

УДК 628.16 : 579.69

**Кравченко О. В.** (Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ ЗАЛІЗО- ТА МАРГАНЕЦЬОКИСНЮЮЧИХ БАКТЕРІЙ У ПРИРОДНИХ БІОЦЕНОЗАХ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ЦИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**Установлено наявність синергетичних взаємодій у біоценозах фільтрів знезалізнення та деманганації води. Доведено доцільність використання саме біоценозів мікроорганізмів, а не окремих культур для заселення завантаження фільтрів для знезалізнення та деманганації води.**

**Ключові слова:** біоценоз, цеоліт, залізо- та марганецьокиснюючі бактерії.

### **Вступ**

Залізо- та марганцевмісні підземні води зустрічаються практично у всіх регіонах України. Концентрація цих елементів коливається у дуже широкому діапазоні і подекуди сягає 20-30 та 5-6 мг/дм<sup>3</sup> відповідно.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Автори [1-4] згодні з тим, що на фільтрах з цеолітовим завантаженням відбувається ефективне вилучення заліза та марганцю із води. Зазвичай технологія знезалізнення та деманганації передбачає окислення сполук заліза та марганцю з подальшим відділенням утвореного осаду на фільтрах.

У попередніх дослідженнях [5] показано роль чистих культур мікроорганізмів при очищенні води від заліза та марганцю. Отримані чисті культури залізо- та марганецьокиснюючих мікроорганізмів віднесено до шести родів: *Siderocapsa*, *Leptothrix*, *Sphaerotillus*, *Galionella*, *Metallogenium*, *Hyphomicrobium*.

При визначенні активності виділених мікроорганізмів було помічено, що не всі чисті культури здатні закріплюватись та розвиватись на цеолітовому завантаженні фільтру і, як наслідок, видаляти залізо і марганець на цеолітовому завантаженні фільтру. Деякі культури р. *Siderocapsa*, р. *Galionella*, р. *Hyphomicrobium* росли на середовищі без заліза, що може свідчити про здатність цих бактерій видаляти залізо в асоціації з іншими мікроорганізмами.

Використання природних біоценозів широко застосовується у практиці біологічного очищення стічних вод. Мікроорганізми очищують стічні води у вигляді біоценозу активного мулу в аеротенках або у закріпленому стані на біофільтрах [6].

Саме тому, у проведених експериментах ми акцентували увагу на дослідженні ролі біоценозів залізо- та марганцевоокиснюючих бактерій у процесі вилучення заліза та марганцю із води. Вивчення складу біоценозів та визначення ефективності видалення ними заліза та марганцю дасть змогу зробити процес очищення води більш контрольованим, а в подальшому – удосконалити існуючі технології знезалізнення та деманганації питної води.

### **Постановка задачі**

Метою роботи є визначення доцільності застосування біоценозів залізо- та марганцевоокиснюючих бактерій для підготовки питної води. Для досягнення мети необхідно було розробити методику кількісного порівняння різних видів мікроорганізмів, визначити склад природних біоценозів завантаження фільтрів для знезалізнення та деманганації і їх вплив на якість води.

### **Матеріали і методи**

Об'єктом дослідження були проби води та завантаження фільтрів пілотної свердловини у м. Володарськ-Волинський та з працюючої очисної станції знезалізнення у м. Фастів.

Якість води із свердловини, що знаходиться у м. Володарськ-Волинський, та води з працюючої очисної станції знезалізнення у м. Фастів наведено у табл. 1. На період відбору проб вміст заліза знаходився у межах 16-22 мг/дм<sup>3</sup>, а марганцю – 1,9-2,2 мг/дм<sup>3</sup>. На свердловині встановлені пілотні установки – фільтри з цеолітовим завантаженням. Відбір проб проводили на 10, 20 та 25 добу від початку фільтроциклу.

На період відбору проб на очисній станції знезалізнення у м. Фастів вміст заліза знаходився у межах 4,0-5,0 мг/дм<sup>3</sup>. На водоочисну станцію вода подається із ряду свердловин, тому проби були відібрані із діючих фільтрів для знезалізнення та деманганації протягом 3 днів: 11.05.2014, 08.06.2014 та 08.08.2014.

Відбір проб із завантаження фільтрів з обох свердловин здійснювали за допомогою набору для відбору проб ART'S MFG & Supply (American Falls, USA) з використанням бурава для мулу.

Для кількісної оцінки мікроорганізмів у складі біоценозів застосовували підрахунок мікроорганізмів у камері Горяєва з попереднім зафарбовуванням оксидів заліза та марганцю. Також проби попередньо розводили так, щоб у квадрати камери Горяєва потрапили 100 мікроорганізмів з метою визначення процентного складу кожного виду залі-

зо- та марганецьокиснюючих бактерій у біоценозі (1:100). Мікроорганізми класифікували за морфологією на групи: р. *Siderocapsa*, р. *Leptothrix*, р. *Sphaerotillus*, р. *Galionella*, р. *Metallogenium*, р. *Nyphomicrobium* та інші (такі, що не відносяться до залізо- та марганецьокиснюючих бактерій).

Таблиця 1

Характеристика якості води

Показник, одиниці вимірювання	Свердловина у м. Володарськ-Волинський	Станція знезалізнення у м. Фастів
	Значення у перший день експерименту	Значення на 11.05.2014
Запах, бали	0	0
Забарвленість, градуси	0	0
Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>	<0,1	1,7
Водневий показник, од. рН	7,1	7,3
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	17	4,0
Загальна жорсткість, ммоль/дм <sup>3</sup>	8,0	7,3
Загальна лужність, ммоль/дм <sup>3</sup>	5,3	5,5
Аміак, мг/дм <sup>3</sup>	<0,05	0,21
Нітриди, мг/дм <sup>3</sup>	<0,003	0,018
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	11,9	9,7
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	2,2	0,8
Фтор, мг/дм <sup>3</sup>	0,92	-
Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	<0,02	0,5
Молібден, мг/дм <sup>3</sup>	<0,002	<0,02
Миш'як, мг/дм <sup>3</sup>	<0,02	<0,002
Свинець, мг/дм <sup>3</sup>	<0,01	<0,02
Селен, мг/дм <sup>3</sup>	<0,001	<0,01
Стронцій, мг/дм <sup>3</sup>	1,4	<0,0005
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	<0,005	1,4
Берилій, мг/дм <sup>3</sup>	<0,0002	<0,005
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	24,5	<0,0001
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	-	23
Окиснюваність, мг/дм <sup>3</sup>	-	133

Також вимірювали загальне мікробне число на грам завантаження

фільтру за стандартною методикою і перераховували вміст кожного із родів мікроорганізмів у біоценозі за формулою:

$$n = \frac{x \cdot 3МЧ}{100},$$

де  $n$  – кількість мікроорганізмів у завантаженні фільтрів, КУО/г;

$x$  – кількість клітин у камері Горяєва, кл.

Модельні розчини з концентрацією марганцю 2 мг/дм<sup>3</sup> без заліза та з концентрацією заліза 10 мг/дм<sup>3</sup> без марганцю використовували для перевірки можливості розвитку мікроорганізмів в залежності від складу поживного середовища.

Залишкові концентрації заліза та марганцю вимірювали, користуючись загальноприйнятими методиками згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»: Fe (II) – с 2,2–дипіридиллом; загальний вміст марганцю – фотокolorиметрично згідно ГОСТ 4974-72 (метод В).

#### **Результати та їх обговорення**

Результати вимірювання ЗМЧ та підрахунку мікроорганізмів за допомогою камери Горяєва у завантаженні фільтрів, що очищають воду із свердловини у м. Володарськ-Волинський та у завантаженні фільтрів зі станції знезалізнення у м. Фастів, наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Видовий склад біоценозу завантаження фільтрів

Час відбору проб, доба	ЗМЧ, КУО/г	Роди мікроорганізмів						
		<i>Leptothrix</i>	<i>Sphaerotillus</i>	<i>Metallogenium</i>	<i>Siderocapsa</i>	<i>Gaionella</i>	<i>Hyphomicrobium</i>	Інші
10	4850	11	3	5	8	1	-	72
20	12200	17	6	3	3	3	2	66
25	12050	16	6	3	3	3	2	67
11.05.2014	11000	24	3	7	10	-	-	56
08.06.2014	10500	22	4	10	11	-	1	52
08.08.2014	10500	23	4	10	10	-	-	53

За даними табл. 2 розраховано кількість кожного виду мікроорганізму на завантаженні фільтрів (табл. 3).

Таблиця 3

Кількість мікроорганізмів у завантаженні фільтрів

Час відбору проб, доба	Роди мікроорганізмів, КУО/г						
	<i>Leptothrix</i>	<i>Sphaerotillus</i>	<i>Metallogenium</i>	<i>Siderocapsa</i>	<i>Galtonella</i>	<i>Hyphomicrobium</i>	Інші
10	534	146	243	388	49	0	3492
20	2074	732	366	366	366	244	8052
25	1928	723	362	362	362	241	8074
11.05.2014	2640	330	770	1100	-	-	6160
08.06.2014	2310	420	1050	1155	-	105	5460
08.08.2014	2415	420	1050	1050	-	-	5565

Видовий склад залізо- та марганецьокиснюючих мікроорганізмів (за табл. 3, розрахований у відсотках від загальної кількості бактерій) завантаження фільтрів, що очищують воду із свердловини у м. Володарськ-Волинський, наведено на рис. 1.

Як видно з рис. 1, протягом усього експерименту у біоценозі переважали мікроорганізми р. *Leptothrix* – їх кількість коливалась у межах 11-17% від загальної кількості мікроорганізмів та р. *Siderocapsa* – їх кількість становила 3-8% від загальної кількості мікроорганізмів. Частка мікроорганізмів р. *Sphaerotillus* від 3% на початку експерименту збільшилась до 6% на 20 добу та збереглась до кінця експерименту (25 доба). Інші роди залізо- та марганецьокиснюючих організмів були представлені у меншій кількості – від 2 до 5%.

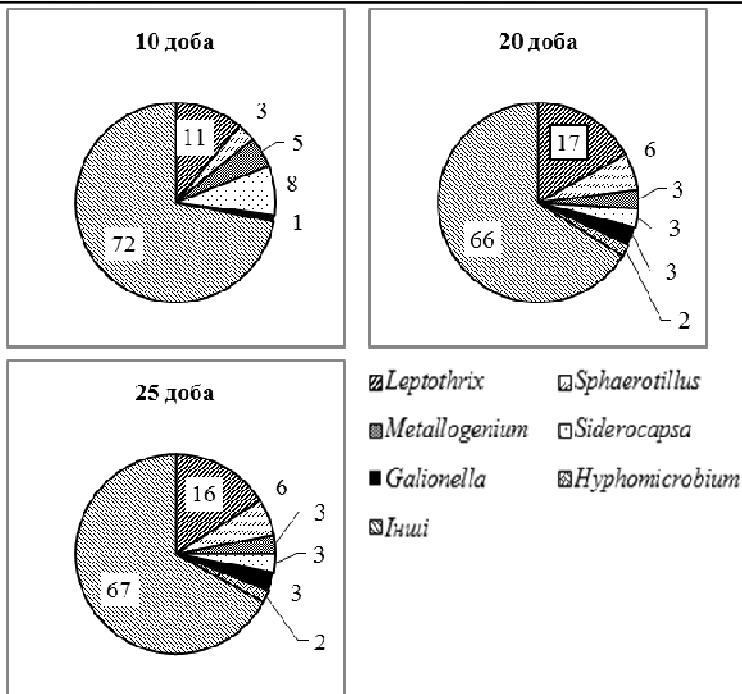


Рис. 1. Видовий склад (у відсотках) залізо- та марганецьокиснюючих мікроорганізмів у завантаженні фільтрів, що очищають воду зі свердловини у м. Володарськ-Волинський

Видовий склад залізо- та марганецьокиснюючих мікроорганізмів згідно табл. 3 (розрахований у відсотках від загальної кількості бактерій) на завантаженні фільтрів зі станції знезалізнення у м. Фастів наведено на рис. 2.

Як видно з рис. 2, протягом усього експерименту у складі біоценозу завантаження фільтрів зі станції знезалізнення у м. Фастів, як і у завантаженні фільтрів зі свердловини у м. Володарськ-Волинський, переважали мікроорганізми р. *Leptothrix* – їх кількість коливалась у межах 22-24% від загальної кількості мікроорганізмів та р. *Siderocapsa* – їх кількість становила 10-11% від загальної кількості мікроорганізмів. На відміну від біоценозу завантаження фільтрів зі свердловини у м. Володарськ-Волинський, у складі біоценозу завантаження фільтрів зі станції знезалізнення у м. Фастів високу частку мікроорганізмів становили представники р. *Metallogenium* – 10-11%.

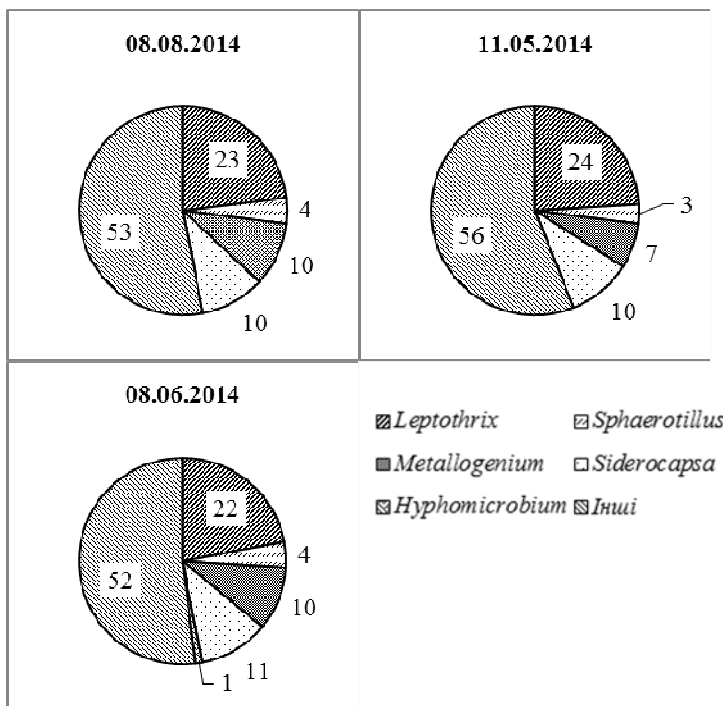


Рис. 2. Видовий склад залізо- та марганецьокиснюючих мікроорганізмів у завантаженні фільтрів зі станції знезалізнення у м. Фастів, %

На рис. 3 наведено динаміку видалення заліза та марганцю протягом експериментів у співставленні з видовим складом залізо- та марганецьокиснюючих мікроорганізмів у завантаженні фільтрів зі свердловини у м. Володарськ-Волинський.

Розвиток представників р. *Metallogenium* у складі біоценозу пов'язаний із більш ефективним проходженням видалення марганцю із води. Дійсно, ефективність видалення марганцю на фільтрах зі станції знезалізнення у м. Фастів була вищою і коливалась у межах 91-92% (рис. 4), в той час як на фільтрах у м. Володарськ-Волинський ефективність видалення марганцю не перевищувала 84% (рис. 3).

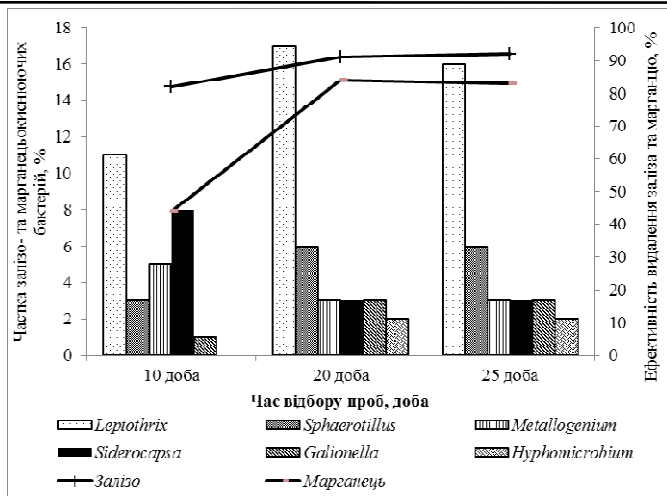


Рис. 3. Динаміка ефективності видалення заліза та марганцю біоценозом мікроорганізмів та його розвиток (м. Володарськ-Волинський)

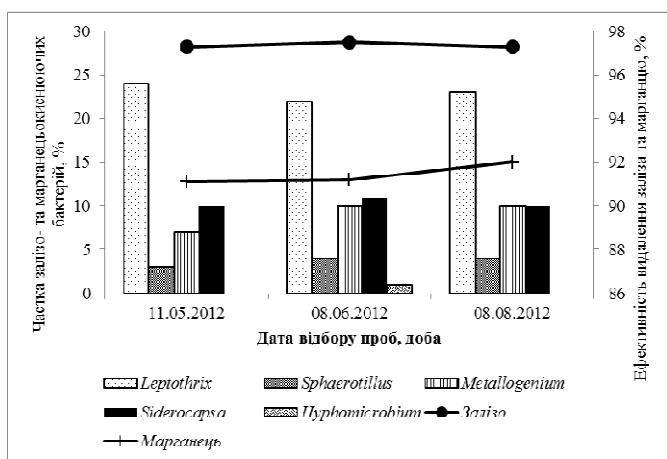


Рис. 4. Динаміка ефективності видалення заліза та марганцю біоценозом мікроорганізмів та його розвиток (м. Фастів)

Варто зазначити, що представників р. *Galionella* у складі біоценозу фільтрів у м. Фастів не виявлено, що може свідчити про те, що для їх



розвитку необхідні більш високі або низькі концентрації заліза або марганцю у середовищі. Проте, у попередніх експериментах представники р. *Galionella* зустрічались у складі завантаження цих фільтрів.

Відсутність представників р. *Galionella* у складі біоценозу, а також те, що присутність мікроорганізмів р. *Hyphomicrobium* була незначною (1%), як і у складі біоценозу завантаження фільтрів зі свердловини у м. Володарськ-Волинський (2%) може свідчити про вплив представників р. *Metallogenium* на розвиток залізобактерій у біоценозі. Можливо, р. *Metallogenium* здатні конкурувати з іншими бактеріями за поглинання марганцю, тому не дають розвиватись іншим видам бактерій, тим самим витісняючи їх з біоценозу.

При дослідженні динаміки вилучення заліза та марганцю біоценозом із фільтра у м. Володарськ-Волинський видовий склад біоценозу змінювався (частка р. *Galionella* та р. *Hyphomicrobium* зменшувалась) і ставав таким, що здатен вилучати марганець. На 25-у добу склад біоценозу стабілізувався та став схожим на біоценоз із фільтрів у м. Фастів, де були присутні практично усі (марганецьокиснюючі мікроорганізми витіснили ті, що здатні окислювати залізо) залізо- та марганецьокиснюючі мікроорганізми. Виходячи з результатів експериментів на фільтрах у м. Володарськ-Волинський та м. Фастів, можна стверджувати про вірогідність синергізму в обох біоцеозах.

Для підтвердження даного припущення було проведено експеримент з використанням модельних розчинів із вмістом марганцю без заліза та з вмістом заліза без марганцю.

Розвиток бактерій з використанням модельного розчину з вмістом марганцю  $2 \text{ мг/дм}^3$  без заліза не спостерігався. В той же час при використанні модельного розчину з вмістом заліза  $10 \text{ мг/дм}^3$  без марганцю був помітним розвиток залізо- та марганецьокиснюючих бактерій. Перераховану кількість кожного виду мікроорганізмів на завантаженні фільтру наведено у табл. 4.

Результати такого експерименту підтверджують наявність синергізму у біоценозі залізо- та марганецьокиснюючих бактерій, а також свідчать про необхідність заліза у середовищі для розвитку залізо- та марганецьокиснюючих бактерій.

### **Висновки**

У даній роботі вивчено склад біоценозів завантаження фільтрів для знезалізнення та деманганізації та встановлено, що у таких біоценозах існують певні корисні взаємодії.

Таблиця 4

Кількість мікроорганізмів у завантаженні фільтрів  
у м. Володарськ-Волинський

Час відбору проб, доба	ЗМЧ, КУО/г	Роди мікроорганізмів, КУО/г						
		<i>Leptothrix</i>	<i>Sphaerotillus</i>	<i>Metallogenium</i>	<i>Siderocapsa</i>	<i>Galtonella</i>	<i>Hyphomicrobium</i>	Інші
10	16800	2520	336	3024	1848	168	168	8736
20	17000	2890	340	3230	1870	170	170	8330

Для визначення кількісного складу біоценозів розроблена відповідна методика, суть якої полягає у розрахунку різних видів залізо- та марганецьокиснюючих мікроорганізмів на 100 КУО та перерахунку співвідношення ста мікроорганізмів у рахунковій камері на кількість мікроорганізмів на одиницю об'єму завантаження фільтрів через мікробне число.

За результатами експериментів із завантаженням фільтрів у м. Володарськ-Волинський та м. Фастів встановлено значну роль мікроорганізмів р. *Leptothrix* та р. *Siderocapsa* у видаленні заліза та марганцю. Частка мікроорганізмів р. *Leptothrix* на фільтрах становила близько половини від загальної кількості залізо- та марганецьокиснюючих бактерій.

У дослідях із використанням модельних розчинів показано, що для розвитку марганецьокиснюючих бактерій у середовищі необхідна присутність заліза.

Також визначено, що при використанні модельного розчину з установленою концентрацією заліза (10 мг/дм<sup>3</sup>) без марганцю ефективно розвиваються мікроорганізми р. *Leptothrix*, р. *Siderocapsa* та р. *Metallogenium*, а також те, що при вмісті лише марганцю у модельному розчині росту мікроорганізмів не спостерігається.

Судячи з порівняння результатів експериментів дослідження складу біоценозів з фільтрів обох свердловин, можна стверджувати про вірогідність синергізму між різними видами залізо- та марганецьокиснюючих бактерій та доцільність використання саме біоценозів мікроорганізмів, а не окремих культур для заселення завантаження фільтрів для знезалізнення та деманганяції води.

1. Запольський, А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води [Текст] / А. К. Запольський. – К. : Вища школа, 2005. – 671 с. 2. Николадзе Г. И. Техно-

логия очистки природных вод [Текст] / Г. И. Николадзе. – М. : Высш. шк., 1987. – 479 с. **3.** Кульский Л. А. Технология очистки природных вод [Текст] / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – К. : Вища. шк., 1986. – 352 с. **4.** Золотова Е. Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода [Текст] / Е. Ф. Золотова, Г. Ю. Асс. – М. : Стройиздат, 1975. – 176 с. **5.** Кравченко О. В. Розробка методики ідентифікації культур мікроорганізмів, які здатні окислювати сполуки заліза та марганцю у природних водах [Текст] / О. В. Кравченко // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Науково-технічний збірник. – 2014. – 24. – С. 140–145. **6.** Жмур Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст] / Н. С. Жмур. – М. : АКВАРОС, 2003. – 512 с.

Рецензент: к.т.н. Жукова В. С. (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»)

---

**Kravchenko A. V.** (State Enterprise «Scientific Research, Design and Technology Institute of Municipal Economy»)

**STUDY OF THE RELATION BETWEEN IRON- AND MANGANESE-OXIDIZING BACTERIA IN NATURAL BIOCENOSES AND THEIR IMPACT ON THE EFFICIENCY OF WATER PURIFICATION FROM THESE ELEMENTS**

**The presence of synergistic interactions in biocenosis of filters for remove iron and manganese has been studied. The expediency of using biocenosis rather than individual strains for settling filters loading for removing iron and manganese from water has been shown.**

**Keywords:** biocenosis, zeolite, iron- and manganese-oxidizing bacteria.

---

**Кравченко А. В.** (Государственное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт городского хозяйства»)

**ИССЛЕДОВАНИЕ СООТНОШЕНИЯ ЖЕЛЕЗО- И МАРГАНЕЦОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ В ПРИРОДНЫХ БИОЦЕНОЗАХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ЭТИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Установлено наличие синергетических взаимодействий в биоценозах фильтров обезжелезивания и деманганации воды. Доказана целесообразность использования именно биоценозов микроорганизмов, а не отдельных культур для заселения загрузки фильтров для обезжелезивания и деманганации воды.**

**Ключевые слова:** биоценоз, цеолит, железо- и марганцеокисляющие бактерии.

---