

Член-кореспондент НАН України Ю. І. Тарасевич, О. Ю. Кулішенко,
Р. В. Остапенко, Т. Б. Кравченко

Деманганація і знезалізнення артезіанської води в умовах промислових водозаборів м. Мукачеве (Закарпатська область)

Запропоновано двоступеневу схему очищення артезіанської води від заліза та мангану із застосуванням на першому ступені фільтра з природним кліноптилолітом для видалення основної кількості заліза, і на другому – фільтра з модифікованим кліноптилолітом для видалення залишкового заліза та іонів двовалентного мангану. Підтверджено можливість застосування на водозаборах технології знезалізнення, що полягає в спрощеній або глибокій аерації з подальшим фільтруванням через кліноптилолітове завантаження як у напірному, так і безнапірному виконанні. Отримання модифікованого діоксидом мангану кліноптилолітового завантаження здійснено безпосередньо в фільтрувальній колоні. Відзначимо, що властивості таким чином отриманого модифікованого кліноптилоліту не відрізняються від властивостей сорбенту, синтезованого в звичайних умовах. Показано, що модифіковане завантаження може працювати без промивок та регенерації впродовж місяця. Запропонована технологія була відпрацьована в реальних умовах водозаборів м. Мукачеве, Україна.

У науковій літературі технологічні методи видалення з підземних вод сполук заліза (Fe) й мангану (Mn) розглядаються окремо для кожного з цих компонентів, однак останнім часом посилюється підхід до знезалізнення та деманганації води як до єдиного процесу. Аналіз існуючих методів очищення підземних вод [1, 2] показує, що найбільш простим та економічним способами видалення з води іонів заліза є спрощена або глибока аерація з подальшим фільтруванням крізь природне зернисте завантаження. Під час та після аерації вода насичується киснем повітря, відбуваються процеси окиснення іонів заліза (II) в залізо (III) та гідроліз заліза (III) з утворенням гідроксиду (Fe(OH)₃). Останній затримується в шарі фільтрувального завантаження й створює на поверхні зерен завантаження автокаталітичну плівку з оксидів заліза. В свою чергу пластівці гідроксиду заліза адсорбують з води іони заліза (II) з подальшим його окисненням до заліза (III), отже, відбувається процес постійного нагромадження в фільтрувальному шарі гідроксиду та оксидів заліза до тих пір, поки втрати напору в завантаженні не досягнуть критичної величини.

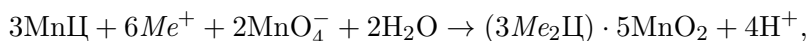
Процес утворення плівки з Fe(OH)₃ на поверхні зерен потребує часу для “зарядження” завантаження. Тому як останнє бажано використовувати матеріал, що на початку фільтроциклу буде діяти як сорбент, а з часом, коли сорбційна ємність завантаження вичерпається, – за допомогою утвореної на поверхні зерен сорбційної плівки з оксидів та гідроксиду заліза.

Як такий матеріал для фільтрів знезалізнення нами запропоновано використовувати цеолітовий туф (далі – кліноптилоліт) Сокирницького родовища (Закарпатський регіон України), який містить 60...90% кліноптилоліту та 10...40% інертних включень (кварцу, слюди, польового шпату тощо) [3]. У порівнянні з відомими завантаженнями такого типу

(Birm, Greensand та ін.) цей матеріал у кілька разів є дешевшим, видобувається безпосередньо на Закарпатті і тому є найбільш економічно доцільним.

На відміну від заліза, манган дуже повільно окиснюється киснем повітря при $\text{pH} < 8$ і лише після підвищення pH до 9,5 можна досягти істотного збільшення швидкості окиснення в напрямі: $\text{Mn(II)} \rightarrow \text{Mn(III)} \rightarrow \text{Mn(IV)}$. Відомо також, що вищі оксиди мангану (Mn_3O_4 , MnO_2) є каталізаторами процесу окиснення Mn(II) і тому на сьогодні найраціональнішим є шлях окиснення іонів Mn(II) під час фільтрування крізь завантаження, яке модифіковане вищими оксидами мангану (в основному MnO_2), звідки випливає, що принципово процеси знезалізнення та деманганації подібні між собою, але відрізняються активністю середовища, в якому вони відбуваються.

У роботах [4–6] для нанесення плівки діоксиду мангану (MnO_2) на поверхню завантаження нами застосований безтермічний метод, в основі якого лежить іонний обмін. Метод полягає в обробці кліноптилоліту розчином солі двовалентного мангану з подальшим окисненням введеного таким чином в обмінний комплекс Mn(II) перманганатом калію за реакціями:



де Me^+ – катіони K^+ або Na^+ , а природний кліноптилоліт (Ц) для простоти наведений у вигляді кальцієвої форми. В другому рівнянні діоксид мангану, що утворився, і кліноптилоліт представлені у вигляді одного продукту реакції, щоб підкреслити міцний зв'язок кластерів MnO_2 з поверхнею кліноптилоліту.

Очищення артезіанської води від іонів заліза та мангану можна здійснювати в одну стадію, але в такому разі витрата модифікованого сорбента-каталізатора зростає настільки, що його використання стає недоцільним. Тому рекомендуємо застосовувати комплексну двостадійну схему очищення води на фільтрах із зернистим завантаженням. На першій стадії з води вилучається залізо, на другій – манган.

Об'єкти та методика досліджень. Для артезіанських вод Закарпатської області, в тому числі й для водозаборів м. Мукачеве, характерна сумісна присутність іонів Fe^{2+} й Mn^{2+} . Дані табл. 1 підтверджують цю тезу і вказують на подібність води з цих двох джерел. Артезіанська вода водозабору “Ключарки” характеризується дуже високим вмістом сполук заліза, концентрація якого сягає $13,65 \text{ мг/дм}^3$ при вмісті мангану до $1,2 \text{ мг/дм}^3$. Натомість, вода водозабору “Мечнікова” при такій самій концентрації мангану (до $1,2 \text{ мг/дм}^3$) має незначний вміст заліза $0,4\text{--}0,6 \text{ мг/дм}^3$. З позиції проведення досліджень це дуже зручно, оскільки дозволяє “розділити” вихідні умови знезалізнення та деманганації води. Дослідження, наслідки яких розглядаються нижче, дали змогу визначити деякі особливості перебігу процесів знезалізнення й деманганації води при застосуванні кліноптилолітового завантаження фільтрів та запропонувати комплексні технологічні прийоми водоочищення на вказаних об'єктах.

Для здійснення процесу знезалізнення на водозаборі “Ключарки” застосована пілотна установка, яка включає ежектор та аератор-окиснювач, напірний та безнапірний фільтри діаметром 150 мм з об'ємом завантаження 43 дм^3 . Установка являє собою фрагмент пілотної установки, повну схему якої ілюструє рис. 1. Враховуючи значний вміст заліза, в схемі водоочищення закладено метод глибокої аерації, що передбачає подовжений контакт води з киснем повітря (вузол аерації I). На початковій стадії досліджень для визначення

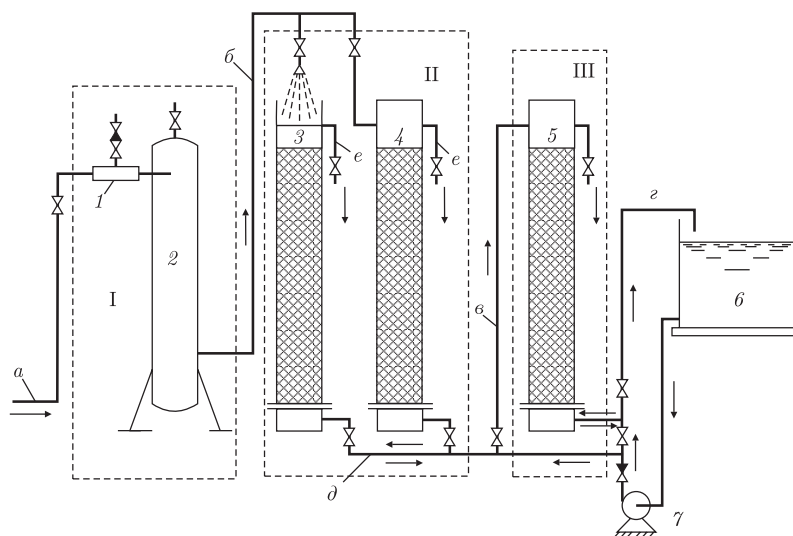


Рис. 1. Технологічна схема установки знезалізнення-демангангації:

I — вузол аерації, II — блок знезалізнення, III — блок демангангації. 1 — Ежектор; 2 — аератор-окиснювач; 3 — безнапірний фільтр знезалізнення; 4 — напірний фільтр знезалізнення; 5 — напірний фільтр демангангації; 6 — збірна ємність; 7 — насос.

Трубопровід: а — вихідної води; б — аерованої води; в — знезалізненої води; з — очищеної води; д — промивний; е — каналізаційний

оптимальних умов реалізації процесу напірний та безнапірний фільтри були включені “паралельно” (блок знезалізнення II).

Як завантаження фільтрів знезалізнення використовували природний (немодифікований) кліноптилолітовий пісок фракції 1–4 мм з ємністю катіонного обміну $E = 1,45$ мг-екв/г. Обмінний комплекс матеріалу представлений в основному іонами Ca^{2+} (1,05 мг-екв/г).

Знезалізнення виконували таким чином. Воду від свердловини через ежектор (див. рис. 1) подавали в аератор-окиснювач, після якого вона розподілялась між безнапірним та напірним фільтрами знезалізнення. Дослідження проводили в режимі постійного регу-

Таблиця 1. Показники якості води базових водозаборів

| Показники якості води | Водозабори | |
|---|-------------|-------------|
| | “Ключарки” | “Мечнікова” |
| pH | 6,8–7,4 | 7,0–7,8 |
| Загальна жорсткість, ммоль/дм ³ | 3,1–3,7 | 3,0–5,5 |
| Лужність, ммоль/дм ³ | 3,2–3,4 | 2,5–3,7 |
| Окиснюваність, мг O ₂ /дм ³ | 0,64–1,92 | 0,40–1,60 |
| Аміак, мг/дм ³ | 0,28 | 0,05–0,39 |
| Нітрити, мг/дм ³ | 0,015–0,020 | 0,003–0,026 |
| Нітрати, мг/дм ³ | 4,22 | 0,18–1,38 |
| Кальцій, мг/дм ³ | 48,1–54,1 | 40,1–56,1 |
| Магній, мг/дм ³ | 8,5–12,1 | 12,1–19,2 |
| Хлориди, мг/дм ³ | 17,7–28,3 | 25,1–154,8 |
| Сульфати, мг/дм ³ | 2,0–10,0 | 2,5–45,0 |
| Fe (total), мг/дм ³ | 12,50–13,65 | 0,40–0,60 |
| Mn(II), мг/дм ³ | 0,9–1,2 | 1,0–1,2 |
| Сухий залишок, мг/дм ³ | 271–350 | 250–505 |

лювання швидкості фільтрування для компенсації втрат напору в фільтрувальній колоні. Роботу безнапірного фільтра регулювали таким чином, щоб над поверхнею завантаження постійно підтримувався шар води, напірного — здійснювали при тиску на його вході 0,5–1 атм. У ході досліджень концентрацію заліза у вихідній, аерованій воді та фільтраті встановлювали спектрофотометричним методом за інтенсивністю забарвлення комплексу заліза з сульфосаліцилат-іонами. Закінчення фільтроциклу визначали по досягненню граничної втрати напору, після чого фільтри промивали.

Основну частину досліджень з деманганзації проводили на станції знезалізнення водозабору “Мечнікова”. Тут перший ступень водоочищення (див. фільтр 3 на рис. 1) вже реалізований у вигляді чотирьох безнапірних фільтрів діаметром 3,2 м, завантажених природним кліноптилолітовим піском фракції 1–4 мм. До трубопроводу загального фільтрату станції знезалізнення як другий ступень фільтрування був під’єднаний напірний фільтр деманганзації діаметром 250 мм і об’ємом завантаження 50 дм³ (блок деманганзації III). Таким чином, фільтри знезалізнення та деманганзації були включені послідовно, що відтворює традиційну схему водоочищення.

Як завантажений фільтр деманганзації використовували той самий кліноптилоліт, що й при знезалізненні, але додатково модифікований за такою методикою. Отримання модифікованого завантаження було здійснено безпосередньо в фільтрувальній колоні за умов, наближених до природних. Кліноптилоліт впродовж 2 год витримували в контакті з розчином хлористого мангану, потім промивали очищеною водою. Після цього завантаження впродовж 2 год витримували в контакті з розчином перманганату калію і промивали очищеною водою до зникнення з води характерного забарвлення. В результаті на поверхні сорбенту утворилась хемосорбована плівка з MnO₂ з масовою часткою 0,25...0,33% від маси завантаження. Питома витрата реагентів на модифікацію — 7 г MnCl₂ й 2 г KMnO₄ на 1 кг завантаження.

У процесі роботи фільтра деманганзації регулярно встановлювали концентрації мангану у вихідній і фільтрованій воді, перевіряли та регулювали швидкості фільтрування. Концентрацію мангану визначали за методикою (ГОСТ № 4974) з видаленням хлор-іона з додаванням сірчаноокислої ртуті. Закінчення циклів деманганзації встановлювали за втратою завантаженням сорбційної спроможності. Після цього фільтр промивали водою й регенерували розчином перманганату калію. Регенераційний розчин подавали насосом знизу-вверх крізь шар фільтрувального завантаження в режимі періодичної циркуляції. Потім фільтр знову промивали та включали в роботу.

Результати та їх обговорення. Знезалізнення. Важливими факторами, що впливають на процес знезалізнення, є рН, вміст кисню й співвідношення форм заліза у вихідній воді та за ступенем її очищення.

Показник рН води водозабору “Ключарки” (див. табл. 1) тяжіє до нижньої межі придатності методу спрощеної аерації та фільтрування [2]. Натомість для водозабору “Мечнікова” вихідні умови більш сприятливі як для знезалізнення, так і деманганзації. Також сприятливими умовами для знезалізнення вважаються концентрації кисню, які приблизно в 4–6 разів перевищують його теоретичну витрату (0,143 мг O₂ на 1 мг Fe²⁺) або 0,6–0,9 мг на 1 мг Fe²⁺. У нашому випадку для водозабору “Ключарки” це відповідає концентраціям кисню 7,7–11,5 мг/дм³. Як видно з табл. 2, вузол аерації “ежектор–аератор–окиснювач” повністю забезпечує цю умову.

Вибіркові результати визначення форм заліза демонструє табл. 3. Для ефективного перебігу процесу знезалізнення концентрація закисного заліза (Fe²⁺) у вихідній воді повинна

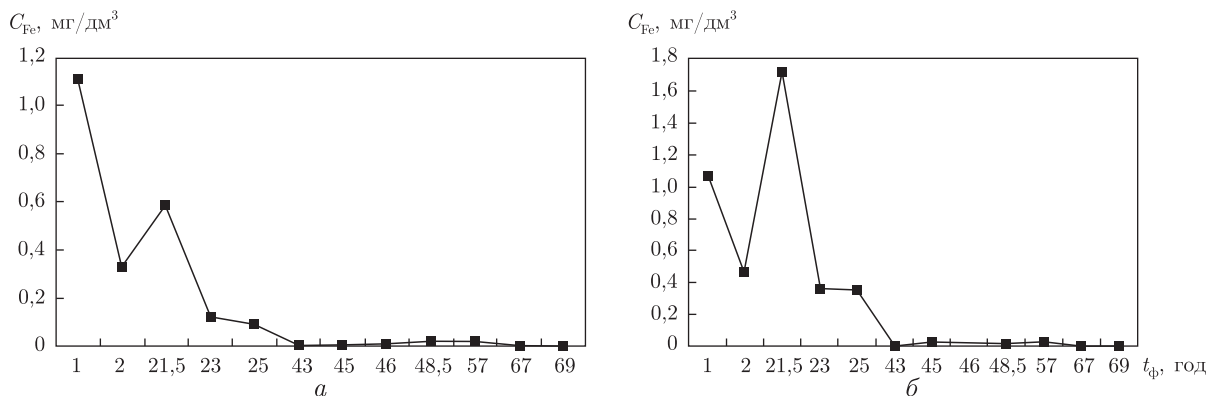


Рис. 2. Залежність концентрації іонів заліза на виході з фільтра від тривалості фільтроциклу (вихідна концентрація заліза 12,5–13,0 мг/дм³; швидкість фільтрування 3 м/год).
Фільтр: а — напірний; б — безнапірний

становити не менше 70% загальної концентрації заліза ($Fe_{заг}$). Як видно з таблиці, ця умова виконується зі значним “запасом”.

На рис. 2 зображені типові приклади кривих змін концентрації заліза на виході з напірного та безнапірного фільтрів. Незважаючи на іонообмінні та сорбційні властивості кліноптилоліту, йому властиві епізодичні піки “проскакування” заліза (II) у фільтрат, особливо в період початкового “зарядження” завантаження. Вочевидь, у нашому випадку цей ефект посилювався високою вихідною концентрацією заліза. В роботі [7] нами запропонована спрощена модель, що пояснює механізм утворення таких піків з позиції зміни сорбційного режиму дії кліноптилоліту на автокаталітичний. В процесі водоочищення це явище легко нейтралізується завдяки зміщенню в часі графіків промивки окремих фільтрів. Також можна відзначити, що напірний фільтр в цілому показав кращі наслідки знезалізнення. Через добу концентрація заліза в його фільтраті стабілізувалась на рівні, нижчому за нормативну (0,1 мг/дм³), а тривалість фільтроциклу в 2 рази перевищувала показник безнапірного фільтра й була доведена до 92 год.

Таблиця 2. Вміст кисню за ступенем водоочищення, мг/дм³

| Точка відбору | Концентрація кисню, мг O ₂ /дм ³ |
|---------------------------|--|
| Вода: | |
| вихідна | 1,98 |
| після аератора-окиснювача | 10,23 |
| фільтрована | 8,70 |

Таблиця 3. Концентрації та іонний склад заліза за ступенем водоочищення

| Доба | Концентрація заліза в точках відбору, мг/дм ³ | | | | | | | | | | | |
|------|--|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | Вода | | | | | | Фільтрована вода з фільтра | | | | | |
| | вихідна | | | аерована | | | напірного | | | безнапірного | | |
| | Fe _{заг} | Fe ³⁺ | Fe ²⁺ | Fe _{заг} | Fe ³⁺ | Fe ²⁺ | Fe _{заг} | Fe ³⁺ | Fe ²⁺ | Fe _{заг} | Fe ³⁺ | Fe ²⁺ |
| 1 | 13,10 | 0,18 | 12,92 | 12,30 | 1,05 | 11,25 | 0,59 | 0,08 | 0,51 | 1,71 | 0,47 | 1,24 |
| 2 | 12,50 | 0,11 | 12,39 | 12,34 | 0,20 | 12,19 | 0,09 | 0,07 | 0,02 | 0,35 | 0,25 | 0,10 |
| 5 | 12,81 | 0,06 | 12,75 | 11,56 | 0,33 | 11,23 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | — | — | — |
| 9 | 14,10 | 1,03 | 13,07 | 14,80 | 2,42 | 12,38 | 0,27 | 0,26 | 0,01 | — | — | — |

Слід зазначити, що кінець фільтроциклів для напірного і безнапірного фільтрів визначався неможливістю регулювання швидкості фільтрування на виході. Тобто фільтри виводились на промивку не за “проскакуванням” заліза в фільтрат, а за втратами напору. Це, безумовно, є позитивом з позицій експлуатації. Більшу тривалість фільтроциклів для напірного фільтра можна пояснити більш повним використанням ресурсу фільтра в напірному режимі.

Виходячи з наведеного вище, для знезалізнення води на промисловому водозаборі “Ключарки” продуктивністю 4000 м³/доба запропоновано застосувати чотири фільтри D = 3,2 м зі зміщенням графіка промивок у часі. Саме така станція знезалізнення була впроваджена на іншому водозаборі м. Мукачеве — “Мечнікова”.

Деманганація. Наявність у складі водозабору “Мечнікова” станції знезалізнення надала можливість дослідити особливості роботи наносорбенту в умовах “класичної” двох-ступеневої схеми: “знезалізнення спрощеною аерацією та фільтруванням — деманганація на модифікованому фільтруючому матеріалі”, що відповідає блокам II й III з рис. 1. Як блок II цієї схеми можна розглядати діючі промислові фільтри ФОУ, завантажені природним кліноптилолітом, блока III — пілотний фільтр, завантажений модифікованим кліноптилолітом.

Зведення усереднених результатів головного дослідження, проведеного на водозаборі “Мечнікова” демонструє табл. 4. Видно, що діючі промислові фільтри ФОУ виконують роль як фільтрів деманганації, так і знезалізнення. При середній вихідній концентрації мангану 0,8 мг/дм³ (максимум — 1,26 мг/дм³), вміст мангану у воді, що надходила на пілотний фільтр, в середньому становив 0,26 мг/дм³, тобто зменшився в 3 рази. Останнє є надзвичайно цікавим, оскільки при завантаженні фільтрів першого ступеня застосовувався кліноптилолітовий пісок, не модифікований оксидом мангану, а “заряджений” при знезалізненні та діючий вже протягом 7-ми років. Подібний результат відомий з практики деманганації [8], але нами в умовах України зустрічається вперше.

Цього, звичайно, недостатньо для забезпечення нормативу, але навантаження по мангану на запропонований нами пілотний фільтр стало набагато меншим. З табл. 4 видно, що перший ступень (спрощеної аерації та фільтрування) дозволив значно підвищити концентрацію розчиненого кисню у воді при забезпеченні відносно високого показника рН. Такі сприятливі вихідні умови призвели до зростання фільтроциклу на другому ступені — деманганації до одного місяця. На рис. 3 наведені криві змін концентрацій мангану у фільтраті пілотного фільтра за цей період. І в цьому випадку зафіксований пік погіршення якості фільтрату, аналогічний тим, що мають місце при знезалізненні. Проте цей пік зміщений у часі на 5 діб.

Значна тривалість фільтроциклу засвідчила достатньо високу ефективність кліноптилоліту, модифікованого за методом, описаним у статті [5]. Всього за фільтроцикл на пілотній

Таблиця 4. Показники якості води за фільтроцикл

| Показник якості води, мг/дм ³ | Точка відбору | | |
|--|---------------|-----------------------|----------------------------|
| | вихідна вода | фільтрат фільтрів ФОУ | фільтрат пілотного фільтра |
| Концентрація Mn | 0,80 | 0,26 | 0,04 |
| Концентрація Fe | 0,27 | 0,05 | 0,03 |
| Вміст O ₂ | 0,11/4,31* | 9,4 | 9,4 |
| pH | 7,0–7,8 | 7,2–7,9 | 7,3–7,8 |

* Вихідна вода до/після спрощеної аерації.

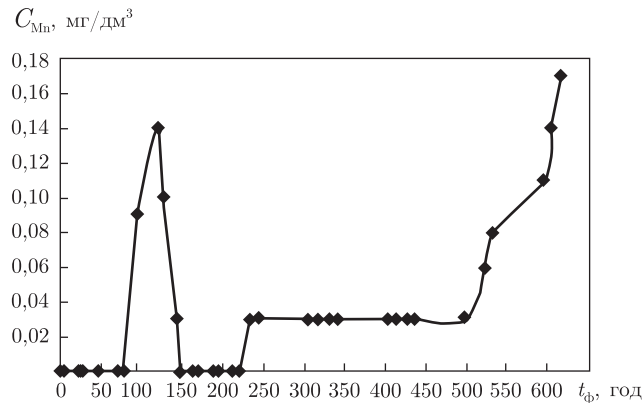


Рис. 3. Динаміка зміни концентрацій мангану під час роботи установки

установці було очищено 185,9 м³ підземної води і затримано 0,72 г Mn(II) на 1 кг матеріалу. За даними наших лабораторних досліджень [5], повна сорбційна ємність модифікованого кліноптилоліту становить приблизно 0,77 г Mn(II) на 1 кг матеріалу. Отже, результати, що отримані в реальних умовах, виявились максимально наближеними до оптимальних.

Таким чином, головним результатом пробного знезалізнення води є підтвердження можливості застосування на промислових водозаборах м. Мукачеве методу спрощеної або глибокої аерації та фільтрування через кліноптилолітове завантаження, як у напірному, так і безнапірному виконанні. Для досягнення надійності водоочищення на станції знезалізнення доцільно встановлювати не менше чотирьох фільтрів, які треба промивати з 0,5... 1-добовим зміщенням у часі.

Дослідження з деманганації підтвердили можливість отримання модифікованого кліноптилоліту безпосередньо в фільтрувальній колоні та його застосування для деманганації підземної води. Фільтрування через це завантаження забезпечило концентрацію мангану в очищеній воді в межах до 0,05 мг/дм³ впродовж 29 діб.

Слід звернути окрему увагу на особливості змін концентрацій мангану у фільтраті під час циклів фільтрування. Початкове погіршення якості очищеної води пояснюється ефектами, пов'язаними зі зміною режиму роботи завантаження з сорбційного на автокаталітичний [7]. В наступних роботах ці ефекти будуть досліджені більш детально. Досліджену схему знезалізнення й деманганації води можна вважати оптимальною для наведених об'єктів — водозаборів м. Мукачеве.

1. Золотова Е. Ф., Асс Г. Ю. Очистка воды от железа, фтора, марганца и сероводорода. – Москва: Стройиздат, 1975. – 176 с.
2. Николадзе Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. – Москва: Стройиздат, 1978. – 120 с.
3. Пат. 95840 Україна, МПК C02F 1/64, C02F 7/00, B01D 24/02. Спосіб очищення підземної води від заліза / О. Ю. Кулішенко, В. Т. Остапенко, В. В. Гончарук та ін. – № 95840; Заявл. 10.02.2010; Опубл. 12.09.2011, Бюл. № 17.
4. Tarasevich Yu. I., Goncharuk V. V., Polyakov V. E. et al. Efficient technology for the removal of iron and manganese ions from artesian water using clinoptilolite // J. Ind. and Eng. Chem. – 2012. – **18**. – P. 1438–1440.
5. Поляков В. Е., Полякова И. Г., Тарасевич Ю. И. Очистка артезианской воды от ионов марганца и железа с использованием модифицированного клиноптилолита // Химия и технология воды. – 1997. – **19**, № 5. – С. 493–505.
6. Тарасевич Ю. И., Поляков В. Е., Иванова З. Г., Крысенко Д. А. Получение и свойства клиноптилолита, модифицированного диоксидом марганца // Там же. – 2008. – **30**, № 2. – С. 159–170.

7. Тарасевич Ю. И., Кулишенко А. Е., Поляков В. Е. и др. Упрощенная модель обезжелезивания и деманганации на клиноптилолитовой загрузке фильтров // Там же. – 2013. – 35, № 2. – С. 98–109.
8. Teodorescu M. Optimizarea deferizarii si demanganizarii apei. – Bucuresti: Tehnica, 1979. – 204 p.

Институт колоїдної хімії і хімії води
ім. А. В. Думанського НАН України, Київ

Надійшло до редакції 30.04.2014

Член-корреспондент НАН України **Ю. И. Тарасевич, А. Е. Кулишенко,
Р. В. Остапенко, Т. В. Кравченко**

Деманганация и обезжелезивание артезианской воды в условиях промышленных водозаборов г. Мукачево (Закарпатская область)

Предложена двухступенчатая схема очистки воды от железа и марганца с применением на первой ступени фильтра с природным клиноптилолитом для удаления основного количества железа, и на второй – фильтра с модифицированным клиноптилолитом для удаления остаточного железа и ионов двухвалентного марганца. Подтверждена возможность применения на водозаборах технологии обезжелезивания, которая заключается в упрощенной или глубокой аэрации с последующим фильтрованием через клиноптилолитовую загрузку как в напорном, так и в безнапорном исполнении. Получение модифицированной диоксидом марганца клиноптилолитовой загрузки осуществлено непосредственно в фильтровальной колонне. Отмечено, что свойства таким образом полученного модифицированного клиноптилолита не отличаются от свойств сорбента, синтезированного в обычных условиях. Показано, что модифицированная загрузка может работать без промывок и регенерации в течение месяца. Предложенная технология была отработана в реальных условиях водозаборов г. Мукачево, Украина.

Corresponding Member of the NAS of Ukraine **Yu. I. Tarasevich, O. Yu. Kulishenko,
R. V. Ostapenko, T. V. Kravchenko**

De-ironing and demanganation of artesian water at industrial water intakes in Mukacheve (Zakarpats'karegion)

A two-step scheme of the artesian water purification from iron and manganese using the first stage filter with natural clinoptilolite to remove the main amount of iron and the second stage filter with modified clinoptilolite to remove the residual iron and manganese divalent ions is proposed. The iron removal technology, which relies on a simplified or deep aeration followed by filtration through clinoptilolite loading either in the pressure or free-flow regime, is shown to be applicable at water intakes. The preparation of a clinoptilolite loading modified by manganese dioxide is implemented directly in the filtration column. The properties of a prepared modified clinoptilolite do not differ from those of the sorbent prepared in usual way. It is shown that the modified loading remains operative without rinsing and regeneration during one month. The proposed technology has been tested under real conditions at water intakes of Mukacheve, Ukraine.