

УДК 556.38 (477.8)

DOI: <https://doi.org/10.30970/vgl.35.04>

## ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗМІНИ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПІДЗЕМНИХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ЛЬВОВА

**Петро Волошин, Надія Кремінь**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005  
e-mail: petro.woloshyn@gmail.com; nadiya.kremin@lnu.edu.ua*

Охарактеризовано гідрогеологічні умови центральної частини Львова, характер та інтенсивність антропогенного навантаження, оцінено ступінь захищеності водоносних горизонтів від забруднення, проведено просторово-часовий аналіз змін хімічного складу підземних вод.

Підземні води урбанізованих територій зазнають суттєвих змін щодо хімічного складу, гідродинамічних властивостей, що виключає цей ресурс з господарського використання, зумовлює їхню агресивність до будівельних конструкцій, провокує розвиток небезпечних геологічних процесів.

Територія досліджень розташована у Львівській улоговині, утвореній долиною р. Полтва та її допливами. Підземні води досліджуваної території представлені строкатим комплексом четвертинних відкладів та накопичень верхньої крейди. Четвертинний водоносний горизонт поширений локально й простежується лише в межах днища Львівської улоговини. Цей горизонт є незахищеним від антропогенного забруднення. Верхньокрейдний водоносний горизонт приурочений до тріщинуватих мергелів та належить до категорії недостатньо захищених. Завдяки наявності фільтраційних вікон між четвертинним і верхньокрейдним водоносними горизонтами існує гідравлічний зв'язок.

З метою виявлення зв'язку просторово-часових змін хімічного складу підземних вод з характером та інтенсивністю антропогенного навантаження було використано такі компоненти хімічного складу підземних вод, як загальна мінералізація, вміст гідрокарбонатів, сульфатів, амонійного азоту та хлоридів.

З'ясовано, що найбільших антропогенних змін хімічного складу зазнали практично незахищені води четвертинного водоносного горизонту. Максимальні його зміни фіксують у сфері впливу полтвинського каналізаційного колектора. Води верхньокрейдного водоносного горизонту найбільше змінені у північно-східній частині ділянки, у районі близького від поверхні залягання мергелів, перекритих лише техногенними накопиченнями. Виявлено суттєві сезонні зміни вмісту хлору у водах четвертинного водоносного горизонту.

*Ключові слова:* хімічний склад підземних вод, захищеність, антропогенне навантаження, гідрогеологічні умови.

Підземні води є однією з найдинамічніших і найвразливіших складових геологічного середовища, яке в масштабі реального часу реагує на зміни природних і природно-

антропогенних чинників. Під впливом антропогенного тиску вони зазнають значного метаморфізму, змінюють умови живлення, руху, розвантаження, хімічний склад та фізичні властивості. Особливо це стосується урбанізованих територій, у тім числі м. Львова, де діють майже всі типові для міського середовища чинники впливу.

До таких чинників належать: забруднення атмосферного повітря, високий рівень техногенного покриття поверхні, використання різного типу солей для боротьби з ожеледицею, втрати з водоносних мереж тощо.

Надмірне забруднення підземних вод на урбанізованих територіях виключає цей ресурс з господарського використання, викликає їхню агресивність до будівельних конструкцій, провокує розвиток небезпечних геологічних процесів.

Питання зміни гідрохімічного складу підземних вод в умовах техногенезу на території м. Львова розглянуто в публікаціях [1–7]. У них висвітлено особливості змін гідродинамічного режиму підземних вод, порівняння їхнього хімічного складу у межах центральної частини та периферійних районів міста тощо. Проте просторово-часові зміни їхнього хімічного складу залишаються недостатньо вивченими.

**Метою дослідження** був аналіз закономірностей змін хімічного складу підземних вод четвертинного і верхньокрейдового водоносних горизонтів під впливом основних чинників антропогенного впливу, характерних для міського середовища.

Для досягнення поставленої мети вирішували такі завдання:

- аналіз гідрогеологічних умов досліджуваної ділянки;
- оцінка ступеню захищеності водоносних горизонтів;
- оцінка характеру та інтенсивності антропогенного навантаження;
- просторово-часовий аналіз змін хімічного складу.

Фактографічною базою досліджень слугували хімічні аналізи проб води, відібрані з моніторингових свердловин протягом останніх років.

Моніторингові свердловини охоплюють 16 точок комплексного дослідження. У кожній точці влаштовано по дві свердловини. Одну з яких закладено у четвертинний, другу – у верхньокрейдовий водоносний горизонт. Свердловини розміщені у вигляді трьох поперечників, орієнтованих перпендикулярно до долини р. Полтва (рис. 1).

У відібраних пробах води було визначено вміст основних іонів макроелементів, показники кислотно-лужної рівноваги, загальної мінералізації та загальної і карбонатної жорсткості.

З метою оцінки впливу основних чинників на стан підземних вод проаналізовано ступінь техногенного навантаження на геологічне середовище, визначено інтенсивність транспортних потоків та щільність водоносних мереж.

Центральна частина міста розташована у Львівській улоговині, утвореній долиною р. Полтва та її притоками. Дно улоговини є плоскодонною заплавною терасою річки шириною 500–800 м. Рельєф досліджуваної ділянки зазнав значних змін і фактично повністю сконструйований людиною.

Строкатий комплекс четвертинних відкладів та накопичень верхньої крейди є під впливом будівель і споруд.

Четвертинний водоносний горизонт поширений локально. Він простежується лише в межах днища улоговини (заплави р. Полтви). Води горизонту сформувалися на глинистому елювії мергелів. Вони безнапірні, головню, залягають на глибинах 3–5 м.

Живлення горизонту відбувається завдяки інфільтрації атмосферних опадів, незначному за обсягом боковому підтоку вод із суміжних ділянок, частковому перетоку з крейдового горизонту та витоків з водоносних інженерних мереж.

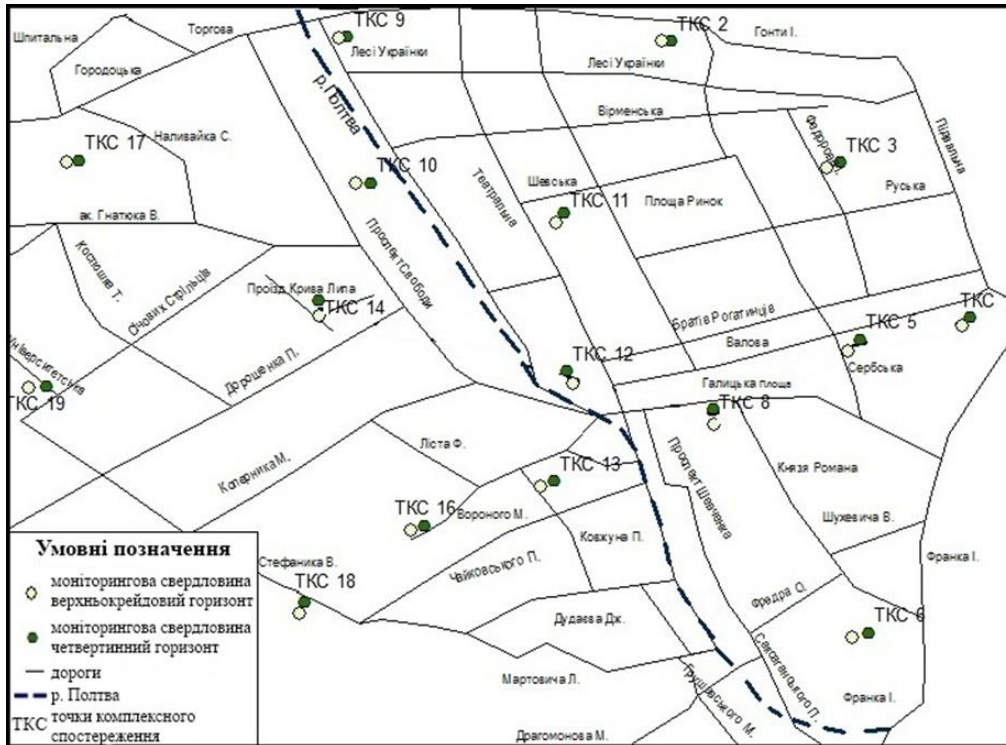


Рис. 1. Картосхема розташування точок комплексного спостереження  
Fig. 1. Map of the location of complex observation points

Верхньокрейдовий водоносний горизонт поширений на всій території. Він приурочений до тріщинуватих мергелів. Від четвертинних вод він відділений товщею мергелистих глин потужністю від 0,7 до 12,0 м. Глибина залягання п'єзометричного рівня змінюється від 3–6 до 20 м.

Горизонт характеризується напором, величина якого коливається залежно від положення в рельєфі, від 0,0 до 10,3 м, і пересічно становить 2,0–4,0 м.

Живлення його змішане: атмосферне та внаслідок часткового перетоку вод четвертинного водоносного горизонту [1].

Грунтові води практично не захищені від антропогенного забруднення. Зона аерації, потужність якої не перевищує, головню, 4 м, повністю складена вкрай неоднорідною, сильно забрудненою, добре водопроникною товщею ґрунтів культурного шару.

Не мають надійного захисту й артезіанські води. На ділянках з досить великою (5,0–10,0 м) потужністю мергелистих глин вони слабкозахищені. На схилах улоговини, де

четвертинного покриття немає, цей горизонт є першим від поверхні і зовсім незахищений від забруднення.

Найбільше техногенне навантаження простежується в районі Площі Ринок та прилеглих до неї ділянок, для яких характерний щільний тип забудови та високий ступінь антропогенного покриття. Елементи забудови щільно прилягають один до одного, утворюючи замкнутий простір усередині кварталу. Значна частина території зайнята водонепроникними покриттями і забудована спорудами, слабо розвинута система озеленення. Сумарна площа ділянок під будівлями, вуличним покриттям тощо сягає 80–90 %. На цій території поверхневий стік дощових і талих вод майже повністю поглинається каналізацією. Інша ситуація простежується на ділянках, де значну територію займають парки та сквери (г. Цитадель, сквер “На Валах”, парк імені Івана Франка).

Транспортна мережа характеризується радіальним вуличним плануванням та недостатньою шириною вулиць (4–10 м), що спричиняє додаткове техногенне навантаження та скупчення великої кількості автотранспорту. Загальна довжина транспортних мереж становить 8 971 м. Найбільша питома щільність дорожнього покриття на 1 га характерна для ділянок, прилеглих до Площі Ринок (вулиці Краківська, Лесі Українки, Театральна та ін.), тут вона становить 410 м/га, а також для вулиць, прилеглих до пр. Свободи та вул. Коперника – 406 м/га.

Інша ситуація простежується в районі г. Цитадель, яка розташована між вулицями Стефаніка та Драгоманова, де питома щільність дорожнього покриття становить 148 м/га, та поблизу скверу “На Валах” (вул. Підвальна) – 146 м/га.

Загальна довжина каналізаційних колекторів становить 20,5 км, а водогонів – 57 км. Русло р. Полтва повністю каналізоване.

З метою виявлення зв'язку просторово-часових змін хімічного складу підземних вод з характером та інтенсивністю антропогенного навантаження використовували такі компоненти хімічного складу підземних вод, як загальна мінералізація, вміст гідрокарбонатів, сульфатів, амонійного азоту та хлоридів.

Загалом води четвертинного водоносного горизонту в центральній частині міста характеризуються підвищеною мінералізацією, коливання якої відбуваються в широкому діапазоні – від 478 до 3 370 мг/л. Максимальні показники (понад 3 000 мг/л) зафіксовано у західній частині території дослідження (поблизу парку ім. Івана Франка та г. Цитадель) – свердловини 19 (3 370 мг/л), 18 (3 005 мг/л). Зони підземних вод з мінералізацією понад 2 000 мг/л поширені фрагментарно у вигляді широкої смуги, прилеглої до каналізованого русла р. Полтви. Для цих ділянок збільшення мінералізації відбувається завдяки високим концентраціям іонів  $\text{SO}_4^-$  та, дещо меншою мірою, іонів  $\text{Cl}^-$ . Найменша концентрація простежується у східній частині міста (район вул. Сербської) – свердловина 5 (478 мг/л).

Зміни вмісту іонів  $\text{SO}_4^-$  певною мірою корелюються із загальною мінералізацією. Найвищі абсолютні значення вмісту сульфатів з перевищенням ГДК у п'ять разів зафіксовано поблизу парку ім. Івана Франка (1 627 мг/л) та г. Цитадель (1 693 мг/л). У багатьох свердловинах, розташованих поблизу каналізаційного колектора р. Полтва, також зафіксовано високий вміст сульфатів, який перевищує ГДК у 2–3 рази. Натомість у північно-східній та південно-східній частині міста вміст іонів  $\text{SO}_4^-$  варіюється в межах 46–105 мг/л.

Концентрація гідрокарбонат-іона змінюється в межах 305–1 156 мг/л, переважають значення 555–817 мг/л. У просторовому розміщенні максимум простежується у свердловині 10 (пр. Свободи), мінімум – свердловині 3 (вул. І. Федорова).

Вміст хлоридів переважно не перевищує 113 мг/л і практично всюди розташований у межах ГДК. Збільшення стосовно середнього значення, концентрації іонів СГ зафіксовано в одиничних свердловинах, прилеглих до пр. Свободи (234–244 мг/л). Підвищення концентрації пов'язане зі значним техногенним навантаженням, характерним для цієї ділянки дослідження.

Вміст іонів  $\text{NH}_4^+$  у ґрунтових водах варіюється в межах 0,3–10 мг/л, найчастіше становить 0,3–1,0 мг/л. В окремих свердловинах № 10, 13 (пр. Свободи) та № 2 (пл. Данила Галицького) простежується перевищення ГДК у 8–10 разів. Підвищений вміст амонійного азоту, який утворюється внаслідок бактеріального розкладання складних органічних речовин, може свідчити про витоки з каналізаційних мереж.

Просторовий аналіз вмісту окремих компонентів хімічного складу показав, що максимальні його показники зафіксовано, головню, у центральній частині території дослідження та приурочені до каналізаційного колектора р. Полтва. Через суттєве зростання концентрації сульфатів на цій ділянці хімічний склад вод змінився з гідрокарбонатного, кальцієво-натрієвого на гідрокарбонатний, сульфатно-натрієвий.

Високі значення мінералізації ґрунтових вод (2 000–3 000 мг/л і більше) є наслідком їхнього забруднення техногенними витоками з каналізаційних мереж, інфільтрацією забруднених вод поверхневого стоку та промивання ними забруднених ґрунтів культурного шару.

Сумарна мінералізація підземних вод крейдового горизонту коливається в межах 444–2 425 мг/л і здебільшого не перевищує 1 000 мг/л, за винятком свердловин № 2 (2 106 мг/л) і № 3 (2 425 мг/л), розташованих у північно-східній частині досліджуваної території. Мінімальні показники мінералізації зафіксовано у західній частині міста, поблизу парку Івана Франка – свердловини № 17 (444 мг/л) та № 19 (446 мг/л).

Концентрація іонів  $\text{SO}_4^{2-}$  змінюється від 13 до 535 мг/л, пересічно зафіксовано значення 28–210 мг/л. Незначні перевищення ГДК (1,3) виявлено у декількох свердловинах, прилеглих до пр. Свободи. Це може бути зумовлено, з нашої точки зору, як впливом каналізаційного колектора, так і частковим перетоком забруднених вод четвертинного водоносного горизонту.

Концентрація іонів  $\text{HCO}_3^-$  у водах крейдового горизонту коливається в межах 378–1 515 мг/л і, головню, не перевищує 567 мг/л. Максимальні значення (понад 1 000 мг/л) зафіксовано у свердловинах № 2 і № 3. Для них також характерні високі показники вмісту хлоридів (213–230 мг/л) та значне перевищення ГДК (6–10 разів) амонійного азоту.

Просторовий аналіз вод крейдового горизонту показав, що підвищений вміст солей простежується у північно-східній частині ділянки дослідження (свердловини 2 і 3). Це свідчить про наявність у цьому районі постійного джерела забруднення артезіанських вод. Підвищений вміст сульфатів приурочений до свердловин, розташованих поблизу пр. Свободи.

Варто також відмітити сезонні зміни вмісту окремих компонентів. Яскравим прикладом цього є іони хлору. Максимальна їхня концентрація характерна для першого кварталу року (244 мг/л), коли у ґрунтові води надходить кухонна сіль, яку

використовують для боротьби з ожеледицею на дорогах. У літньо-осінній період року їхня кількість різко зменшується у два–три рази (82–105 мг/л).

Разом з сезонними коливаннями хлоридів змінюється і хімічний склад вод четвертинного водоносного горизонту. За збільшення їхньої концентрації у першому кварталі року води набувають хлоридно-гідрокарбонатного, натрієво-кальцієвого складу, в літньо-осінній та зимовий період, коли вміст іонів  $Cl^-$  стабілізується, хімічний склад вод, головню, гідрокарбонатний натрієво-кальцієвий.

Отримані дані дають підставу зробити такі висновки.

Ділянка дослідження характеризується потужним антропогенним впливом на підземні води, зокрема, щільною забудовою, високим ступенем покриття поверхні, розгалуженою вуличною та каналізаційною мережею, надмірним транспортним навантаженням.

Четвертинний водоносний горизонт є незахищеним від антропогенного забруднення. Верхньокрейдовий – належить до категорії недостатньо захищених. Завдяки наявності фільтраційних вікон між четвертинним і верхньокрейдовим водоносними горизонтами існує гідравлічний зв'язок.

Унаслідок надмірного комплексного антропогенного навантаження підземні води центральної частини міста зазнають суттєвих змін хімічного складу. Максимальних змін зазнають зовсім незахищені від антропогенного забруднення води четвертинного водоносного горизонту. Значно меншими змінами характеризуються води верхньокрейдового водоносного горизонту.

Максимальні зміни вод четвертинного горизонту виявлено у центральній частині досліджуваної ділянки поблизу полтвинського каналізаційного колектора. Натомість води верхньокрейдового водоносного горизонту найбільше змінені у північно-східній частині ділянки, що зумовлено близьким від поверхні заляганням мергелів, перекритих лише техногенними накопиченнями та існуванням постійного джерела забруднення.

Крім загального високого ступеня забруднення підземних вод, простежуються й сезонні зміни вмісту окремих компонентів, зокрема хлору, пов'язані з масштабним використанням хлорвмісних солей для боротьби з ожеледицею у зимовий період часу.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Волошин П. К.* Моніторинг підземних вод центральної частини м. Львова / П. К. Волошин // Ресурси природних вод Карпатського регіону : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. : Львів, 15–16 черв. : зб. наук. статей. – Львів : ЛьВЦНТЕІ, 2004. – С 126–133.
2. *Волошин П. К.* Моніторингові дослідження підземних вод урбосистеми Львова / П. К. Волошин // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2003. – Вип. 252. – С. 80–96.
3. *Волошин П.* Оцінка природної захищеності та уразливості підземних вод території Львова від антропогенного забруднення / П. Волошин // Вісник Львів. ун-ту Серія геогр. – 2012. – Вип. 40. – Ч. 1. – С. 149–155.
4. *Дідула Р. П.* Оцінка санітарно-хімічних показників безпечності та якості води популярних джерел різних геоструктурних зон Львівщини / Р. П. Дідула, Є. І. Кондратюк, Ю. Б. Блавацький, В.Ю. Усов, О.В. Пилипович // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2018. – № 4 (51). – С. 87–101.

5. Колодій В. До гідрогеології і гідрогеохемії Львова й околиць / В. Колодій, Р. Паньків, О. Майкут // Праці Наукового товариства ім. Шевченка. – Львів : НТШ, 2007. – Т. 19. – С. 175–181.
6. Кондратюк Є. Вивчення якості господарсько-питних вод міста Львова. Суть та актуальність проблеми [Електронний ресурс] / Є. Кондратюк, Р. Дідула, Ю. Блавацький, Л. Тригуба // Медична гідрологія та реабілітація. – 2012. – Т. 10. – № 4. – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MedGid\\_2012\\_10\\_4\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MedGid_2012_10_4_12)
7. Кондратюк Є. Особливості хімічного складу господарсько-питних вод міста Львова / Є. Кондратюк, Р. Дідула, Ю. Блавацький, Л. Тригуба // Матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. “Ресурси природних вод Карпатського регіону”. – 2011. – С. 96–102.

## REFERENCES

1. Voloshyn P. K. (2004). Monitorynh pidzemnykh vod tsentralnoi chastyny m. Lvova. *Resursy pryrodnykh vod Karpatskoho rehionu: Materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. Lviv, 15–16 cherv. Zb. nauk. statei. Lviv: LvTsNTEI*, 126–133 (in Ukrainian).
2. Voloshyn P. K. (2003) Monitorynhovi doslidzhennia pidzemnykh vod urbosystemy Lvova. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*, 252, 80–96 (in Ukrainian).
3. Voloshyn P. (2012). The estimation of natural protectability and vulnerability of ground water to anthropogenic pollution within territory of Lviv. *Visnyk of the Lviv University. Series Geography*, 40(1), 149–155 (in Ukrainian).
4. Didula R. P., Kondratyuk Ye. I., Blavatsky Yu. B., Usov V. Yu., Pylypovich O. V. (2018). Assessment of sanitary-chemical indices of water security and quality for the popular springs in different geostructural zones of Lviv region. *Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolojiia*, 4 (51), 87–101 (in Ukrainian).
5. Kolodiy V., Pankiv R., Maikut O. (2007). Do hidroheolohii i hidroheokhemii Lvova y okolyts. *Pratsi naukovoho tovarystva im. Tarasa Shevchenka, Lviv. NTSh, T. 19: Heolohichnyi zbirnyk*, 175–181 (in Ukrainian).
6. Kondratyuk E., Didula R., Blavatsky Y., Triguba L. (2012). The study of quality of domestic potable water of the Lviv city. *Medical hydrology and rehabilitation*, 10(4). URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MedGid\\_2012\\_10\\_4\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MedGid_2012_10_4_12) (in Ukrainian).
7. Kondratiuk Ye., Didula R., Blavatskyi Yu., Tryhuba L. (2011). Osoblyvosti khimichnogo skladu hospodarsko-pytnykh vod mista Lvova. *Materialy 10-i mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Resursy pryrodnykh vod Karpatskoho rehionu”*, 96–102 (in Ukrainian).

Стаття: надійшла до редакції 13.01.2021  
прийнята до друку 20.02.2021

## SPATIO-TEMPORAL CHANGES IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER IN THE CENTRAL PART OF THE LVIV

**Petro Voloshyn, Nadiya Kremin**

*Ivan Franko National University of Lviv,  
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005  
e-mail: petro.voloshyn@gmail.com; nadiya.kremin@lnu.edu.ua*

The article characterizes the hydrogeological conditions of the central part of Lviv (Western Ukraine), the nature and intensity of anthropogenic load, assesses the degree of protection of aquifers from pollution, spatial and temporal analysis of changes in groundwater chemical composition.

Groundwater in urban areas undergo significant changes in chemical composition, hydrodynamic properties, which excludes this resource from economic use, causes their aggressiveness to building structures, provokes the development of a number of dangerous geological processes. The main factor of hydrochemical and hydrodynamic changes in the state of groundwater in urban areas is mainly anthropogenic activity.

The research area is located in the Lviv Basin, formed by the valley of the Poltva River and its tributaries. The groundwater of the study area is represented by a diverse complex of Quaternary deposits and accumulations of the Upper Cretaceous. The Quaternary aquifer is distributed locally and can be traced only within the bottom of the Lviv Basin. This horizon is unprotected from anthropogenic pollution. The Upper Cretaceous aquifer is confined to fractured marls and belongs to the category of insufficiently protected. Due to the presence of filtration windows, there is a hydraulic connection between the Quaternary and Upper Cretaceous aquifers.

Components of groundwater chemical composition such as total mineralization, hydrocarbons, sulfates, ammonium nitrogen and chlorides were used to identify the relationship between spatiotemporal changes in groundwater chemical composition and the nature and intensity of anthropogenic pressures.

It is established that the largest anthropogenic changes in chemical composition were experienced by virtually unprotected waters of the Quaternary aquifer. Its maximum changes are recorded in the sphere of influence of the Poltva sewer. The waters of the Upper Cretaceous aquifer are most changed in the north-eastern part of the site, in the area close to the surface by the occurrence of marls covered only by man-made accumulations. Significant seasonal changes in the chlorine content in the waters of the Quaternary aquifer have been identified.

*Key words:* chemical composition of groundwater, protection, anthropogenic load, hydrogeological conditions.