

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ВОДНОГО
ГОСПОДАРСТВА

На правах рукопису

Квартенко Олександр Миколайович



ВИКОРИСТАННЯ ЗАКРІПЛЕНОЇ МІКРОФЛОРИ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ПІДЗЕМНИХ ВОД З ПІДВИЩЕНИМ
ВМІСТОМ ЗАЛІЗА

05.23.04. - Водопостачання, каналізація

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Рівне - 1997

Робота виконана в Українській державній академії водного господарства, м. Рівне

- Науковий керівник - кандидат технічних наук, професор, член-кореспондент Академії будівництва України Сафонов М.А.
- Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор Журба М.Г.
доктор технічних наук, доцент Гіроль М.М.
- Ведуча організація - «Укрводпроект» м. Київ.

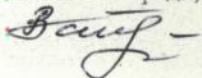
Захист відбудеться «24» квітня 1997 року в «14» годин на засіданні спеціалізованої ради К 17.01.01 при присвоєнні вченого ступеню кандидата технічних наук при Українській державній академії водного господарства /м. Рівне, вул. Соборна, 11/.

З дисертацією є можливість ознайомитись в бібліотеці Української державної академії водного господарства.

Відгук на автореферат прохання надсилати за адресою: 266000, м.* Рівне вул. Соборна, 11, вченому секретарю спеціалізованої ради.

Автореферат розісланий «20» березня 1997 року.

Вчений секретар спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук



В.М.Сівак

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00752297 (W)

Загальна характеристика роботи.

Актуальність теми. Значне зростання водоспоживання і широке будівництво централізованих систем водопостачання по Україні обумовлюють необхідність використання підземних вод, які містять значні концентрації розчинених солей заліза від 0,5 до 8,5 мг/л (а в західних областях країни до 25...30 мг/л) та марганцю від 1 до 3 мг/л. Крім сполук заліза і марганцю в підземних водах міститься ряд інших елементів, які впливають на процес очистки. Це передусім діоксид вуглецю та сірководень. Тому, в сучасних умовах технологічно доцільно при знезалізненні передбачати комплексну очистку підземних вод від різних елементів та сполук, концентрації яких перевищують допустимі норми ГОСТу 2874-82 "Вода питна".

Постановою Кабінету Міністрів України від 14 березня 1992 року N 134 передбачене в період з 1992 до 2000 року широке будівництво централізованих систем водопостачання сільських населених пунктів, які базуються в основному на підземних водах. Виконання затвердженої урядом України державної програми дозволить забезпечити 50% сільського населення централізованим водопостачанням, а в екологічно забруднених районах - 100 %. Але ще досі залишається остаточно не вирішеною проблема знезалізнення підземних вод з високою концентрацією заліза (від 3,0 до 30,0 мг/л).

На думку багатьох вчених світу XXI століття - це століття біотехнології. Проте в процесах очистки природних вод цей вид технології до теперішнього часу ще не отримав належного застосування. На нашу думку, застосування біотехнології в галузі очистки підземних вод призведе до значного покращення роботи водознезалізнюючих установок. З літературних джерел відомо, що автотрофні залізабактерії здатні окислювати гідроксидкарбонат заліза

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

в гідроксид. Для утворення 1 г. нової клітинної маси залізобактерій необхідно окислити близько 279 г. двохвалентних іонів заліза, тому невелика мікробна активність може викликати значне осадження гідроксиду заліза (III).

Для прийняття такої кількості гідроксиду заліза, нами запропоновані спеціальної конструкції біопоглиначі, які розміщуються в водяній подушці освітлювального фільтру, або ж в окремому апараті. В якості носія закріпленої мікрофлори виявилось доцільним застосування модулів із капронової текстурованої джгутової нитки (КТДН), яка має питому поверхню від 2000 до 8000 м²/м³.

Для практичної реалізації біологічної технології знезалізнення підземних вод нами пропонується вискоєфективна водознезалізнююча установка, яка складається з аератора-дегазатора, біопоглинача та освітлювального фільтру з можливістю видалення з води від 3 до 24 мг/л гідрокарбонату заліза, до 2 мг/л марганцю, до 3 мг/л сірководню та до 50 мг/л двоокису вуглецю.

Запропонована нами технологія та установка для очистки підземних вод стали предметом дисертаційних досліджень.

Науков. новизна. Експериментально доведена реальна можливість використання закріпленої мікрофлори для очистки підземних вод з різним фізико-хімічним складом, для чого:

- визначена структурна характеристика капронових текстурованих джгутових ниток та доцільність їх використання для іммобілізації залізобактерій;
- вивчена кінетика процесу окислення гідрокарбонату заліза мікроорганізмами;

- проведені дослідження технології очистки природних підземних вод з високою концентрацією заліза з застосуванням нової технологічної схеми;
- виявлений вплив рН-Ен середовища на життєдіяльність різних родів і груп мікроорганізмів які окислюють залізо та марганець;
- виявлений вплив деяких органічних речовин на процес окислення сполук марганцю при різних його концентраціях в воді яка обробляється;
- визначений ряд активаторів та інгібіторів біологічного окислення;
- розроблені конструкції аератора-дегазатора, модулів самопромивної насадки біопоглинача та освітлювального фільтру;
- виконана математична обробка результатів проведених досліджень процесу біологічної очистки підземних вод, які містять залізо імобілізованими мікроорганізмами, визначені умови її застосування при розрахунку технологічних параметрів процесу;
- складені рекомендації по застосуванню запропонованих нами водознезалізнюючих установок для очистки підземних вод для наступних діапазонів вмісту заліза: від 3.0 до 6.0 мг/л , від 6.0 до 12.0 мг/л, від 12.0 до 24.0 мг/л.

Практична важливість та реалізація результатів роботи.

Розроблена технологічна схема біологічної очистки підземних вод, яка базується на ферментативному окисленні сполук заліза та марганцю імобілізованими на поверхні зануреної насадки мікроорганізмами, більш ефективна в порівнянні з тими, які застосовуються.

Головною перевагою розробленої технології є те, що значно зменшується навантаження на освітлювальні фільтри, за рахунок надходження на них води з попередньо окисленим залізом на модулях насадки біопоглинача. Це призводить до зменшення тривалості промивки та збільшення фільтроциклу.

Одночасно з очисткою води від сполук заліза застосування даної технологічної схеми дозволяє видаляти з води марганець, а також розчинені гази (вільний вуглець, сірководень, аміак). Крім того, застосування нашої технології зменшує ймовірність біообростання водопровідних мереж.

Проведенні дослідження носять теоретичний та прикладний характер. За запропонованою, нами технологією, інститутом «Укрводопроєкт» розроблені проекти станцій знезалізнення продуктивністю 100, 200, 400 м³/доб., з можливістю застосування в якості насадки біопоглинача як мінеральних зернистих, так і синтетичних волокнистих матеріалів.

Сарненський завод «Металіст» Держводгоспу України закресленнями, які виконало НВО «Потенціал-ЕКО» освоїв випуск технологічного обладнання для станцій біологічного знезалізнення підземних вод, які повинні будуватися в Рівненській області.

Мета роботи. Наукове обґрунтування можливості практичного використання закріпленої мікрофлори для очистки підземних вод з підвищеним вмістом заліза. В зв'язку з цим, необхідно було:

- розробити і провести дослідження нової технологічної схеми знезалізнення підземних вод, яка містить модулі з КТДН, які розташовані в біореакторі спеціальної конструкції, та освітлювальні фільтри;

- визначити ефективність і технологічні параметри процесу біологічного знезалізнення підземних вод, коли вони рухаються вздовж волокон модулів КТДН;
- встановити порівняльну характеристику роботи пінополістирольних і пісчаних фільтруючих завантажень при знезалізненні води, після попередньої її обробки на модулях КТДН;
- вивчити кінетику процесу окислення гідрокарбонату заліза та марганцю мікроорганізмами;
- розробити рекомендації щодо застосування запропонованих нами установок для очистки підземних вод.

Апробація роботи. Результати і основні положення роботи були докладені та обговорені на: науково - технічних конференціях «Мікробіологія та біотехнологія очистки води», м. Львів 1989 рік; «Підвищення ефективності використання водних ресурсів в сільському господарстві», м. Новочеркаськ 1989 рік; «Вдосконалення систем водопостачання, водовідведення і очистки стічних вод», м. Рівне 1990 рік; науково-технічній конференції присвяченій 70-річчю УНІВГ, м.Рівне 1993 рік; «Екологічні проблеми раціонального використання та охорони водних ресурсів», м.Вологда 1994 рік; «Маловідходні та енергозберігаючі технології в системі водного господарства» м. Пенза 1995 рік, «Ювілейна науково - технічна конференція професорсько-викладацького складу та студентів інституту, присвячена 50-річчю Перемоги в Великій вітчизняній війні», м. Рівне 1995 рік.

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 14 робіт і подано дві заявки на винахід.

Об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, семи розділів, висновків, бібліографії з 142 назв. Загальний об'єм роботи складає 242 сторінок, в тому числі 57 рисунків та 48 таблиць.

Зміст роботи.

В першому розділі наводиться коротка характеристика сучасного стану якості води в підземних водних джерелах і проведений аналітичний огляд основних методів їх очистки, які застосовуються сьогодні, від сполук заліза та марганцю.

В дисертації розглянуті роботи вітчизняних та зарубіжних дослідників: Клячко В.А., Кульського Л.А., Ніколадзе Г.І., Артеменюка Н.Д., Терювцева В.Е., Перлиної А.М., Балашової Т.В., Асса Г. Ю., Золотової Е. Ф., Сафонова М.А., Руденко Г.Г., Гвоздяка П.І., Кулікова М.І., Олейнік О.Я., Холодного М.Г., Заварзіна Г.А., Горленко В.М., Дубініної Г.А., Холлюти, Нордела, Кітнера т. інших.

За останні 15-20 років дослідники почали звертати увагу на суттєву роль в окислювальних процесах залізобактерій. Термін «залізабакт. рії» введений в науку в 1888 році відомим російським мікробіологом Виноградським С.Н. Технологія перетворення гідрокарбонату заліза в гідрооксид за участю залізобактерій на станціях очистки підземних вод отримала назву біологічного знезалізнення. Ця технологія вперше була застосована в системі водопостачання міста Страсбурга (Франція), при цьому, для закріплення мікрофлори застосовувалось зернисте мінеральне завантаження.

Результати попередніх досліджень процесу біологічного знезалізнення опубліковані Сафоновим М. А. із співавторами в 1984 році (Український інститут інженерів водного господарства)

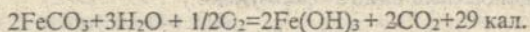
та Хоружим П.Д. із співавторами в 1996 році (Інститут гідротехніки та меліорації УААН).

Для обґрунтування можливості застосування біотехнології для очистки підземних вод, які забираються із свердловин в Північно-Західних областях України і володіють специфічними особливостями якісного складу, необхідно було проведення систематичних досліджень, як в лабораторних, так і в виробничих умовах на природних водах.

В другому розділі приведене теоретичне обґрунтування інтенсифікації процесу очистки природних вод із застосуванням в якості біокатализаторів залізо- та марганцеокислюючих бактерій.

Теоретична передумова запропонованого методу базувалась на відомій здатності автотрофних залізобактерій окислювати гідрокарбонат заліза з використанням енергії, яка при цьому виділяється на свої основні життєві процеси; а також на здатності більшості існуючих мікроорганізмів до виділення в якості одного з продуктів бактеріального метаболізму перекису водню, який утворюється в процесі окислення органічних речовин при переносі електронів по дихальному ланцюгу.

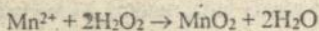
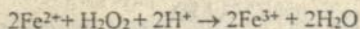
Окислення мікроорганізмів роду *Gallionella* неорганічних сполук споріднене з переносом електронів на цитохроми і призводить до вивільнення невеликої кількості енергії



Нашими дослідженнями, проведеними в лабораторних умовах, підтверджене положення висунуте доктором мікробіологічних наук Дубініною Г.А., про те, що мікроорганізми роду *Leptothrix* виділяють H_2O_2 , який інгібує ріст клітин.

В технології очистки підземних вод доцільно звернути увагу на використання здатності мікроорганізмів утворювати перекис водню, який виділяється з клітин в процесі окислення органічних

речовин і накопичується в навколишніх капсулах для окислення розчиненого в воді заліза та марганцю



Суттєвою особливістю є те, що окислення марганцю за допомогою мікроорганізмів відбувається при тих значеннях рН і Eh, коли хімічне окислення киснем неможливе.

В третьому розділі приведений опис методик та оцінка результатів лабораторних досліджень по очистці підземних вод від сполук заліза та марганцю за допомогою мікрофлори закріпленої на капроновій текстурованій джгутовій нитці. Гігієнічні дослідження проведені д.м.н. Цапко В.В. у Київському науково-дослідному інституті загальної та комунальної гігієни, дозволили обґрунтувати використання капронової нитки у спорудах для забору, очистки, транспортування та зберігання підземної води. На першому етапі дослідження проводились на модельних розчинах, які містять іони заліза в кількості від 3,0 до 60,0 мг/л та марганцю в кількості від 3,0 до 6,0 мг/л.

Лабораторні дослідження дозволили визначити структурні характеристики КТДН (рис. 1) з точки зору використання її в процесі водоочистки і можливості іммобілізації на ній різних видів залізо- і марганцеокислювальних бактерій. Питома поверхня КТДН оцінювалась нами за формулою:

$$S_0 = 4/d, (\text{m}^{-1})$$

де d - діаметр джгутової нитки (м).

Сумарна контактна поверхня КТДН знаходилась за формулою

$$S_2 = \pi d l N, (\text{m}^2)$$

де l - довжина ниток (м), N - кількість ниток на одиницю площі.

Для встановлення можливості іммобілізації залізобактерій на насадці з КТДН було використане спеціальне лабораторне

середовище за методикою професора Виноградського С.Н. Відбір проб показав наявність на поверхні ниток насадки мікроорганізмів роду *Leptothrix ochracea*, *Leptothrix trichogenes*. Наявність обростання носія залізоокислювальними мікроорганізмами ілюструється фотознімками, які отримані за допомогою фотонасадки до мікроскопу. Крім роду *Leptothrix* в лабораторних умовах культивувались мікроорганізми родів *Gallionella* і *Metallogenium*.

В проведених нами дослідженнях по накопиченню залізобактерій роду *Gallionella* використовувалося поживне середовище наступного складу: дистилат 1 л., сірчанокислий амоній 1,5 г., сірчанокислий магній 0,05 г., фосфорокислий калій 0,05 г., двовуглекислий марганець 0,01 г., металеві ошурки 0,5 г., в середовище вносили невелику кількість осаду, утвореного з води свердловини № 7 с.м.т. Рокитне Рівненської області, яка містить велику кількість типових гвинтоподібно закручених стеблин *Gallionella*. Результати досліджень показали, що вже через добу на середовищі спостерігався слабкий ріст мікроорганізмів даного роду, який в подальшому інтенсифікували пропусканням двоокису вуглецю.

Також в роботі ставилося завдання виділення з підземних вод мікроорганізмів, які окислюють, як марганець так і залізо, в залежності від їх присутності в воді.

Виділення колоній мікроорганізмів і грибів проводили в чашках Петрі з використанням середог ша Чапека із стрептоміцином. Виділенні культури пересівали в пробірки на рідке поживне середовище наступного складу: 1 л. дистилату, 7 мг/л $MnSO_4$, $(NH_4)_2SO_4$ - 1,5 г., KCl , K_2HPO_4 - 0,05 г., $Ca(NO_3)_2$ - 0,01 г., 2 мг/л $C_6H_{12}O_6$. Встановлена здатність мікроорганізмів

роду *Leptothrix* окислювати марганець при відсутності в середовищі іонів заліза.

Таким чином, окислення марганцю у нитчастих залізобактерій регулюється інтенсивністю утворення H_2O_2 в дихальному ланцюзі під час окислення органічного субстрату та активністю каталази.

В четвертому розділі приведені методики та результати досліджень в виробничих умовах. Дослідження проводились в два етапа. На першому - на експериментальній установці, розміщеній на станції знезалізнення Рівненського міськводопроводу, побудованій біля с. Горбаків Гощанського району. Технологічна схема: подвійна спрощена аерація - фільтрування. Експериментальна установка являла собою швидкий відкритий фільтр із сталеві труби діаметром 1000 мм. і висотою 4950 мм., в водяній подушці якого розміщувався модуль з капронових текстурованих джгутових ниток (КТДН), висота якого складала 500 мм. при 16 нитках н. 1 см².

Фільтруючий шар - гранітний пісок з граничною крупністю зєр з 1...2 мм. та висотою 700 мм. Параметри експериментальної установки дозволяли проводити фільтрування зі швидкостями від 5 до 15 м/год. Експериментальний фільтр працював паралельно з виробничими на воді, що забиралася із свердловин, пробурених в поймі р. Горинь. Кількість гід карбонату заліза - 3,0 ... 3,5 мг/л, сірководню - 0,12...0,54 мг/л, двоокису вуглецю - 35...42 мг/л. На експериментальному фільтрі було проведено 56 фільтроциклів в різні пори року, 9 із яких з застосуванням модуля КТДН.

Тривалість фільтроциклу на експериментальній установці змінювалась від 65 до 160 годин, при ефекті знезалізнення 85...97%. Тривалість промивки експериментального фільтру становила від 8 до 10 хвилин, виробничих фільтр в 40...60 хвилин.

Співвідношення об'ємів промивної та профільшованої за фільтроцикл води складало для виробничих фільтрів 3,15...4,18%, для експериментального фільтру: без модуля КТДН 8,1...9,3%, з модулем КТДН- 0,7...1,2%.

Ефект очистки підвищувався по мірі утворення на нитках модуля біоплівки. Якість фільтрату досягала норм ГОСТу 2874-82 через 17...44 години на виробничих фільтрах I-ї черги, через 15...20 годин на виробничих фільтрах II-ї черги, а на експериментальному фільтрі через 20...30 хвилин.

Результати одного з характерних фільтроциклів представлені на рис. 2.

На другому етапі дослідження проводились на експериментальній установці яка була змонтована в приміщенні станції знезалізнення води в селищі міського типу Рокитне Рівненської області.

Дана установка складалась з аератора-дегазатора двох фільтрів I-го ступеню та двох фільтрів II-го ступеню. Аератор-дегазатор був виконаний із сталевий труби діаметром $D=262$ мм та висотою $H=4500$ мм. В нижній частині колони був змонтований повітророзподільний пристрій для впуску та диспергування стисненого повітря з діаметром отворів 2 мм. На повітророзподільному пристрої були вмонтовані три ежекційні трубки $d=15$ мм., $h=1200$ мм. Простір аератора-дегазатора між ежекційними трубками заповнювався на висоту 1000 мм. кільцями Рашига. В верхній частині аератора-дегазатора розташовувався модуль зануреної насадки з КТДН висотою яко регулювалася в межах від 500 до 1000 мм. при 16 нитках на 1 см^2 . Фільтри I-го ступеню були виготовлені зі сталевих труб з $d=150$ мм. і висотою $h=4000$ мм.

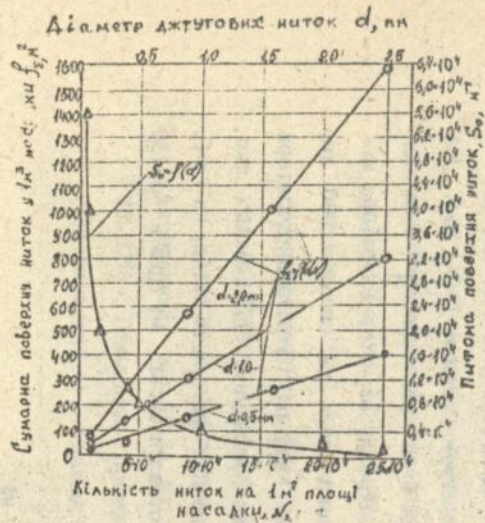


Рис.1 Структурна характеристика КТДН.

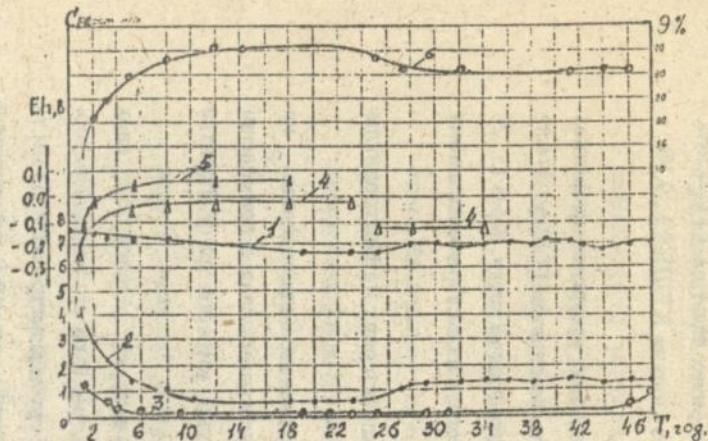


Рис.3 Результати експериментальних досліджень процесу знезалізнення води на сфердвопних с.м.т. Рокітніо.

Вміст заліза: 1 - в вихідній воді; 2 - після аератора-дегазатора з модулем КТДН; 3 - після пінополістирольного фільтру;

Зміна величини окислювально - відновлювального потенціалу після: 4 - аератора-дегазатора; 5 - пінополістирольного фільтру; 6 - ефект знезалізнення після аератора-дегазатора.

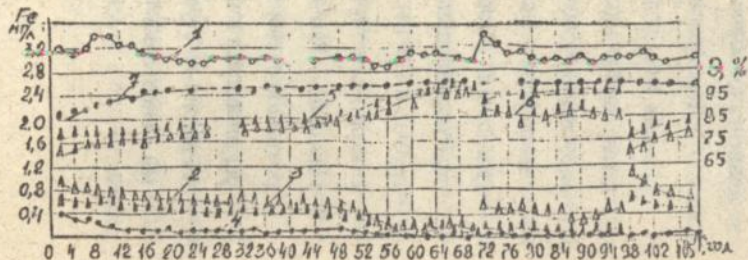


Рис.2 Результати порівняльних досліджень роботи виробничих та експериментального з модулем КТДН водознезалізнюючих фільтрів.

Вміст заліза в: 1 - в вихідній воді, мг/л; 2 - після виробничих фільтрів I-ї черги; 3 - після виробничих фільтрів II-ї черги; 4 - після експериментального фільтру з модулем КТДН. Ефект знезалізнення на: 5 - фільтрах I-ї черги; 6 - фільтрах II-ї черги; 7 - експериментальному фільтру.

Фільтри II-го ступеню також виготовлялись із сталевих труб $d=150$ мм., висотою $h=2000$ мм. На даній експериментальній установці було проведено 35 фільтроциклів. Виробнича станція знезалізнення води була обладнана компресором і ресивером, що дозволяло при проведенні дослідів застосовувати як спрощену, так і глибоку аерацію води.

В виробничих умовах дослідження проводились на підземній воді св. № 7 с.м.т. Рокитне з вмістом загального заліза $6...8$ мг/л, розчиненого кисню $0,1...0,15$ мг/л, двоокису вуглецю $70...80$ мг/л, з температурою $8...10$ °С, $pH=6.8$, $Eh=-0,8...-0,5$ В.

При барботуванні вихідної води в аераційній колоні стисненим повітрям, в кількості $2...4$ м³ на 1 м³ води спостерігалось підвищення рН вихідної води з $6,68...6,7$ до $6,80...6,85$, а також збільшення окислювально-відновлювального потенціалу від $-0,7...-0,65$ В на вході до $+0,3...+0,6$ після фільтрів II-го ступеню. В завантаженні фільтрів створювалось окислювальне середовище, яке інтенсифікувало окислення гідрокарбонату заліза та приводило до кальматації завантаження.

Встановлено, що при закріпленні в верхній частині аератора-дегазатора зануреного модуля, ефект очистки на цьому апараті збільшується до $32...38\%$ на протязі вже перших $10...12$ годин роботи, на $3...4$ добу нитки покривались тонким шаром слизистої біоплівки, а на сьому добу ефект очистки досягав $50...57\%$. Швидкість фільтрування підтримувалась в межах $9,8...10,5$ м/год.

Наші експерименти показали, що через $15...17$ днів після розміщення насадки в аераторі-дегазаторі ефект очистки складав біля 70% , що значно полегшувало роботу освітлювальних фільтрів. Через $30...35$ днів ефективність роботи колоні досягала $80...95\%$.

В подальшому дослідження проводились з використанням пінополістирольного фільтру з крупністю фракцій 0,63...2,0 мм. і висотою шару $h=0,6$ м. Результати одного з фільтроциклів наведені на рис. 3.

Дані, отримані при очищенні води з концентрацією заліза до 24 мг/л на біопоглиначі, з наступним двоступеневим фільтруванням на пінополістирольних фільтрах, вказують на стабільний ефект очистки. Вміст заліза в фільтраті після II-ступеню не перевищував норм 0,3..0,5 мг/л.

Проте слід відмітити, що досягнення стабільної роботи водознезалізнюючої установки стало можливим після розміщення модуля з КТДН в окремій колоні з осадовою частиною та наступним фільтруванням води на пінополістирольному фільтрі. В таких умовах, потік рідини який проходить повз волокна біопоглинача, може бути розглянуто за аналогією з рухом рідини у тонкошарових апаратах. По мірі обростання КТДН продуктами метаболізму залізобактерій, зменшується живий перетин потоку, що призводить до збільшення швидкості руху води. Це обумовлює відрив наростів $Fe(OH)_3$ від поверхні КТДН та їх вимивання в осадову частину апарату. Таким чином досягається самопромивка насадки біопоглинача. По даних таб. 1 видно, що при видаленні з підземної води заліза в кількості більше 10 мг/л із застосуванням спрощеної аерації і фільтрування, відбувається різке зниження рН води та зростання її корозійної активності. Належний ефект очистки води досягається з використанням глибокої аерації, біопоглинача та пінополістирольного фільтру (Рис. 4.В).

Було встановлено, що при збільшенні Eh від 0,5 до 0,65 В роль біологічного фактора окислення сполук заліза знижувалась.

Таким чином, при очищенні підземних вод характерних для західних областей України, зона оптимальних умов для

життєдіяльності бактерій відрізняється від підземних вод в інших регіонах і знаходиться в межах окислювально-відновлювального потенціалу від -0,1 до 0,45 В, рН=6,5...7,5 для заліза і до 8,3 для марганцю.

Таблиця 1.

№ дослідів	Показники якості вихідної води		Ефективність очистки води на спорудах			
	Назва	Величини	Після аератора-дегазатора	Після біопоглинача $S_p=800 \text{ м}^2$	Після фільтру I-го ступеню	Після фільтру II-го ступеню
1	2	3	4	5	6	7
1	Залізо, мг/л	12,1...32,4	-	-	4,4...6,5	0,3...0,5
	рН	6,0...6,3	-	-	5,5...5,8	3,8...5,5
2	Залізо, мг/л	5,7...8,2	0,57...1,64*	-	-	0,06...0,18
	рН	6,5...6,75	6,74...6,89	-	-	6,7...6,75
	Eh, В	-0,74...-0,6	-0,18...-0,07	-	-	-0,1...0,05
3	Залізо, мг/л	12,1...16,7	5,5...8,85*	-	1,8...4,3	0,08...0,25
	рН	6,24...6,3	6,30...6,40	-	6,12...6,21	6,04...6,08
	Eh, В	0,1...0,25	0,30...0,50	-	0,44...0,72	0,75...1,05
4	Залізо, мг/л	12,5...17,4	10,5...15,0	4,2...6,4	-	0,15...0,28
	рН	6,21...6,25	6,35...6,40	6,15...6,25	-	6,05...6,17
	Eh, В	0,12...0,25	0,40...0,45	0,57...0,65	-	0,75...0,89
5	Залізо, мг/л	19...24	16,4...21,5	4,1...6,75	-	0,24...0,45
	рН	6,15...6,20	6,3...6,44	6,1...6,17	-	6,02...6,08
	Eh, В	0,10...0,15	0,35...0,45	0,5...0,55	-	0,7...0,78

- відсутність елемента в технологічній схемі;

* наявність в аераторі-дегазаторі модуля КТДН.

В п'ятому розділі приведені результати математичної обробки даних, отриманих в результаті досліджень процесу біологічного знезалізнення природних вод з вмістом заліза від 5 до 8,5 мг/л і Eh = -0,75...- 0,55 В та для вод з вмістом заліза від 10 до 24 мг/л та Eh=0,1...0,15 В.

За результатами експериментів складені рівняння регресії в вигляді полінома I-го ступеню в кодованих та фізичних змінних.

1. Для води з вмістом заліза від 5 до 8,5 мг/л:

$$Y = 60.69 + 0.54X_1 + 14.84X_2 - 3.74X_3 + 2.54X_1X_2 - 1.09X_2X_3;$$

$$\Theta = 80.3 + 3.3Fe + 31.3Eh - 1.1v + 8.5FeEh - 1.09vEh;$$

2. Для вод з вмістом заліза від 10 до 24 мг/л:

$$Y = 61.04 - 1.54X_1 - 7.71X_2 - 4.79X_3 - 0.79X_2X_3;$$

$$\Theta = 94.5 - 0.4Fe - 35.6Eh - 0.6v - 1.05vEh.$$

При розв'язанні рівняння (1) чітко видно зниження ефекту очистки у всіх діапазонах швидкостей при Eh нижче - 350 мВ і підвищення ефективності в діапазоні від -0,3 до 0,1 В. Зниження ефективності очистки на 20 % при збільшенні редокс потенціалу від 0,2 до 0,5 В, вказує на наявність верхнього бар'єру проникності кліткової мембрани.

Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили нам застосувати наступну формулу для визначення висоти модуля біопоглинача:

$$H = q_r(C_{\text{поч}} - C_{\text{кін}}) / k_1 a^x S_{\text{пит}} \Delta C_{\text{ср}} \quad (\text{м}),$$

де q_r - гідравлічне навантаження ($\text{м}^3/\text{м}^2\text{доб}$); $C_{\text{поч}}, C_{\text{кін}}$ - початкова, кінцева концентрації $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ($\text{г}/\text{м}^3$); k_1 - коефіцієнт масопередачі по кисню в системі, поживний субстрат - клітина ($\text{м}/\text{год}$); a^x - економічний коефіцієнт; $S_{\text{пит}}$ - питома поверхня насадки (м^{-1}); $\Delta C_{\text{ср}}$ - середня сила завдяки якій рухається процес ($\text{г}/\text{м}^3$);

В шостому розділі представлені схеми апаратів продуктивністю від 5 до 100 $\text{м}^3/\text{год}$ для очистки підземних вод з вмістом заліза:

а) від 3,0 до 6,0 мг/л; б) від 6,0 до 12,0 мг/л; в) від 12 до 24 мг/л (рис.4).

Застосування рекомендованих схем та нових конструкцій водоочисних апаратів можливе при наступних показниках якості

вихідної води: залізо від 3 до 24 мг/л, марганець від 0,5 до 0,8 мг/л, сірководню до 3 мг/л, двоокису вуглецю до 70...80 мг/л.

Крім того їх застосування дозволяє:

- попередити розвиток залізобактерій в системі трубопроводів та інших спорудах водопроводу;
- відмовитись від застосування запірно-регулюючої арматури промивних насосів;
- значно скоротити об'єм промивних вод та збільшити тривалість фільтроциклу.

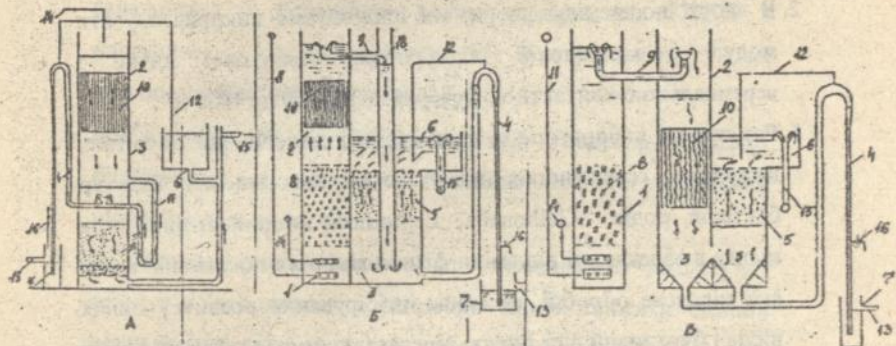


Рис 4 Схеми автоматизованих установок для знезалізнення підземних вод з використанням закритого мікроаери.
 А - для вод з вмістом заліза від 3,0 до 6,0 мг/л, Б - для вод з вмістом заліза від 6,0 до 12,0 мг/л, В - для вод з вмістом заліза від 12 до 24 мг/л.

- 1 - аератор-дифузтор, 2 - камера біологічна, 3 - осадочна частина, 4 - промивний сифон,
- 5 - освітлювальний фільтр, 6 - бак збору промивної води, 7 - гідрозатор, 8 - насадка аератора,
- 9 - розподільна трубка; 10 - насадка із КТДП, 11 - подача стисненого повітря, 12 - труба зливу вакууму, 13 - трубопровід відводу відрізняючих промивних вод, 14 - трубопровід подачі вихідної води, 15 - трубопровід відводу фільтрата, 16 - повітрявпускний кран або клапан,
- 17 - трубопровід, який з'єднує осадочну частину з освітлювальним фільтром, 18 - неретпуский трубопровід.

В цьому розділі виконане техніко-економічне порівняння варіантів запропонованих установок біологічної очистки підземних вод, а також установок типу «Струя» (без використання реагентів та з їх застосуванням).

Результати виконаних розрахунків показали, що застосування моноблочних установок біологічної очистки підземних вод дозволяє на 15...30 % зменшити приведені затрати при вмісті заліза в вихідній воді до 8 мг/л, на 12...25 %, при його вмісті від 8 до 20 мг/л.

Висновки.

1. Для інтенсифікації процесу очистки підземних вод з високою концентрацією заліза нами пропонується використовувати біопоглиначі з закріпленою мікрофлорою, які володіють здатністю самопромивки та малим гідравлічним опором.
2. В якості носія мікрофлори, ми пропонуємо використовувати модулі з капронової текстурованої джгутової нитки з вертикальною контактною поверхнею від 500 до 1000 м².
3. Результати лабораторних досліджень показали, що на різних поживних середовищах відбувається накопичення культур бактерій родів *Gallionella*, *Leptothrix*, *Mettallogenium*, при цьому в залежності від зміни фізико-хімічних показників води, яка підлягає обробці, можливе інгібування розвитку одних видів і бурхливий ріст інших, при загальному постійному ефекті очистки.
4. Встановлені оптимальні значення рН - Eh середовища для розвитку мікрофлори, показана висока швидкість біогенного окислення Fe і Mn природньою мікрофлорою яка знаходиться в підземних водах і інтенсивно розвивається в середовищі біопоглиначів.
5. Розміщення модулів з КТДН з закріпленою мікрофлорою в товщі води над фільтруючим завантаженням або в спеціальному апараті з осадовою зоною, дозволяє значно знизити грязьове навантаження на освітлювальні фільтри.

6. Математичною обробкою дослідних даних отримані експериментально-статистичні моделі процесу біологічного процесу знезалізнення підземних вод різного фізико-хімічного складу.
7. Запропоновані наступні технологічні схеми для очистки підземних вод від сполук заліза та марганцю:
- при вмісті заліза в вихідній воді від 3,0 до 6,0 мг/л - спрощена аерація - обробка води в контактній камері з біопоглиначем - освітлення води на пісчаному, або пінополістирольному фільтрах;
 - при вмісті заліза від 6,0 до 12,0 мг/л - блок споруд який складається з аераційної колони з модулем КТДН з наступним одноступеневим фільтруванням на пінополістирольному фільтрі;
 - при вмісті заліза від 12,0 до 24,0 мг/л - аератор-дегазатор, біопоглинач, з осадовою частиною та освітлювальний пінополістирольний фільтр.
8. За нашими рекомендаціями та методиками розрахунку інститут «Укрводпроект» розробив типові проекти станцій знезалізнення підземних вод продуктивністю 100, 200, 400 м³/добу з можливістю використання в якості насадки біопоглинача як зернистих так і синтетичних волокнистих матеріалів.
9. Виготовлення перших зразків технологічного обладнання для станції біологічного знезалізнення підземних вод, за кресленнями які виконало НВО «Потенціал» налагоджено на Сарненському заводі «Металіст» Держводгоспу України. Впровадження даного обладнання здійснюється на об'єктах водопостачання які запроектовані для будівництва в Черкаській та в Рівненській областях.

10. На технічні рішення за запропонованою нами технологією подано дві заявки на винахід, які пройшли попередню експертизу та отримали тимчасовий правовий захист.
11. Техніко - економічними розрахунками встановлено, що застосування запропонованих нами установок біологічної очистки підземних вод дозволяє на 15...30% зменшити приведені затрати в порівнянні з відомими установками. Це досягається завдяки застосуванню високоєфективних біопоглиначів з закріпленою мікрофлорою, а також гідроавтоматичних установок без застосування запірно-регулюючої арматури та промивних насосів.

Основний зміст відображень в наступних публікаціях:

1. Квартенко О.М. Вибір оптимальної технологічної схеми очистки підземних вод з підвищеним вмістом заліза. Тез. доп. конф./листопад 1992 / Рівне, с. 7-8.
2. Квартенко О.М., Знезалізнєння підземних вод з застосуванням іммобілізованих залізобактерій /Брошюра/. Рівненський ЦНП. Рівне, 1993.-12 с.
3. Квартенко А.Н., Сафонов Н.А. Использование закрепленной микрофлоры для работы водообезжелезивающих фильтров в кн. Экологические проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов. Материалы научно-технической конференции /4...6 октября 1994/ г. Вологда, с.21-22.
4. Квартенко О.М., Сафонов М.А. Очистка природных вод різного фізико-хімічного складу від сполук Fe та Mn з використанням закріпленої мікрофлори. Тез. доп. науково-технічної конференції /27 березня - 15 квітня 1995 року/ м. Рівне.
5. Квартенко О.М. Технологія біологічного знезалізнєння підземних вод. // Будівництво України.- 1997.- № 2.
6. Сафонов Н.А., Квартенко А.Н. Технология и установки для биологического обезжелезивания подземных вод, в кн. Микробиология и биотехнология очистки воды.Тез. докл. конф./ 18-22 сентября 1989 года / Киев - с.37-39.
7. Сафонов Н.А., Квартенко А.Н. Технология и установки для обезжелезивания подземных вод, Ровенской области в кн. Повышение эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве.Тез. докл. конф. / 25-29 сентября 1989 года / Новочеркасск, - с. 152.
8. Сафонов Н.А., Квартенко А.Н. Интенсификация процессов очистки подземных вод содержащих повышенные концентрации железа и железобактерий, в кн. Совершенствование систем водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод.Тез. докл. конф. /28-29 ноября 1990 року / Ровно, с.11-12.
9. Технологическая схема очистки подземных вод с небольшим содержанием железа. Сафонов Н.А., Квартенко А.Н. / Инф. листок № 69-91. Сер. Эксплуатация водопроводно-канализационных систем и подготовка питьевой воды. Ровно, 1991.

10. Сафонов М.А., Квартенко О.М. Станції біологічного знезалізнєння підземних вод для систем сільськогосподарського водопостачання. Тез. Доп. конф. / листопад 1992/ Рівне, с.17-18.
11. Новая технологическая схема биохимической очистки подземных вод. Сафонов Н.А., Квартенко А.Н. / Инф. листок № 47-92. Сер. Эксплуатация водопроводно-канализационных сетей и подготовка питьевой воды. Ровно, 1992.
12. Сафонов Н.А., Квартенко А.Н. Биологическое обезжелезивание природных вод различного целевого назначения, в кн. Малоотходные и энерго-сберегающие технологии в системе водного хозяйства. Тез. межгосударственной научно-технической конференции / 21-22 марта 1995 года/ г.Пенза.

Квартенко А.Н. Использование закрепленной микрофлоры для очистки подземных вод с высокой концентрацией железа.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04 - Водоснабжение, канализация. Украинская государственная академия водного хозяйства. Ровно 1997.

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработана новая технология и аппараты для очистки подземных вод с концентрацией железа от 3 до 24 мг/л, путем применения биопоглочителей с закрепленной микрофлорой, катализирующей процесс превращения гидрокарбоната железа в гидрооксид.

Обоснована целесообразность применения для иммобилизации микрофлоры капроновых текстурированных жгутовых нитей. Установлены оптимальные параметры процесса, разработана методика расчета и предложены рекомендации на проектирование и конструирование водоочистных аппаратов применительно к гидрохимическим условиям Северо-Западного региона Украины.

Ключевые слова: биоокисление, железобактерии, биопоглочитель, волокнистые насадки.

Kvartenko A. N. Application of Fixed Microflora for Purification of Underground Water with Iron Concentration.

The thesis of the academic degree of candidate in engineering science, speciality of 05.23.04 - water supply, canalization. Ukrainian State Academy of Water Management. Rovno, 1997.

A new technology and apparatus for purification of underground water with iron concentration 3 ... 24 p. p. m. by application of bioabsorbers with fixed microflora that catalyses the process of transformation iron hydrocarbonate into hydroxide were worked in consequence of carried out theoretical and experimental research. Expedient immobilization of textured kapron braided filaments application for microflora immobilization is grounded out.

The optimal parameters of the process are determined, the methods of calculation and designing of watertreatment apparatus are developed apply to the hydrochemical conditions of the North-Western Ukraine regions.

Key words: biooxidation, ironbacterias, bioabsorbers, fibrous packing.

4025263
АВ 37.263

Підписано до друку 14.03.97.
Формат 60x84 0 I/16 Обсяг 1.0 др.арк.
Замовлення 908 Тираж 100 примірн.

Рівне, УДБГ, Собрна, II