

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.38.628.1

О. Шевченко, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., доц.,
С. Корнєєнко, канд. геол.-мін. наук, доц.,
О. Діхтярук, студ.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

АНАЛІЗ ПРИЧИН ЗБІЛЬШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАЛІЗА У ПІДЗЕМНИХ ВОДАХ ВОДОЗАБОРІВ МІСТА ШЕПЕТІВКА

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.Є. Кошляковим)

Шляхом аналізу хімічного складу підземних вод встановлено джерела найбільш імовірного надходження заліза до водозаборів м. Шепетівка Хмельницької області, що дозволило з достатньою достовірністю визначити форми перебування заліза в підземних водах та запропонувати найбільш доцільні технології знезалізнення.

Постановка проблеми. Централізоване водопостачання м. Шепетівка існує з 1932 р. До 2007 р водопостачання населення та підприємств м. Шепетівка відбувалось Шепетівським КПВКГ шляхом експлуатації водозаборів "Дубовий гай" та "Кам'янка". Водозабір "Кам'янка" знаходиться на відстані 8 км від міста, тому експлуатувати його стало нерентабельно. Водозабір "Дубовий гай" експлуатується більш ніж сімдесят років, тому планується його закриття. Сумарний максимальний водовідбір по даних водозаборах становив у 1995 р

4493,2 тис м³/рік, та з часом він поступово знижувався і у 2008 р досяг 1836,6 тис м³/рік (5015,3 м³/добу). За розрахунками Шепетівського КПВКГ при цілодобовому водопостачанні потреба у воді складає 8109,6 м³/добу, а на перспективу 9000 м³/добу. За своєю потужністю введений у 2007 р. водозабір "Лісова галявина" здатен задовольнити водопотреби міста, але постала серйозна проблема із підвищенням вмістом загального заліза у підземних водах його 7 свердловин. Цей водозабір розташований в 1,2-2 км на захід від м. Шепетівка на ліво-

© Шевченко О., Корнєєнко С., Діхтярук О., 2013

му березі р. Гуска (басейн р. Горинь) (рис. 1). Щорічний водовідбір на ньому нині складає 3225,8 тис м³, на во-

дозаборі "Дубовий Гай" – 517,1 тис м³, на водозаборі "Кам'янка" – 0,29 тис м³.

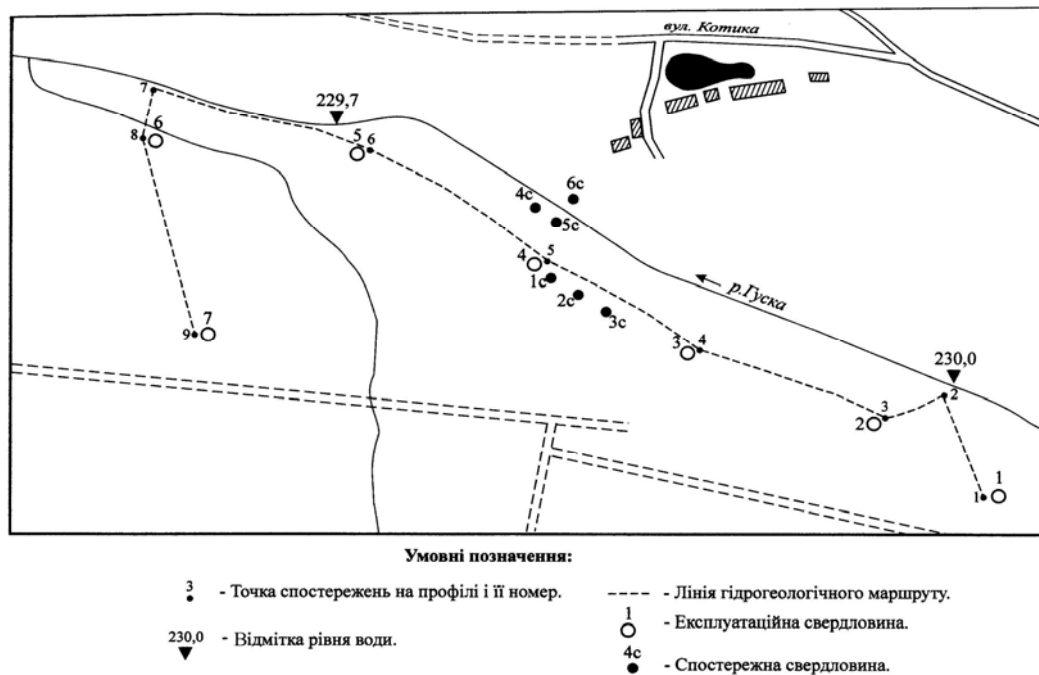


Рис. 1. Схема розташування свердловин на водозаборі "Лісова Галлявіна"

У двох із трьох експлуатаційних водозаборів (на водозаборі "Кам'янка" – 2,12 мг/дм³, "Лісова Галлявіна" – 2,98 мг/дм³) концентрації заліза суттєво перевищують ГДК при нормі 0,2 мг/дм³ (ДержСанПіН 2.2.4-171-10, Додаток 2).

Означеними водозаборами спільно експлуатується водоносний горизонт у відкладах сеноманського ярусу верхньої крейди та водоносний горизонт у відкладах поліської серії середнього і верхнього рифею. Водовміщуючі відклади представлені, відповідно, піщано-кремневою сумішшю та пісковиками дрібнозернистими. У зв'язку із відсутністю водотривких прошарків між водоносними горизонтами вони утворюють єдиний водоносний комплекс потужністю близько 25 м. У покрівлі комплексу залягають суглинки та глини четвертинної системи, в підосві – відклади нижнього протерозою. Крім геологічної захищеності, основний водоносний комплекс здебільшого мав за природних умов і гідродинамічну захищеність: при тому, що покрівля водоносного комплексу залягає на глибині 9-17 м, величина напору у свердловинах становить 7-15 м. Статичні рівні встановлюються переважно на глибині 0,09-0,4 м від поверхні (свердловини №№ 1-3, 5) і лише в свердловинах № 4-1, 09 м та № 6 і 7 – по 5 м. Під час експлуатації з дебітами 45-85 м³/год зниження рівня досягає 4,5-12,0 м, що обумовлює більшу вразливість підземних вод до перетікання ґрунтових. Глибина залягання дзеркала ґрунтових вод змінюється від кількох десятків сантиметрів в заплавах річок і болотах до 3 м на терасах.

Метою дослідження є встановлення джерела можливого надходження заліза до водозаборів. Ідентифікація джерел забруднення дозволить з достатньою достовірністю уявити форми перебування заліза в підземних водах та запропонувати технологію очищення води з врахуванням можливих поступових змін складу води, обумовлених надходженням у водоносний комплекс поверхневих вод.

Основний матеріал. За хімічним складом води водоносного комплексу гідрокарбонатні магнієво-кальцієві. Загальна мінералізація становить 0,6-0,78 г/дм³. Загальна твердість перевищує допустимі

норми (7,0 мг-екв/дм³, ДержСанПіН 2.2.4-171-10) і змінюється від 7,7 до 10 мг-екв/дм³. Зміни твердості в даному діапазоні погоджено з санітарними службам. За фізичними властивостями та вмістом заліза вода також не відповідає ГДК (вміст загального заліза 1,7-3,92 мг/дм³, що вище граничних концентрацій у 8,5-19,6 рази). Вода, що видобувається, проходить водопідготовку, в процесі якої проводиться знезалізнення та очищення до питної якості.

Джерела забруднення підземних вод відсутні. Рівень води в р. Гуска, найближчій до найбільш потужного водозабору "Лісова Галлявіна", коливається в залежності від кількості опадів і не залежить від роботи водозабору, тобто зв'язок між експлуатаційним водоносним комплексом та річкою відсутній. Досліджуючи тенденцію сезонного коливання концентрації заліза було встановлено, що найбільших значень концентрація набуває у весняний період – 3,63 мг/дм³, що звичайно співпадає з періодом максимального інфільтраційного живлення, найменших в осінній – 2,7 мг/дм³. Однак, при порівнянні динаміки змін концентрації заліза з кількістю опадів за останні 11 років, ніяких закономірностей не було встановлено.

У відкритих водних джерелах залізо може утримуватися у вигляді органічних сполук, частіше за все колоїдних. Прикладом органічного сполучення заліза є гуміново-кисле залізо, яке нерідко присутнє в болотах та річках, які вони живлять. Води, які вміщують гуміново-кисле залізо, зазвичай відрізняються підвищеною кольоровістю. Водозабори "Кам'янка" та "Лісова галлявіна" знаходяться на невеликій відстані від боліт (близько 100 м). Колірність вод коливається від 8,6 до 45,45 град. при нормі 20 град. Можна зробити висновок про декілька шляхів потрапляння розчинних органічних комплексів заліза у водоносний горизонт: 1) одним із джерел живлення експлуатаційного водоносного комплексу може бути перетікання вод із нижчезалягаючого горизонту у відкладах нижнього протерозою, останній має більш значне поширення по площі і місцями меншу глибину залягання, а також живиться поверхневими

водами та опадами, що свідчить про можливий гідродинамічний зв'язок з болотами; 2) можлива присутність фаціальних вікон у водоносному комплексі, через які відбувається інфільтрація болотних вод; 3) дані болота живляться певною мірою за рахунок підземних вод, що не виключає можливу циркуляцію деякої кількості болотних вод у водоносний комплекс.

Використовуючи гідрогеохімічний метод дослідження, можна зробити певні висновки, що підтверджують справедливості першої гіпотези. Найближче до поверхні залягають суглинки: на водозаборі "Кам'янка" їх потужність складає 3,5 м, а на водозаборі "Лісова Галлявина" від 8 до 12 м (рис. 2).

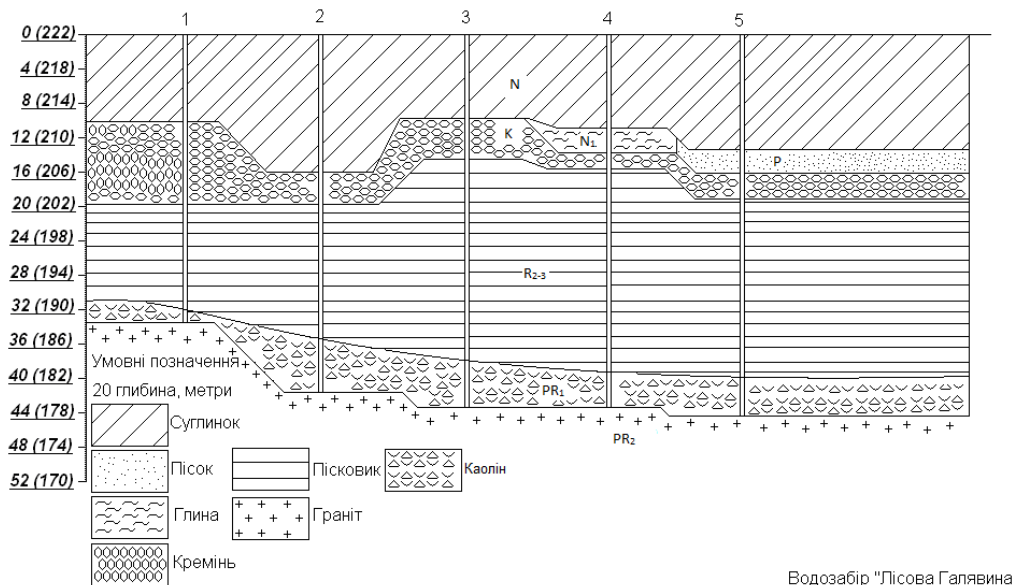


Рис. 2. Геологічний розріз свердловин водозабору "Лісова Галлявина"

В останньому випадку їх потужності достатньо, щоб сорбувати залізо з інфільтраційних вод (тобто низьке потраплення заліза у водоносний горизонт в значній кількості виключається). Простежується обернена залежність між захищеністю водоносних горизонтів (комплексний показник, що враховує потужність суглинків у покрівлі і відстань до найближчих боліт) та вмістом легкоокиснюваної органічної речовини (перманганатна окиснюваність (ПО). Збільшення захищеності підземних вод обумовлює відновні умови, за яких ПО води мінімальна. Також для відновних умов характерні більш низькі концентрації сульфатів (сульфатами збагачені ґрунтові води поліських торфовищ [1], також вони є ознакою окиснення сульфідів, що містяться в кристалічних породах нижньопротерозойської товщі). Наявність відновних умов та утрудненість інфільтраційного живлення остаточно підтверджується присутністю аміаку та відсу-

тністю нітратів і нітрит-іонів у підземних водах основних водозаборів. Наявність кремнію у водовміщуючих відкладах сеноманського ярусу сприяє зменшенню органічної речовини за рахунок сорбції, про що свідчать також малі концентрації хлоридів (табл. 1) та невисокі – натрію (до 16 мг-екв/дм³). Слід зауважити, що ґрунтові води мають гідрокарбонатний натрієво-кальцієвий склад, мінералізацію до 0,5 г/дм³, помірну твердість.

Тому більш обґрунтованим можна вважати сценарій надходження заліза за рахунок висхідного перетікання та бічного притоку від областей живлення експлуатаційного комплексу та нижчезалягаючого водоносного горизонту у нижньопротерозойських відкладах під час експлуатації водозаборів. Порівнюючи річні витрати та дебіти свердловин із вмістом заліза у воді, можна зробити висновок про існування близької до прямої залежності вмісту загального заліза від потужності водозабору (рис. 3).

Таблиця 1

Результати хімічного аналізу і властивостей підземних вод з водозаборів

Показник	Кам'янка	Лісова Галлявина	Дубовий гай	Залізничний водозабір	Держстандарт
Кольоровість в град.	35	30	7,14	7,14	20
Мутність, мг/дм ³	1,4	2,6	0	0	1,5
Сухий залишок мг/дм ³	448,8	411,2	652,8	790,8	1000
Окиснюваність мг О ₂ /дм ³	7,7	1,16	3,35	2,2	4,0
Аміак мг/дм ³	0,45	0,21	0	0,35	2
Нітриту, мг/дм ³	0	0	0	0	3,3
Нітрати, мг/дм ³	0	0	64,6	0,71	45
Залізо, мг/дм ³	2,12	2,98	0,025	0,012	0,2
Хлориди, мг/дм ³	40,7	7,35	73,5	19,6	350
Лужність, мг-екв/дм ³	4,5	7,8	7,1	6,25	не нормується
Загальна жорсткість, мг-екв/дм ³	6,7	7,7	10,8	7,3	7,0
Сульфати, мг/дм ³	45,6	12	103,2	117,6	500
Кальцій, мг-екв/дм ³	5,7	6,1	9,1	5,8	Контролюється жорсткістю
Магній, мг-екв/дм ³	1,0	1,6	1,7	1,5	— " —
pH	7,3	7,15	7,0	7,5	6,0-9,0

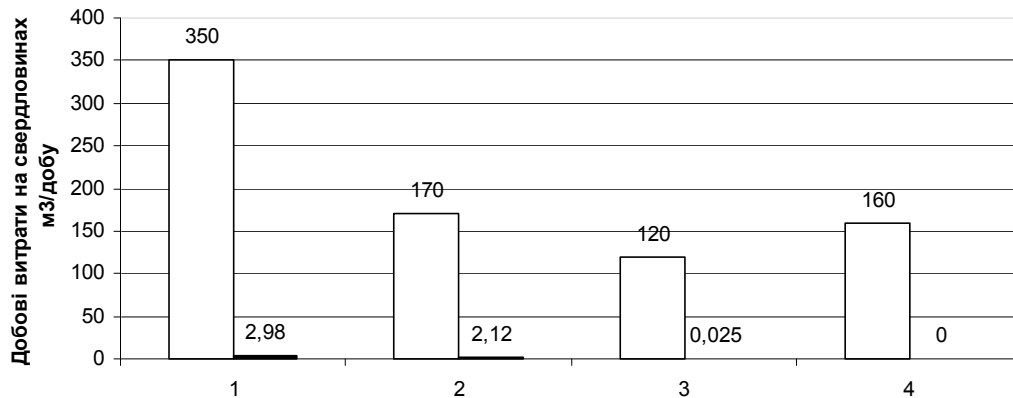


Рис. 3. Залежність між добовими витратами (м³) та концентраціями заліза (м³/добу) в підземних водах водозаборів: 1 – "Лісова Галявина, 2 – "Кам'янка", 3 – "Дубовий Гай", 4 – "Залізничний"

Проте очевидно, що залежність могла б бути більш явною, якби на всіх водозаборах джерела надходження заліза були ідентичні та знаходились на однаковій відстані від свердловин.

Підвищений вміст сульфатів поряд із максимальною окиснюваністю вод на водозаборі "Кам'янка" може свідчити про переважання бічного притоку забруднених залізом вод з боку болотних масивів. Це підтверджується і порівняно невисокою лужністю води. За таких гідрохімічних умов переважаючими формами заліза є сульфати та органічні комплекси із фульвокислотами або більш складні органо-мінеральні колоїдні комплекси.

Для водозабору "Лісова Галявина" характерне переважання перетікання підземних вод нижньопротеро-

зойських відкладів через зону каолінів та оксидів заліза, приурочену до площинної кори вивітрювання гранітів. Це підтверджується близьким хімічним складом підземних вод обох горизонтів: гідрокарбонатним кальцієво-магнієвим нижньопротерозойського горизонту і гідрокарбонатним кальцієво-магнієвим або магнієво-кальцієвим – у відкладах поліської серії. За таких гідрохімічних умов залізо перебуватиме в розчині переважно у вигляді бікарбонатів – $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ [2], і в меншій мірі – в сульфатній формі, що характерно для відновних умов, про які свідчить підвищена лужність (7,8 мг-екв/дм³) та відсутність нітратів (рис. 4).

Найбільш чітка обернена залежність простежується між вмістом заліза та аніонів хлору у воді (рис. 5).

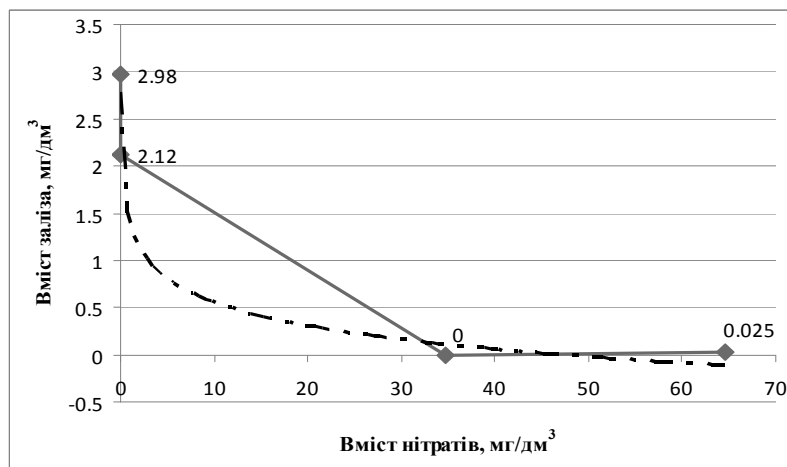


Рис. 4. Залежність між концентраціями Fe та NO_3 , мг/дм³

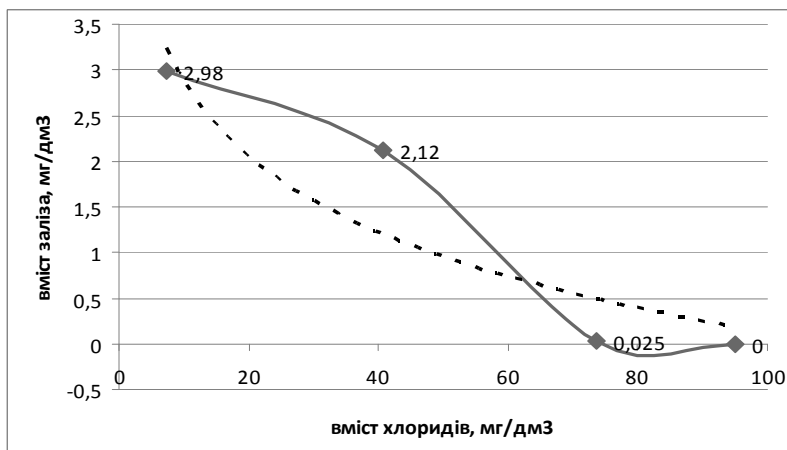


Рис. 5. Залежність між концентраціями Fe та Cl в підземних водах різних водозаборів, мг/дм³

Обернена залежність вмісту заліза від вмісту сульфатів (рис. 6) свідчить на користь висновку, що пе-

реважає водообмін залізовміщуючих вод саме у відповідних умовах.

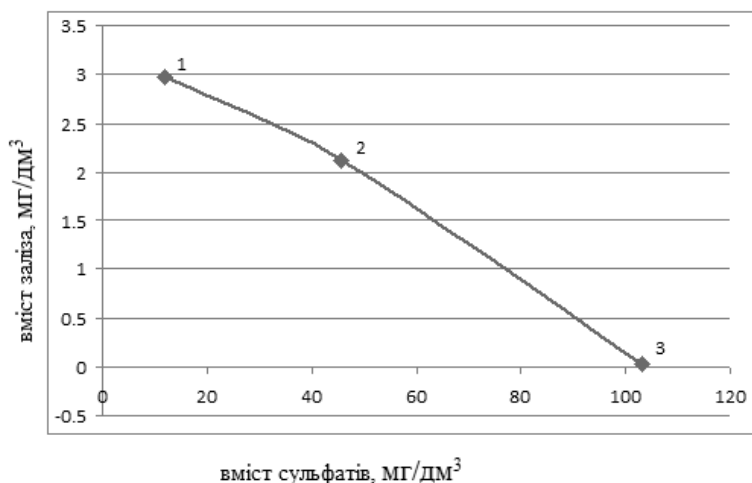
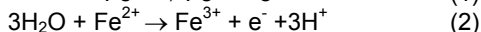
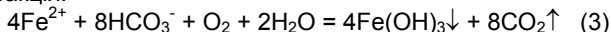


Рис. 6. Залежність між концентраціями Fe та SO₄ (мг/дм³) в підземних водах водозаборів: 1 – "Лісова Галлявина", 2 – "Кам'янка", 3 – "Дубовий Гай"

Очевидно, що ідентифіковані гідрохімічним методом джерела надходження розчиненого заліза до водозаборів не дають підстав для обґрунтування інших заходів щодо мінімізації його вмісту у підземних водах, крім їх очищення методом окиснення шляхом спрощеної аерації повітрям. При цьому відбувається окиснення розчинного двовалентного заліза Fe²⁺ до тривалентного Fe³⁺, яке утворює нерозчинні, великі полімолекулярні колоїди гідроксиду заліза Fe(OH)₃:



За присутності у воді кисню відбувається наступна реакція:



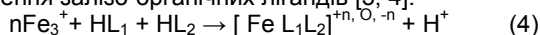
Такий процес з задовільною для виробничих потреб швидкістю утворення колоїдів Fe(OH)₃, що вилучаються з води, можливий за наступного складу води:

- рН – не менше 6,4;
- лужність не менше – 1,35 мг-екв / дм³;
- вміст вуглекислоти – до 100 мг / дм³;
- вміст сірководню – до 10 мг / дм³;
- перманганатна окиснюваність – не більше 8,5 мг O₂ / дм³.

Таким умовам відповідає склад підземних вод діючих водозаборів м. Шепетівка.

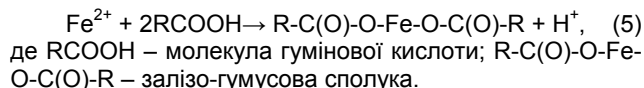
Зараз знезалізнення на водозаборі "Лісова Галлявина" виконується за допомогою 5 цеолітних фільтрів методом "Сухої фільтрації" та 3 пінополістирольних установок з модифікованим фільтруючим завантаженням на базі пінополістиролу типу NOVA Dipol Chemical International марок EPS D 733A, D 833 A, D 833 B, D 933 A. Це забезпечує можливість усунення підвищених концентрацій заліза з підземних вод на вході до даного водозабору.

У той же час, існує постійна загроза підвищення вмісту органічних сполук болотного походження для водозабору "Кам'янка". У такому випадку це може спричинити утворення залізо-органічних лігандів [3, 4]:

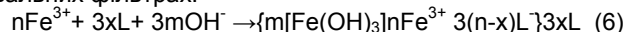


де [Fe L₁L₂]^{+n, O, -n} – стійкі фульватні та гуматні комплекси заліза; L – органічні або неорганічні ліганди, HL – органічні кислоти, наприклад двоховосновні.

Висока вірогідність утворення сполук заліза з гуміновими речовинами:



Органічні форми заліза дуже важко вилучити, оскільки вони знаходяться у розчинній або в мікроколоїдній формі, що не видаляються фільтруванням на прояснювальних фільтрах.



У таких випадках прийнято застосовувати сильні окисники (O₃, H₂O₂, KMnO₄, HClO, Cl₂), які здатні зруйнувати залізоорганічні комплекси та спричинити утворення нерозчинних сполук заліза. Для існуючих очисних Шепетівського водоканалу це призведе до неможливості знезалізнення такого типу вод існуючими технологіями. Тому закриття водозабору "Кам'янка" є доцільним як за економічними так і технологічними оцінками.

Висновок. Таким чином, зростання обсягів водовідбору та об'єктивні геолого-гідрогеологічні чинники обумовлюють стрімке зростання вмісту заліза у водах господарсько-питного призначення основних водозаборів м. Шепетівка. Щорічно на знезалізнення витрачається 95 922,84 грн (враховуючи амортизацію, кошти на сировину та обладнання). Постійний моніторинг хімічного складу підземних вод і співставлення його результатів по різних водозаборах та в часі дозволяє коригувати технологію водоочищення підземних вод, вибирати найбільш оптимальні, уніфіковані варіанти.

Список використаних джерел:

1. Связь изменения объемной активности радиоактивных стронция и цезия и концентраций стабильных макрокомпонентов в грунтовых водах осушаемых участков вблизи Ровенской и Хмельницкой АЭС: Экологические аспекты загрязнения окружающей среды: Тезисы докл. междунар. науч.-практ. Конф. (Киев, 26-28.III. 1996). – К. 1996. Ч.1, – С. 169. Шевченко А.Л.
2. Методи досліджень мінеральних підземних вод. Навч. посібник / [Шевченко О.Л., Кондратюк Є.І., Гудзенко В.В., Заверталою Т.Ю.]. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2011. – 239 с.
3. Квартенко О.М. Багатопроекторна технологія кондиціонування підземних вод, що містять комплексні залізоорганічні та азот-амонійні сполуки. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: науково-технічний збірник. Випуск 14/ К. Квартенко О.М. – К: КНУБА, 2010. – 42–55 с.
4. Чарний Д.В. Обґрунтування доцільності застосування біологічних систем очищення підземних вод України – напрямки розвитку. Меліорація і водне господарство. Випуск 99/ Чарний Д.В. – Київ: (Аграрна наука 2011. 312–324 с.).

Надійшла до редколегії 22.12.12

А. Шевченко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доц., С. Корнеев, канд. геол.-мин. наук, доц., А. Дихтярук, студ.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

АНАЛИЗ ПРИЧИН УВЕЛИЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖЕЛЕЗА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ВОДОЗАБОРОВ ГОРОДА ШЕПЕТОВКА

Путем анализа химического состава подземных вод установлены источники наиболее вероятного поступления железа в водозаборы г. Шепетовка Хмельницкой области, что позволило с достаточной достоверностью определить формы нахождения железа в подземных водах и предложить наиболее рациональные технологии обезжелезивания.

O. Shevchenko, Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, Associate Professor, S. Korneienko, Cand. Sci. (Geol.-Min.), O. Dihtiaruk, stud.
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

ANALYSIS OF REASONS INCREASE CONCENTRATION OF IRON IN GROUNDWATER INTAKE IN SHEPETIVKA TOWN

The chemical composition of underground water sources was analyzed. It was found that most likely flow to the intake of iron in Shepetivka town Khmelnytsky region. That allowed to determine with sufficient certainty the forms host iron in groundwater and suggest the most appropriate deferrization technology.