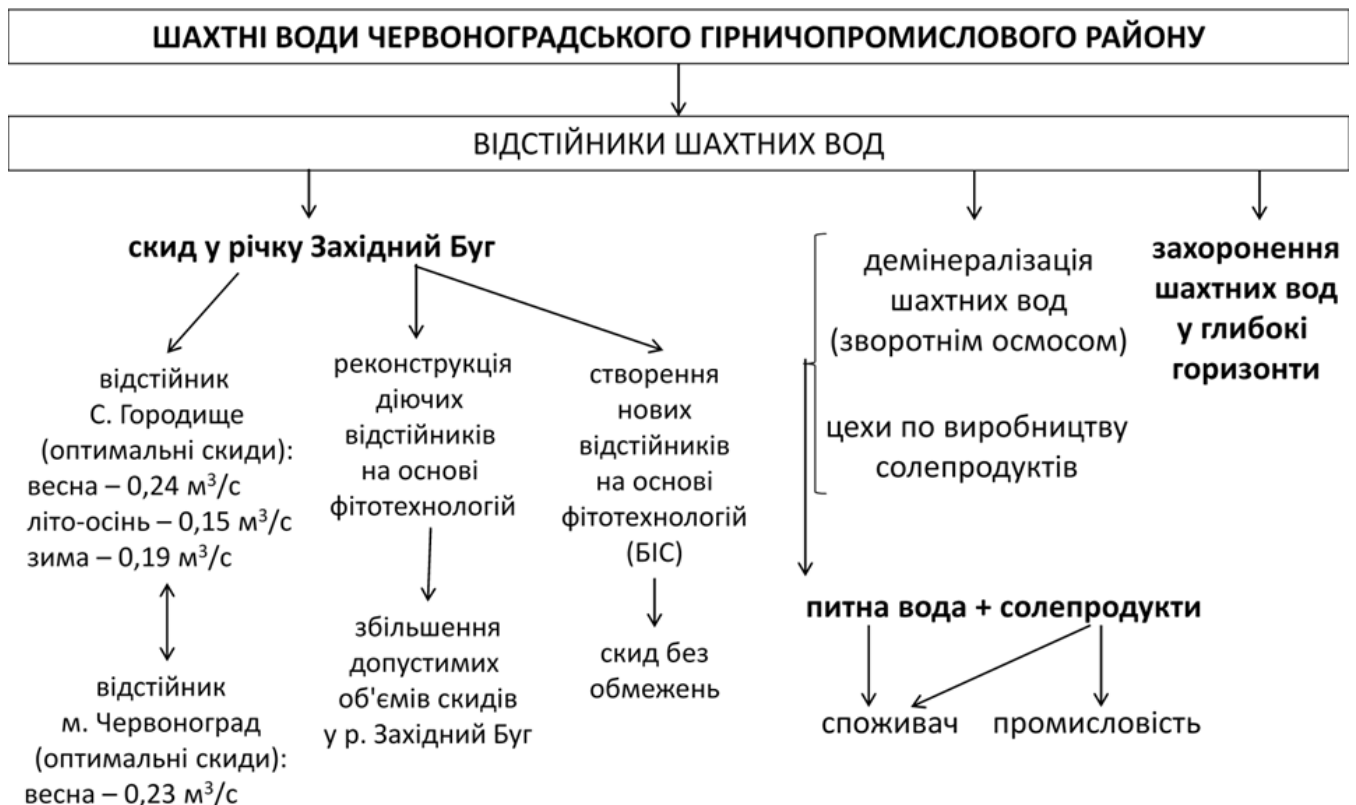


Рис. 7. Заходи із зменшення негативного впливу шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району на навколишнє середовище

Альтернативним варіантом у даний час є розробка можливих безпечних з екологічної точки зору варіантів скидання шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району. Вирішення задачі випуску та регулювання скидів шахтних вод дає можливість підтримувати необхідну якість водних ресурсів, моделювати і прогнозувати різні варіанти і сценарії функціонування природно-техногенних систем (шахта – ставок – накопичувач – природна водойма), що забезпечить розвиток процесу мінімізації впливу людини на навколишнє природне середовище.

Для досліджуваного району автором змодельовано різні варіанти скидання шахтних вод у річку і запропонована система та схема регулювання впливу ставків-накопичувачів на стан р. Західний Буг, що дозволить зменшити негативний вплив вуглевидобутку на стан поверхневих вод шляхом збереження екологічно оптимального рівня навантаження на складові природних водотоків.

У даний час можлива реалізація декількох варіантів випуску мінералізованих вод ставків-накопичувачів. Основними з них є рівномірні і залпові скидання.

Проведені дослідження показали, що при рівномірному скиданні шахтних вод у різні періоди року (з відстійника с. Городище по  $0,14 \text{ м}^3/\text{с}$ , з відстійника м. Червоноград –  $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$ ) не впливатиме на формування складу води, існування та розвиток компонентів гідроекосистеми р. Західний Буг.

Залповий випуск передбачає накопичення мінералізованих вод у фазу літньо-осінньої межени зі скиданням у період підвищення водності ріки (під час весняної повені). Залпові скиди шахтних вод впродовж весняної повені з відстійника с.Городище у р. Західний Буг впливатимуть на формування складу води, існування та розвиток компонентів гідроекосистеми р. Західний Буг і збільшать мінералізацію річкової води на 38–91 %, а концентрації деяких речовин у природних водах можуть виявитися смертельними для іхтіофауни, привести до загибелі риб, знищення нерестовищ, зниження рибопродуктивності. Встановлено, що залпові скиди шахтних вод упродовж весняної повені з відстійника м. Червонограда у р. Західний Буг: 1) при скиданні більше як  $0,23 \text{ м}^3/\text{с}$  – впливатимуть на формування складу води, існування та розвиток компонентів гідроекосистеми р. Західний Буг і збільшать мінералізацію річкової води на 14,3 %; 2) при скиданні  $0,23 \text{ м}^3/\text{с}$  і менше – не впливатимуть на формування складу води, існування та розвиток компонентів гідроекосистеми р. Західний Буг.

При пошуку оптимального варіанта спиралися на принцип виводу результатів на лімітуючі показники шляхом зміни режиму функціонування ставка-накопичувача. У даному випадку визначення оптимальних параметрів регулювання впливу розглядали як задачу відшукування таких його параметрів, при яких мінералізація річкових вод, як компонента природної водойми, буде в межах фонових значень. Оптимальне скидання має ще одну дуже важливу перевагу — підтримка постійної мінералізації природної водойми після скидання шахтних вод. Сталість мінералізації — ознака стабільності водних екосистем річкового басейну.

Для відстійника с. Городище встановлено оптимальну модель скидання шахтних вод: у весняну повінь максимально допустимий скид шахтних вод у річку Західний Буг –  $0,24 \text{ м}^3/\text{с}$ ; у літньо-осінню межень –  $0,15 \text{ м}^3/\text{с}$ ; у зимову межень –  $0,19$

м<sup>3</sup>/с і при скиданнях шахтних вод у таких обсягах значення мінералізації річки не перевищуватиме верхньої межі фонові мінералізації річки в даний сезон року.

Оптимальною моделлю скидання шахтних вод з відстійника м. Червонограда є модель залпового скидання шахтних вод впродовж 30 днів по 0,23 м<sup>3</sup>/с у період весняної повені. При такому скиданні мінералізація річки після надходження цих вод буде становити 546,16 мг/дм<sup>3</sup>, що не перевищує верхньої межі фонові мінералізації річки в весняну повінь.

Простим перерозподілом протягом року скидання шахтних вод можна досягти сталості гідрохімічних характеристик природної водойми, а також кількісних переваг перед рівномірним і залповим скиданнями. Мінімізувати вплив ставків-накопичувачів на природні водойми можливо шляхом регулювання скидання мінералізованих вод. На даному етапі, використовуючи основні закономірності гідрологічного й гідрохімічного режимів водного об'єкту, вирішена задача лише частково. Досягнення менших значень мінералізації після скидання зворотних вод шахт з усіх ставків-накопичувачів можливе лише за умови додаткових заходів (зменшення мінералізації в ставках-накопичувачах за допомогою фізико-хімічних методів або реконструкції відстійників).

Таким чином, використання одного із вищенаведених варіантів у цілому призведе до покращення екологічної ситуації у районі (рис. 7).

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання з встановлення геохімічних особливостей і закономірностей формування кількісного і якісного складу шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району. Виявлено основні чинники негативного впливу шахтних вод на довкілля і запропоновано схеми боротьби з цими впливами і можливої їх нейтралізації.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1) Шахтні води Червоноградського гірничопромислового району мають широкий діапазон мінералізації, до головних іонів в цих водах належать хлор, сульфати і натрій, які визначають тип мінералізації і гідрохімічний склад вод взагалі. Встановлено, що із збільшенням мінералізації зміна класів шахтних вод відбувається в такій послідовності:  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ ;  $\text{Na}+\text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Na}+\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Na}+\text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ . У шахтних водах присутні розмаїті мікроелементи, найхарактернішими з яких є барій, купрум, манган, нікель, молібден, алюміній, міграція яких визначається хімічним складом шахтних вод та їхньою мінералізацією. Простежується певна закономірність зростання вмісту макрокомпонентів та мікроелементів шахтних вод з північного сходу на південний захід, що закономірно пов'язано з геологічною будовою району дослідження. Слід відзначити строкатість змін хімічного складу шахтних вод у часі, що вказує на істотний вплив на їхню динаміку припливу підземних вод та природних умов.

2) З'ясовано, що на сучасному етапі вуглевидобутку хімічний склад шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району формується за рахунок змішування підземних вод верхньої крейди (сенонський водоносний комплекс) з водами нижньої частини серпухівського ярусу (лишнянської та іваницької світ) кам'яновугільної системи. Відсоток надходження вод сенонського водоносного комплексу зменшується з північного сходу (з 90 %) на південний захід (до 68 % від загального припливу вод), що пов'язано з геологічними та тектонічними особливостями території. Відповідно головними джерелами надходження компонентів у склад шахтних вод є: поховані морські води ( $\text{Na}+\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ); процеси хімічного звітрювання і розчинення вапняків, доломітів ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^{2-}$ ); процеси окислення порід, що містять сульфід (пірит) (вугілля та аргіліти) та сірку (вугілля) ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

3) Встановлено, що у випадку спрацювання підземних вод нижньої частини серпухівського ярусу (лишнянської та іваницької світ), шахтні води будуть формуватися внаслідок змішування підземних вод верхньої крейди (сенонський водоносний комплекс) з підземними водами візейського ярусу кам'яновугільної системи. Внаслідок цього якість шахтних вод погіршиться (мінералізація, вміст іонів натрію та калію, магнію та хлор-іонів зростатиме, а вміст кальцію на окремих шахтах збільшиться, на решта – зменшиться), що створить додаткове навантаження на довкілля району.

4) Виявлено, що шахтні води є одним із вагомих чинників негативного впливу на стан компонентів річки Західний Буг. Розроблено сценарії функціонування природно-технічної системи «шахта – відстійник – природна водойма». Оптимізація функціонування даної системи припускає регулювання обсягів скидання мінералізованих шахтних вод відповідно до гідролого-гідрохімічних особливостей природної водойми – з метою мінімізації можливого рівня мінералізації. Розглядаючи різні варіанти скидання шахтних вод, доведено доцільність впровадження оптимального варіанту скидання для мінімізації впливу шахтних вод на річку Західний Буг. Запропоновано систему оптимального скидання шахтних вод: з відстійника с. Городище під час весняної повені максимально можливий скид –  $0,24 \text{ м}^3/\text{с}$ , у літньо-осінню межень –  $0,15 \text{ м}^3/\text{с}$ , у зимову межень –  $0,19 \text{ м}^3/\text{с}$ ; з відстійника м. Червоноград у весняну повінь –  $0,23 \text{ м}^3/\text{с}$ . Отже, простим перерозподілом протягом року скидання шахтних вод можна досягти сталості гідрохімічних характеристик річки Західний Буг.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у фахових наукових виданнях*

1. Войтович С. П. Геохімічні особливості шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району / С. П. Войтович // Вісник Львівського Університету. – Серія геологічна. – 2013. – Вип. 27. – С. 138–145.
2. Войтович С. П. Шахтні води як один із чинників забруднення довкілля Червоноградського гірничопромислового району / С. П. Войтович // Мінералогічний збірник. – 2013. – № 63. – Вип. 1. – С. 94–98.
3. Войтович С. П. Часові зміни хімічного складу шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району / С. П. Войтович // Вісник Київського національного університету. Геологія. – 2014. – № 2(65). – С. 57–62.
4. Войтович С. П. Геохімічні особливості підземних та шахтних вод вугільних басейнів України (на прикладі Червоноградського гірничопромислового району і Центрального Донбасу) / С. П. Войтович // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2015. – № 2 (146). – С. 23–30.
5. Войтович С. П. Еколого-гідрогеохімічне районування Червоноградського гірничопромислового району / С. П. Войтович // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2015. – № 1–2 (166 – 167). – С. 161–173.

### *Статті у фахових виданнях інших держав*

6. Войтович С. П. Сравнительная характеристика подземных и шахтных вод некоторых угольных бассейнов Украины и России / С. П. Войтович // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. – 2016. – № 2. – С. 42–46.

### *Інші публікації за темою дисертації*

7. Войтович С. П. Геохимические особенности шахтных вод угольных бассейнов Украины и России / С. П. Войтович // Молодой ученый. – 2015. – № 23. – С. 395–397.

### *Тези та матеріали доповідей*

8. Войтович С. П. Геохімічні особливості шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району / С. П. Войтович, А. Ю. Сеньковський // Стан і перспективи сучасної геологічної освіти і науки: наук. конф. до 65-річчя геол. ф-ту ЛНУ ім. І. Франка, 13–15 жовтня 2010 р. : тези доповідей. – Львів, 2010. – С. 38–40.
9. Voitovych S. P. Geochemistry of mine waters in Chervonograd Mining Region / Svitlana Voitovych, Andriy Senkovsky // 3<sup>rd</sup> Intern. Students Geol. Conf.: abstracts. - Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 2012. – P. 44–45.

10. Voitovych S. P. Mine waters as one of the factors of pollution of the environment in Chervonograd mining industrial area / Svitlana Voitovych / 4<sup>th</sup> Intern. Students Geol. Conf.: Conf. Proceed. – Brno : Masarykova univerzita, 2013. – P. 147.
11. Войтович С.П. Природа сезонних змін хімічного складу шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району (Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн) / С. П. Войтович // Фундаментальне значення і прикладна роль геологічної освіти і науки: наук. конф. до 70-річчя геол. ф-ту ЛНУ ім. І. Франка, 7–9 жовтня 2015 р. : матеріали конференції. – Львів, 2015. – С. 39–40.

## АНОТАЦІЯ

**Войтович С. П. Геохімія шахтних вод Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну (на прикладі Червоноградського гірничопромислового району).** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.02 – геохімія (геологічні науки). – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України, Київ, 2017.

Дисертаційна робота присвячена проблемі вивчення геохімічних особливостей складу та закономірностей формування шахтних вод Червоноградського гірничопромислового району та заходам із зменшення негативного впливу цих вод на водний басейн.

Визначено склад, концентрації та джерела формування макрокомпонентів шахтних вод. Встановлено діапазони концентрацій головних іонів та величини мінералізації. Розглянуто закономірності часового та просторового розподілу гідрогеохімічних характеристик складу вод. Визначено мікрокомпонентний склад шахтних вод. Досліджено закономірності та умови формування хімічного складу шахтних вод на сучасному етапі вуглевидобутку. Встановлено, що характер розподілу компонентів складу шахтних вод визначається геохімічними особливостями підземних вод регіону. Проведено прогнозування змін складу шахтних вод.

Оцінено вплив шахтних вод на довкілля. Розроблено рекомендації із утилізації шахтних вод та покращення стану якості поверхневих водойм. Проаналізовано різні схеми скидання шахтних вод у річку Західний Буг. Запропоновано оптимальний варіант скидання, який ґрунтується на зміні режиму функціонування відстійників. Перевагою оптимального скидання є підтримка постійної мінералізації природної водойми в межах фонових значень після скидання шахтних вод.

Ключові слова: шахтні води, хімічний склад, чинники формування, сезонні варіації, гідрогеохімічне районування, Червоноградський гірничопромисловий район.

## АННОТАЦИЯ

**Войтович С. П. Геохимия шахтных вод Львовско-Волынского каменноугольного бассейна (на примере Червоноградского горнопромышленного района). – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.02 – геохимия (геологические науки). – Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени М. П. Семененко НАН Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена проблеме изучения геохимических особенностей состава и закономерностей формирования шахтных вод Червоноградского горнопромышленного района и мерам по уменьшению отрицательного влияния этих вод на водный бассейн.

Определен состав, концентрации и источники формирования макрокомпонентов шахтных вод. Установлены диапазоны концентраций главных ионов и величины минерализации. Рассмотрены закономерности временного и пространственного распределения гидрогеохимических характеристик состава вод. Определен микрокомпонентный состав шахтных вод. Исследованы закономерности и условия формирования химического состава шахтных вод на современном этапе угледобычи. Установлено, что характер распределения компонентов состава шахтных вод определяется геохимическими особенностями подземных вод региона. Проведено прогнозирование изменений состава шахтных вод.

Оценено влияние шахтных вод на окружающую среду. Разработаны рекомендации по утилизации шахтных вод и улучшению состояния качества поверхностных водоемов. Проанализированы различные схемы сброса шахтных вод в реку Западный Буг. Предложен оптимальный вариант сброса, основанный на изменении режима функционирования отстойников. Преимуществом оптимального сброса является поддержание постоянной минерализации естественного водоема в пределах фоновых значений после сброса шахтных вод.

Ключевые слова: шахтные воды, химический состав, факторы формирования, сезонные вариации, гидрогеохимическое районирование, Червоноградский горнопромышленный район.

## ABSTRACT

**Voitovych S. P. Geochemistry of mine waters Lviv-Volyn coal basin (on example of Chervonograd mining region). – Manuscript copyright.**

Thesis for Candidates degree of Geological sciences in specialty 04.00.02 – geochemistry (geological sciences). – M. P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine, Kyiv, 2017.

The dissertation work is devoted to study the geochemical characteristics and patterns of mine waters of Chervonograd mining area and measures to reduce the negative effects of water on water pool.

The composition, concentration and sources of macro mine water are established, also established ranges of concentrations of major ions and salinity values. Established



that the chemical composition of mine water belong to Cl-SO<sub>4</sub>-Na of sodium chloride-type mineralization range from 0.9 to 17.1 g/dm<sup>3</sup>. The paper considers the laws of time and spatial distribution of hydrogeochemical characteristics of water. Traced the pattern of growth macro and micronutrient content of mine water from the northeast to the southwest. The waters microcomponents of mine water are established. In mine waters present a variety of microcomponents, the most characteristic of which is barium, copper, manganese, nickel, molybdenum, aluminum migration is determined by the chemical composition of mine waters and their mineralization. The regularity and conditions of the chemical composition of mine water researched at the present stage of coal. Mine water formed by mixing coal mineral waters and freshwater Upper aquifer complex. Buried sea water, chemical weathering processes, dissolution and oxidation of rocks are sources of macro components. It was established that the distribution of components of the mine waters is determined by the geochemical characteristics of groundwater in the region. Conducted forecasting changes in the composition of mine waters have been found. Mine water salinity, content of sodium and potassium, magnesium and chloride ions will increase in the operation area of research.

The influence of mine waters on the environment has been estimated. The recommendations for the utilization of mine water and the improvement of the quality of surface waters are developed and various schemes discharge of mine water into the river Zahidnuy Bug were analyzed. The proposed discharge is the best option, based on changing the mode of operation of septic tanks. Determined that the maximum possible discharge of mine water from the tank in the village Horodyshche in the spring flood – 0.24 m<sup>3</sup>/s, in the summer – autumn low flow – 0.15 m<sup>3</sup>/s, in winter time – 0.19 m<sup>3</sup>/s; from the tank in the town Chervonograd in the spring flood – 0.23 m<sup>3</sup>/s. The advantage of the optimal discharge is to maintain a constant salinity of natural water bodies within baseline values after discharging mine waters.

Keywords: mine water, the chemical composition, factors formation, seasonal variation, hydrogeochemical zoning, Chervonohrad mining region.