

*Визначено видовий склад біоценозів завантаження фільтрів знезалізнення та деманганациї води. Встановлено зв'язок між складом біоценозу та ефективністю видалення ним заліза та марганцю. Розроблено методику заселення завантаження фільтрів біоценозом залізо- та марганцевоокислюючих мікроорганізмів, яка полягає у змиванні біоценозу із аналогічного фільтру та заселенні таким змивом завантаження фільтрів*

*Ключові слова: біоценоз залізо- та марганцевоокислюючих бактерій, видалення заліза та марганцю із води, цеолітове завантаження фільтрів, змив*

*Определён видовой состав биоценозов загрузки фильтров обезжелезивания и деманганации питьевой воды. Установлена связь между составом биоценоза и эффективностью удаления им железа и марганца. Разработана методика заселения загрузки фильтров биоценозом железо- и марганцевоокисляющих микроорганизмов, которая заключается в смывании биоценоза из аналогичного фильтра и заселении биоценозом загрузки фильтров*

*Ключевые слова: биоценоз железо- и марганцевоокисляющих бактерий, удаление железа и марганца, цеолитовая загрузка фильтров, смыв*

# ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЦЕНОЗІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ ФІЛЬТРІВ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ТА ДЕМАНГАНАЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЗАСЕЛЕННЯ НИМИ ЦЕОЛІТУ

**О. В. Кравченко**

Кандидат технічних наук, завідувач підрозділу  
Підрозділ міської інфраструктури  
ДП «Науково-дослідний та  
конструкторсько-технологічний  
інститут міського господарства»  
вул. Урицького, 35, м. Київ, Україна, 03035  
E-mail: akravchenko@nikti.kiev.ua

## 1. Вступ

Залізо- та марганцевмісні підземні води зустрічаються практично у всіх регіонах України. Концентрація цих елементів коливається у дуже широкому діапазоні і у деяких регіонах сягає 20–30 мг/дм<sup>3</sup> заліза та 2–3 мг/дм<sup>3</sup> марганцю.

Якщо високий вміст заліза у воді, насамперед, погіршує її органолептичні показники, викликаючи бурхате забарвлення води, неприємний металічний присмак та призводить до заростання водопровідних мереж і водозабірної арматури, то марганець негативно впливає на здоров'я людини, оскільки при тривалому споживанні може спричинити руйнування клітин печінки [1]. Існуючі технології забезпечують можливості видалення (в одну ступінь) невеликих концентрацій заліза (до 6 мг/дм<sup>3</sup>) і марганцю (до 1 мг/дм<sup>3</sup>). Видалення більш високих концентрацій цих забрудників потребує використання складних багатоступеневих рішень, які є дуже коштовними і ненадійними в експлуатації.

У зв'язку з цим існує нагальна потреба в удосконаленні існуючих чи розробці нових технологій знезалізнення та деманганациї води.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У практиці водопостачання застосовується ряд методів (як хімічних, так і біологічних) очищення води

від сполук заліза, які різняться за ступенем технологічної надійності, економічності, простоти експлуатації тощо [1–3].

Зазвичай технологія знезалізнення передбачає окислення сполук заліза з подальшим відділенням утвореного осаду на фільтрах. Як окисники можуть використовуватися кисень, озон, хлорвмісні та інші сполуки, а для завантаження фільтрів – кварцовий пісок, цеоліт, кизилгур, марганцеві руди та ін. [4]. Варто зазначити, що процеси, які протікають під час фізико-хімічного вилучення заліза та марганцю, є недостатньо вивченими з біологічної точки зору, незважаючи на широке застосування такої технології у практиці водопідготовки.

Ряд дослідників [5–7] відмічають певну роль мікроорганізмів у процесах, що відбуваються на біофільтрах при видаленні заліза та марганцю. Так у роботі [8] зазначено, що ефективність видалення заліза та марганцю із води не залежить від типу матеріалу, на якому закріплюють мікроорганізми та у деяких випадках формується біоплівка (пісок, сталь, бетон). Роль біологічних процесів під час видалення заліза та марганцю з води фізико-хімічними методами показана у роботах [9–11]. У роботі [9] зазначено, що бактерії р. *Galionella* на біофільтрах ефективно видаляють залізо при нейтральному рН та показано, що внесок біологічного окислення заліза був суттєвішим, ніж фізико-хімічного в умовах повної аерації.

Авторами роботи [10] встановлено, що для оптимізації видалення заліза та марганцю із води на піщаних

Таблиця 1

## Характеристика якості води зі свердловини у м. Володарськ-Волинський (Україна)

Показник	Значення	Показник	Значення
Запах, бали	0	Фтор, мг/дм <sup>3</sup>	0,92
Забарвленість, градуси	0	Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	<0,02
Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>	<0,1	Молибден, мг/дм <sup>3</sup>	<0,002
Водневий показник, од. рН	7,1	Миш'як, мг/дм <sup>3</sup>	<0,02
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	17	Свинець, мг/дм <sup>3</sup>	<0,01
Загальна жорсткість, ммоль/дм <sup>3</sup>	8,0	Селен, мг/дм <sup>3</sup>	<0,001
Загальна лужність, ммоль/дм <sup>3</sup>	5,3	Стронцій, мг/дм <sup>3</sup>	1,4
Аміак, мг/дм <sup>3</sup>	<0,05	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	<0,005
Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	<0,003	Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	2,1
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	11,9	Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	24,5

біофільтрах необхідна аерація, що сприятиме розвитку бактерій. У роботі [11] в якості завантаження біофільтрів використовували марганцевий та кварцевий пісок, заселений залізо- та марганецьокиснючими бактеріями. Бактерії р. *Galionella* були знайдені у промивній воді після 6 місяців експлуатації фільтрів. Висока ефективність біологічної деманганції (максимальна ступінь очищення 98,6%) при застосуванні фільтрів із завантаженням кварцевим піском показана авторами у [12]. Автором роботи [13] запропоновано конструкції нових комбінованих установок для біофізико-хімічного очищення води з біореакторами на першій стадії.

Експериментальні дані, що були отримані раніше [14], розширюють уявлення про вищевказані процеси і дозволяють запропонувати гіпотезу про важливу роль мікроорганізмів у фізико-хімічному видаленні заліза та марганцю. Актуальним питанням, що не висвітлено у більшості наукових розробках, на сьогоднішній день залишається дослідження кількісного складу біоценозів мікроорганізмів та ефективності видалення такими біоценозами заліза та марганцю, а також розробка способу заселення біоценозом фільтрів для знезалізовання та деманганції питної води, що дозволить підтримувати культури мікроорганізмів у завантаженні та вдосконалити існуючі технології вилучення заліза та марганцю.

### 3. Ціль та задачі дослідження

Проведені дослідження мали за мету визначення кількісного складу біоценозів мікроорганізмів у завантаженні фільтрів для знезалізовання та деманганції води та вплив компонентів біоценозу на ефективність видалення заліза та марганцю, а також розробку методики для заселення біоценозом завантаження фільтрів.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

- розробити методику кількісного порівняння різних видів мікроорганізмів та визначити склад природних біоценозів завантаження фільтрів для знезалізовання та деманганції;

- визначити такий спосіб заселення біоценозів цеолітового завантаження фільтрів, що дасть змогу бактеріям закріпитись на завантаженні та ефективно вилучати залізо та марганець із води.

### 4. Матеріали та методи дослідження біоценозів мікроорганізмів

Об'єктом дослідження був біоценоз із завантаження фільтрів знезалізовання та проби води перед та після очищення на пілотній свердловині у м. Володарськ-Волинський, Україна.

Якість води із свердловини 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>. Відбір проб проводили на 10, 20 та 25 добу від початку фільтроциклу.

Відбір проб із завантаження фільтрів 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 квадраті камери Горяєва потрапили близько 100 мікроорганізмів з метою визначення процентного складу кожного виду залізо- та марганецьокиснючих бактерій у біоценозі (1:100). Мікроорганізми класифікували за морфологією на групи: р. *Siderocapsa*, р. *Leptothrix*, р. *Sphaerotillus*, р. *Galionella*, р. *Metallogenium*, р. *Hyphomicrobium* та інші (такі, що не відносяться до залізо- та марганецьокиснючих бактерій). Також вимірювали загальне мікробне число на грам завантаження фільтру за стандартною методикою і перераховували вміст кожного із родів мікроорганізмів.

Для перенесення біоценозів із завантаження вихідних фільтрів на завантаження модельних було запропоновано три способи. Перший полягав у обробці завантаження модельного фільтру біоценозом мікроорганізмів, відібраним із завантаження вихідного фільтру знезалізовання, де біоценоз формувался протягом 20 і більше днів. Другий підхід базувался на вирощуванні біоценозу бактерій у рідкому середовищі (склад наведено у [7]) та механічному переносі на завантаження фільтру. Третій – приготування змиву мікроорганізмів біоценозу та подальша обробка завантаження фільтру рідким інокулятом. Обробка біоценозом модельних фільтрів другим та третім способом відбувалась у непроточному режимі.

Після заселення цеоліту мікроорганізмами через модельні фільтри пропускали воду зі свердловини з концентрацією марганцю 2,1 мг/дм<sup>3</sup> та заліза 17 мг/дм<sup>3</sup>.

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 – фотоколориметрично згідно ГОСТ 4974-72 (метод В).

### 5. Результати досліджень видового складу біоценозів фільтрувального завантаження та їх співвідношення з ефективністю видалення заліза та марганцю

#### 5.1. Дослідження видового складу біоценозів завантаження фільтрів знезалізнення та деманганцації

Видовий склад залізо- та марганецьокиснюючих мікроорганізмів, розрахований за результатами вимірювання ЗМЧ та підрахунку мікроорганізмів за допомогою камери Горяєва (у відсотках від загальної кількості бактерій, табл. 2), у завантаженні вихідних фільтрів, що очищають воду зі свердловини, 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-у добу (рис. 1, б) та зберіглась до кінця експерименту (25 доба, рис. 1, в). Інші роди залізо- та марганецьокиснюючих організмів були представлені у меншій кількості – від 2 до 5%.

Таблиця 2

Кількість мікроорганізмів у завантаженні фільтрів, що очищають воду зі свердловини

Час відбору проб, доба	Роди мікроорганізмів, КУО/г						
	Leptothrix	Sphaerotillus	Metallogenium	Siderocapsa	Galionella	Hyphomicrobium	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

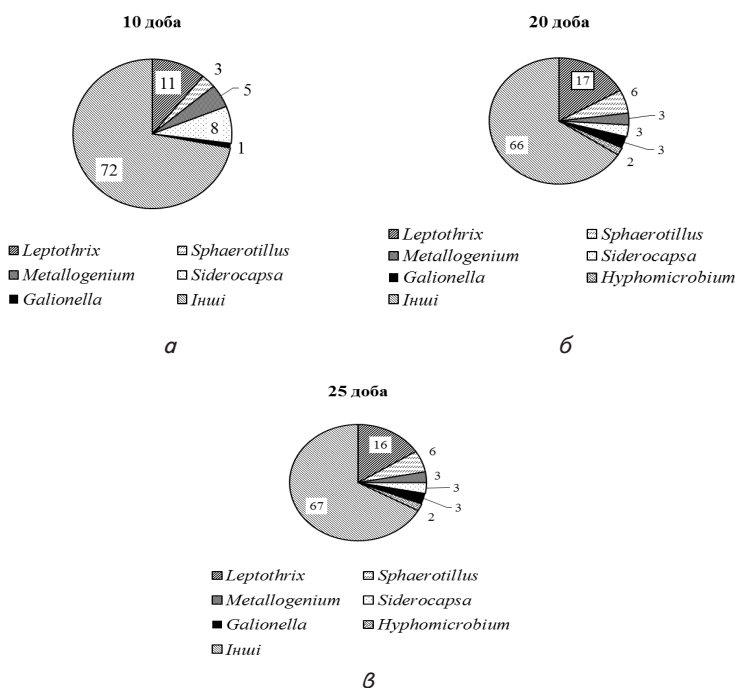


Рис. 1. Видовий склад залізо- та марганецьокиснюючих мікроорганізмів у завантаженні фільтрів, що очищають воду зі свердловини, %: а – на 10-у добу після початку фільтроциклу; б – на 20-у добу після початку фільтроциклу; в – на 25-у добу після початку фільтроциклу

Результати ефективності видалення заліза та марганцю із води свердловини природнім біоценозом наведені на рис. 2.

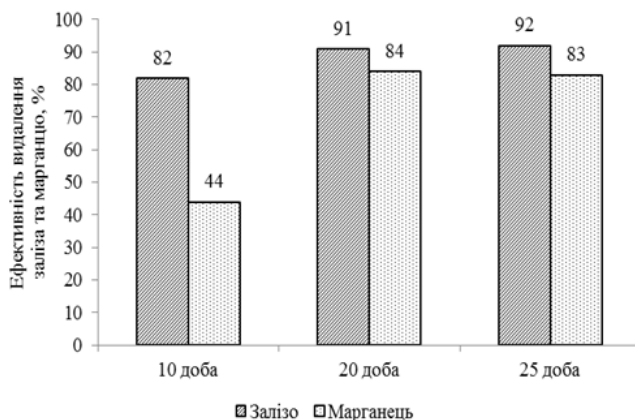


Рис. 2. Ефективність видалення заліза та марганцю із модельного розчину

Як видно із рис. 2 для біоценозу ефективність видалення марганцю коливалась у межах 44–84%, а заліза – 82–92%. Такий результат може свідчити про необхідність у складі біоценозу більшої частки марганецьокиснюючих бактерій (наприклад, р. *Metallogenium*).

На 20-у добу та в подальшому ефективність видалення як заліза, так і марганцю вирівнюється (91–92% та 83–84%, відповідно), що свідчить про розвиток бактерій р. *Galionella* та р. *Hyphomicrobium* та стабілізацію біоценозу.

При співставленні видового складу біоценозу (рис. 1) та ефективності видалення заліза та марганцю (рис. 2), видно, що для ефективного проходження такого процесу у складі біоценозу необхідний розвиток бактерій р. *Sphaerotillus* (до 6%) та практично однаковий вміст бактерій р. *Metallogenium*, р. *Galionella*, р. *Siderocapsa*, р. *Hyphomicrobium* (на рівні 2–3%).

#### 5.2. Методика заселення біоценозом цеолітового фільтру

Результати із перевірки методик заселення завантаження виявилися наступними.

При безпосередньому заселенні завантаження модельного фільтру біоценозом, відібраним із завантаження фільтрів знезалізнення фільтрів, що очищають воду зі свердловини, закріплення цих мікроорганізмів практично не відбулось: ефективність видалення заліза та марганцю була однаковою як у вихідного фільтру, так і у модельного.

У рідкому середовищі спостерігався розвиток залізо- та марганецьокиснюючих бактерій. При механічному переносі на цеоліт закріплення бактерій не відбулось.

При переносі клітин через суспензію біоценозу вихідного фільтру їм вдалось закріпитись та ефективно видаляти із води заліза та марганець. Ефективність видалення заліза та марганцю уже через добу після заселення

завантаження таким способом становила 84 % та 79 %, відповідно.

Така ефективність схожа з ефективністю, що спостерігалась у природного біоценозу на вихідному фільтрі – 91 % видалення заліза та 84 % видалення марганцю (рис. 2). Практично однаковий показник у однодобового біоценозу на модельному фільтрі та біоценозу, сформованого впродовж двадцяти днів від початку експериментально фільтроциклу на вихідних фільтрах, свідчить про можливість передавати таким способом біодеградуючі властивості біоценозу на інше завантаження.

## 6. Висновки

Розроблено методику кількісного порівняння залізо- та марганцевокиснюючих бактерій, вивчено кількісний склад біоценозів завантаження фільтрів для знезалізнення і деманганізації та співставлено його із ефективністю видалення заліза та марганцю.

За результатами вивчення видового складу біоценозу, присутнього на завантаженні вихідних фільтрів, встановлено значну роль мікроорганізмів р. *Leptothrix* та р. *Siderocapsa* у видаленні заліза та марганцю. Частина мікроорганізмів р. *Leptothrix* на фільтрах складала близько половини від загальної кількості залізо- та марганцевокиснюючих бактерій. Співставлено види бактерій та ефективність видалення заліза і марганцю

та відмічено, що, крім р. *Leptothrix* та р. *Siderocapsa* у біоценозі для підвищення видалення вищезазначених елементів необхідна присутність однакової частки мікроорганізмів р. *Metallogenium*, р. *Gallionella*, р. *Siderocapsa*, р. *Hyphomicrobium* (2–3 %). При цьому спостерігалось ефективне видалення обох елементів – до 92 % заліза та 84 % марганцю, що пов'язано, можливо, з видовим складом біоценозу.

Для переносу біоценозів на цеолітове завантаження фільтрів було обрано методику, що полягає у змиві природного біоценозу фільтру та інокуляції ним цеоліту. Така методика дає можливість бактеріям закріпитись на завантаженні та ефективно вилучати залізо та марганець і швидко відновлювати ефективність біоценозу.

Таким чином, у дослідженні показано значну роль біоценозів мікроорганізмів при знезалізнення та деманганізації води. Визначено, що при заселенні завантаження фільтру біоценозом, взятим з іншого аналогічного фільтру, уже через добу досягається майже така активність біоценозу, як і у 20-и добового біоценозу (у фільтрах, що працюють при самозаселенні). Така особливість може бути використана в майбутньому у технологічних схемах вилучення заліза та марганцю з води в умовах штучного заселення мікроорганізмами.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на відпрацювання способів зараження біоценозом не тільки цеоліту, а й інших матеріалів завантаження швидких фільтрів.

## Література

1. Запольський, А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води [Текст] / А. К. Запольський. – К. : Вища школа, 2005. – 671 с.
2. Кульський, Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды [Текст] / Л. А. Кульський. – К. : Наукова думка, 1971. – 151 с.
3. Золотова, Е. Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода [Текст] / Е. Ф. Золотова, Г. Ю. Асс. – М. : Стройиздат, 1975. – 176 с.
4. Тарасевич, Ю. И. Упрощенная модель обезжелезивания и деманганации воды на клиноптилолитовой загрузке фильтров [Текст] / Ю. И. Тарасевич, А. Е. Кулишенко, В. Е. Поляков, Р. В. Остапенко, В. Т. Остапенко, Т.Б. Кравченко // Химия и технология воды. – 2013. – Т. 32, № 5. – С. 98–109.
5. Дрожжин, О. С. Роль железобактерий в трансформации железа и марганца в грунтовых водах и использование их для очистки питьевой воды [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук / О. С. Дрожжин. – Воронежский государственный университет, 2001. – 20 с.
6. Мамченко, А. В. Приоритетные направления в технологии очистки подземных вод от железа [Текст] / А. В. Мамченко, И. В. Мисочка, И. И. Дешко, Н. Н. Кий, Н. Г. Герасименко // Химия и технология воды. – 2009. – Т. 31, № 1. – С. 57–77.
7. Захарова, Ю. Р. Микроорганизмы, окисляющие железо и марганец в донных осадках озера Байкал [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук / З. Ю. Робертсона. – Российская академия наук. Сибирское отделение. Лимнологический институт, 2007. – 21 с.
8. Farkas, A. Microbial activity in drinking water-associated Biofilms [Text] / A. Farkas, M. Dragan-Bularda, V. Muntean, D. Ciataras, S. Tigan // Cent. Eur. J. Biol. – 2013. – Vol. 8, Issue 2. – P. 201–214.
9. de Wet, W. W. J. M. Biological iron oxidation by Gallionella spp. in drinking water production under fully aerated conditions [Text] / W. W. J. M. de Wet, I. J. T. Drinkla, L. C. Rietveld, M. C. M. van Loosdrecht // Water Research. – 2011. – Vol. 45, Issue 17. – P. 5389–5398. doi: 10.1016/j.watres.2011.07.028
10. Dubinina, G. Modelling and Optimization of Processes for Removal of Dissolved Heavy Metal Compounds from Drinking Water by Microbiological Methods [Text] / G. A. Dubinina, A. Yu. Sorokina, A. E. Mysyakin, M. Yu. Grabovich, A. T. Eprintsev, V. Yu. Bukreeva // Water Resources. – 2012. – Vol. 39, Issue 4. – P. 398–404. doi: 10.1134/s0097807812030037
11. Qin, S. Fe (II) and Mn (II) removal from drilled well water: a case study from a biological treatment unit in Harbin [Text] / S. Qin, F. Ma, P. Huang, J. Yang // Desalination. – 2009. – Vol. 245, Issue 1-3. – P. 183–193. doi: 10.1016/j.desal.2008.04.048
12. Шаяхметова, Г. С. Роль железобактерий при очистке воды от марганца Патраковского водозабора Краснокамского района РБ [Текст] / Г. С. Шаяхметова, В. Д. Назаров, Р. З. Шаяхметов, В. В. Яковлев // Башкирский химический журнал. – 2007. – Т. 14, № 2. – С. 126–130.

13. Квартенко, А. Н. Роль закрепленной микрофлоры при очистке подземных вод сложного физико-химического состава [Текст] / А. Н. Квартенко // Коммунальное хозяйство городов». Научно-технический сборник. – 2010. – Вып. 93. – С. 115–120.
14. Кравченко, О. В. Роль мікроорганізмів при видаленні із води високих концентрацій заліза на фільтрах з цеолітовим завантаженням [Текст] / О. В. Кравченко // Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентиляції, водопостачання і водовідведення. Збірник наукових праць. – 2015. – С. 102–103.

*Досліджено десорбцію NOX в системі HNO<sub>3</sub>–H<sub>2</sub>O–NOX. Розраховано парціальний тиск компонентів NOX, їх вміст у рідкій фазі (HNO<sub>3</sub> 58–60 % мас.). Побудована залежність парціального тиску NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, їх вмісту в рідкій фазі при різних концентраціях HNO<sub>3</sub>, температурах. Обчислена розчинність NOX у рідкій фазі при температурах 40–70 °C*

*Ключові слова: оксиди азоту, нітратна кислота, десорбція, парціальний тиск, розчинність, коефіцієнт Генрі*

*Исследована десорбция NOX в системе HNO<sub>3</sub>–H<sub>2</sub>O–NOX. Рассчитано парциальное давление компонентов NOX, их содержание в жидкой фазе (HNO<sub>3</sub> 58–60 % масс.). Построена зависимость парциального давления NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, их содержания в жидкой фазе при различных концентрациях HNO<sub>3</sub>, температурах. Определена растворимость NOX в жидкой фазе при температурах 40–70 °C*

*Ключевые слова: оксиды азота, азотная кислота, десорбция, парциальное давление, растворимость, коэффициент Генри*

УДК 661.8'022:661.566

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50293

## ДЕСОРБЦИЯ ОКСИДОВ АЗОТА ИЗ ПРОДУКЦИОННОЙ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ (58–60 % МАСС.)

А. А. Литвиненко

Ассистент\*

E-mail: olexandr.lytvynenko@gmail.com

Т. И. Печенко

Кандидат технических наук, доцент\*

E-mail: pechenko.t.i@gmail.com

М. А. Подустов

Доктор технических наук, профессор\*

E-mail: podustov@kpi.kharkov.ua

А. И. Букатенко

Кандидат технических наук, доцент\*

E-mail: bukatenko.o.i@ukr.net

\*Кафедра автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»  
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61000

### 1. Введение

Азотная кислота по масштабу производства занимает второе место среди различных кислот после серной. Большой масштаб производства азотной кислоты объясняется тем, что азотная кислота и ее соли приобрели в экономике весьма существенное значение. Главнейшими потребителями продуктов азотнокислотной промышленности являются сельское хозяйство и промышленность взрывчатых веществ. В сельском хозяйстве для удобрения почв используют соли азотной кислоты, а в промышленности взрывчатых веществ в качестве основных исходных материалов применяют как соли, так и непосредственно азотную кислоту [1].

В настоящее время в Украине используются около 30 млн га пахотной земли для выращивания различных сельскохозяйственных культур [2].

Известно, что на урожай сельскохозяйственных культур среди прочих факторов влияет наличие в почве соединений азота. Количество азота, уносимого ежегодно с 1 га почвы урожаем различных растений,

составляет от 30 до 50 кг. Лишь небольшая часть этого азота вновь возвращается в почву. Вследствие вымывания солей из почвы и процесса денитрификации, связанного с образованием элементарного азота, почва непрерывно теряет соединения азота [1, 3].

Азот является составной частью белков, играющих большую роль в жизни растений и животных. Без азота растения не могут синтезировать белковые вещества. Для повышения урожайности требуется систематическое внесение в почву высококонцентрированных азотсодержащих минеральных удобрений.

В настоящее время для производства всех азотнокислотных солей, применяемых в качестве удобрений, исходным веществом является азотная кислота.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Процессы, протекающие при производстве азотной кислоты, описываются следующими основными реакциями: