

2. Дребот О. І. Еколого-економічне забезпечення раціонального використання земельних ресурсів України / О. І. Дребот, М. Я. Височанська // Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. – Вип. 88 – Херсон: Гринь Д. С., 2014. – 434 с.
3. Коритник В.М. Удосконалення економічного механізму ефективного використання земельних ресурсів [Текст] // Економіка АПК, 2006. – № 9. – С. 87–88.
4. Ковалева Т.Ю. Статистическое исследование динамики и структурных изменений на рынке труда [Электронный ресурс] / Т.Ю. Ковалева // Проблемы современной экономики. – 2011. - № 2 (38). – Режим доступа: <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=3577>
5. Розумний І.А. Еколого-економічне вивчення та екологобезпечне використання сільськогосподарських угідь (науково-методичні та практичні аспекти) / І.А. Розумний. – К.: Інститут землеустрою УААН, 1996. – 196 с.
6. Патица В.П. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель / В.П. Патица, О.Г. Тараріко. – К.: Фітосоціоцентр, 2002. – 296 с.
7. Панасюк Б. Регулююча функція держави у розвитку сільськогосподарства / Б. Панасюк // Економіка АПК. – 2008. – № 12. – С. 23–27.
8. Сільське господарство Рівненщини: [стат. збірник за 2014 рік] / за ред. Л.С. Мішенкової. Головне управління статистики у Рівненській області – Рівне, 2014. – 215 с.
9. Третяк А.М. Землеустрій – основний інструментарій формування сталого землекористування / Третяк А.М. // Продуктивні сили України: наук.-теор. екон. журнал. – 2007. – № 2. – С. 203–212
10. Gliessmann S. Agroecosystem sustainability Developing Practical Strategies / S. Gliessmann – Bose Raton, Florida. – 2001. – 130 p.

УДК 628.165

## ПРОЦЕСИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ. КРІОЗНЕСОЛЕННЯ

**Ляшенко Є.В.** – к.х.н., доцент,

**Біла Т.А.** – к.с.-г.н., доцент,

**Охріменко О.В.** – к.т.н., доцент, ДВНЗ «Херсонський ДАУ»

*У статті висвітлено, що запаси чистої води все більше зменшуються. Однак її дефіцит можна перекрити опрісненням забруднених морських і підземних вод. Розглянуті сучасні методи очистки та знесолення води, причому основний акцент зроблений на простий і доступний метод криоочищення. Показано, що навіть при використанні найпростішої технології очищення води виморожуванням, яку легко впроваджувати у побуті, кожна стадія циклу очищення знижує концентрацію домішок приблизно вдвічі.*

**Ключові слова:** вода, очищення, технологія, криознесолення, йонний вміст

**Ляшенко Е.В., Белая Т.А., Охрименко Е.В. Процессы очистки воды. Криобессоление**

*В статтє указано, что запасы чистой воды все больше сокращаются, но ее дефицит может быть уменьшен путем опреснения морских и загрязненных грунтовых вод. Рассматриваются современные методы очистки и опреснения воды; основной акцент сделан на простом и доступном методе криообессоливания. Показано, что даже простая технология очистки воды замораживанием-оттаиванием, которая может быть легко осуществлена в повседневной жизни, снижает концентрацию примесей в два раза на каждой стадии цикла замораживания-оттаивания.*

**Ключевые слова:** вода, технология очистки, криодеминерализация, примеси, содержание ионов

***Liashenko Y.V., Bila T.A., Okhrimenko O.V. Water purification processes. Freeze-thaw technology***

*The article shows that clean water stocks are increasingly reduced. However, the deficit can be diminished by desalination of seawater and polluted groundwater. The article deals with the modern methods of purification and desalination of water; its emphasis is made on an easy and affordable method of cryo-purification. It is shown that a simple freeze-thaw water treatment technology that can be easily implemented in everyday life, provides a twofold reduction in the concentration of impurities at each stage of the freezing-thaw cycle.*

**Keywords:** water, purification technology, cryo-demineralization, impurities, ion content

**Постановка проблеми.** Вода є основною речовиною життя на землі і вона стає все більше дефіцитною. Майбутнє світу тісно пов'язане з наявністю чистої і свіжої води. Дефіцит прісної і чистої води відчутний в областях, що складають приблизно 60% всієї поверхні суші. Цей дефіцит можна перекрити опрісненням океанічних, морських і підземних вод. Опріснення морської води є однією із галузей світової економіки, яка динамічно розвивається.

Встановлено, що при значному віддаленні прісноводних джерел, опріснення солоної води на місці дешевше, ніж вартість води, що поступає по водовадам. Причому економічний ефект зростає із збільшенням об'єму. До того ж стан сучасних прісноводних джерел є таким, що дорожче їх очищувати, ніж опріснювати морську воду.

Тому необхідно шукати нові і низькозатратні методи очищення прісної води і знесолення морської води.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес видалення солей з води залежно від ступеня їх витягання називається знесоленням або опрісненням. При знесолюванні води концентрація розчинених солей знижується до межі, близької до вмісту їх в дистильованій воді; при опрісненні – до концентрації, допустимої при використанні води для господарсько-питних цілей.

Найбільш ефективними і економічно обґрунтованими у практиці водоочищення за наявними літературними даними є йонний обмін, дистиляція, зворотний осмос (гіперфільтрація), термічний метод [1].

Вибір методу обумовлюється якістю води, що очищається, вимогами споживача до якості очищеної води, продуктивністю установки і техніко-економічними міркуваннями.

Розглянемо переваги і недоліки методів знесолення води. Перевагами для Йонного обміну є:

- можливість одержання надчистої води;
- відпрацьованість і надійність;
- проводити дослідження під час різкої зміни параметрів вихідної води;
- мінімальні капітальні і енерговитрати;

- невеликі витрати вихідної питної води;
  - мінімальний об'єм вторинних відходів, що забезпечує їх переробку.
- Зворотного осмосу –
- висока якість води по завісам, біологічним і органічним забрудненням;
  - мінімальна кількість реагентів і сумарний викид солей у навколишнє середовище;
  - можливість викиду концентрату без обробки у каналізацію;
  - відносно низькі експлуатаційні витрати;
  - відсутність агресивних реагентів і необхідності їх обробки
- Термічного методу –
- мінімальні кількості реагентів;
  - висока якість води відносно залишкових суспензій, біологічних і органічних забруднень;
  - можливість одержання відходів мінімального об'єму, майже до сухих солей;
  - видалення із води розчинених газів.
- Серед недоліків виділяють:
- Йонний обмін:
- високі витрати агресивних реагентів;
  - експлуатаційні витрати, які зростають пропорційно вмісту солей у воді;
  - необхідність обробки регенератів і складність з їх скидом.
- Зворотний осмос:
- необхідність ретельної передпідготовки;
  - бажана неперервна робота оборотноосмотичної установки;
  - великі капітальні витрати;
  - великі витрати питної води і об'єм скиду води;
  - великі енерговитрати.
- Термічний метод
- необхідність передпідготовки;
  - дуже великі енерговитрати;
  - великі капвитрати.

Із усього об'єму опрісненої води, яку одержують у світі, на частину дистиляційних опріснюючих установок припадає 71,5%, зворотно осмотичних – 19%, електродіаліз них – 9,4%, заморожуючих – 0,1%.

Незважаючи на слабе поширення у світі опріснюючих процесів за допомогою виморожування, багато авторів вважають їх перспективними. Метод виморожування основний на частковому переведенні води із рідини у тверду фазу у сполученні з процесом відділення твердих частинок від іншої рідкої фази. У традиційному підході зміна фази досягається за допомогою термічних методів. Заморожування забезпечує часткове переведення води у лід, залишаючи у вигляді рідини концентрований розчин розсолу.

Із води, що містить до 15 г/л солей, можна за допомогою цього методу одержати воду із вмістом солей 0,5-2 г/л. Цей спосіб у деякій мірі ефективніший за перегонку, тому що багато органічних домішок (наприклад, похідні фенолу) переганяються разом з водяною парою.

До переваг методу виморожування у порівнянні з іншими методами концентрування відносяться:

- низька температура проходження процесу, що різко знижує корозію;
- не потрібно постійно замінювати витратні матеріали, як, наприклад, для зворотного осмосу;
- процес відбувається без накипуутворення;
- відносно низькі енерговитрати, особливо у порівнянні з дистиляцією (теплота кристалізації речовин у 6-8 раз нижча теплоти випаровування). Але метод виморожування має і значні недоліки:
- неможливість достатньо глибокого знесолення за один цикл виморожування – плавлення;
- для проведення процесу часто необхідне специфічне несерійне обладнання;
- виморожування потребує великих початкових капітальних витрат.

Опріснення води **заморожуванням** засноване на різниці температур замерзання солоної і прісної води: солона вода замерзає при нижчій температурі, ніж прісна.

Тому при повільному охолодженні солоної води нижче за 0°C утворюються кристали прісного льоду, які потім мерзнуть в агрегати. Кожен агрегат є групою кристалів прісного льоду, між якими є порожнини, заповнені розсолем. Тому при розтопленні таких агрегатів кристалів льоду виходить лише частково опріснена вода. Проте якщо нагрівати такий лід поступово, замерзлий між кристалами прісного льоду розсіл перейде в рідкий стан і стече раніше, ніж почнуть танути кристали прісного льоду. Розсіл, що розтанув, стікає, лід опріснюється, і при подальшому таненні утворюється прісна вода.

Опріснення води може бути здійснено *природним холодом* (у природних умовах) або *штучним виморожуванням*.

До переваг способу *виморожування у природних умовах* можна віднести простоту технологічної схеми і влаштування конструкцій, відносно низьку вартість будівельних матеріалів, малий відсоток амортизації основних споруд, а також зручність експлуатації за відсутності необхідності в кваліфікованому обслуговуванні.

Дивно, але при всіх позитивних особливостях методу виморожування, він не привабив до себе наукову спільноту. Велика кількість статей за даною тематикою практично має рекламний характер, де описано можливість такого очищення у побуті.

У даний час вважається найбільш доцільним застосування виморожування у природних умовах для водопостачання невеликих селищ. Для міського і промислового водопостачання найбільш прийнятним є *штучне виморожування*.

Морську воду можна охолоджувати *непрямим виморожуванням*, при якому тепло кристалізації віднімається від розчину солі через стінку; *випаровуванням води у вакуумі* і, нарешті, можна використовувати *пряме охолодження солоної води* при безпосередньому контакті її з гідрофобним (що не змішується з водою) холодильним агентом, причому тепло кристалізації віднімається випаровуванням хладагента.

Найбільш перспективними холодоагентами є бутан, пропан, ізобутан, фреони ФС-318, Ф-12, Ф-142 та інші речовини, що не змішуються з водою і нетоксичні.

Опріснення води виморожуванням складається з трьох операцій: утворення кристалів льоду, відділення їх від розсолу і плавлення льоду.

Хоча при замерзанні води кристали льоду практично не містять солей і є чистою водою у твердій фазі, відділення їх від розсолу представляє значну трудність, оскільки лід і концентрований розсіл, що залишився, майже не відрізняються за щільністю, і автоматичного відділення різнорідних фаз, подібно сепарації пари в процесах дистиляції, не відбувається. Промиті кристали льоду розплавляють шляхом конденсації на них пари охолоджуючого агента, що знаходиться під тиском, або за рахунок тепла енергетичних установок.

Найбільш простим конструктивним рішенням процесу виморожування є заморожування води *охолодженням через теплопередавальну стінку*. У цьому процесі заздалегідь охолоджена солоня вода поступає у льодогенератор, усередині якого частково заморожується за рахунок циркулюючого по змійовику хладагента. Для інтенсифікації процесу заморожування вода перемішується мішалками. Цим досягається зниження утворення шару льоду на поверхні теплообміну і збільшення коефіцієнта теплопередачі. Тривалість перебування води в льодогенераторі складає 45-60 хв. За цей час третина поступаючої в нього води встигає замерзнути. З льодогенератора суміш льоду і розсолу поступає на стрічковий транспортер. Незамерзлий розсіл стікає в проміжний збірник, а потім через другий теплообмінник видаляється з системи. Лід, що залишився, переміщується транспортером через плавильну камеру, де стикається з теплим повітрям, що подається повітродувкою, і тане. Частина талої води скидається разом з розсолем, промиваючи кристали льоду, а очищений лід поступово розтоплюється і потрапляє у збірник прісної води, звідки через перший теплообмінник подається споживачу. Установка має продуктивність близько 40 т/доб. Вихід прісної води на 1 т солоніої коливається від 0,2 до 0,3 м<sup>3</sup> залежно від її солевмісту.

Спосіб контактного виморожування через теплопередавальну стінку неекономічний і не може, мабуть, розглядатися в застосуванні до крупних промислових установок. Проте він широко використовується в установках малої продуктивності (40 кг/год).

Багато іноземних патентів на конструктивні вирішення процесу виморожування; є заявки на дуже незвичайні технологічні режими і специфічне обладнання [2]. Але автори не змогли знайти хоча б декілька наукових досліджень процесу виморожування з кількісними даними або впливом природи неорганічних солей на ступінь очищення води від них і т.д. Дуже поширені в інтернеті загальні заявки про зниження твердості води при виморожуванні [3, 4] і, що кількість очищення підвищується при зниженні швидкості виморожування або температури морозильника [6-8]. У роботі [8] наведені чисельні дані при кількості хлоридів і фторидів в очищеній воді, але єдиним висновком є підтвердження викладеного вище, що найбільш ефективно очищення досягається при більш низькій температурі. У роботі [9] представлено серйозне дослідження ступені очищення від широкого ряду йонів, але чисельних даних не наведено (тільки діаграми), а методика очищення дуже складна і дивна, що можливість порівняння їх результатів з іншими є сумнівною.

Очевидно, такий низький науковий інтерес до даної проблеми пов'язаний із великою залежністю результатів очищення від великої кількості факторів: відносної кількості твердої фази (льоду) на стадії заморожування, швидкості заморожу-

вання, температури охолодження, об'єму і форми фрізера, що зумовлює одержані дані різними дослідниками практично не сумісними один з одним.

**Постановка завдання.** З урахуванням літературних даних розробити просту методику криознесолення, яку можна використовувати у побуті, і експериментально перевірити якість очищення води від солей по ряду найважливіших йонів. Проаналізувати результати знесолення води в залежності від кількості виморожувань. Для визначення показників ми використовували кількісний хімічний аналіз та узагальнення одержаних результатів.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** У зв'язку з цим ми прагнули одержати хоча б деякі попередні аналітичні дані про ефективність процесу. Процес був періодичний (хоча для більш об'єктивного порівняння результатів бажано неперервний, але це потребує специфічного обладнання); заморожуванню піддавали приблизно половину вихідної води у камері з температурою  $-12$   $-14^{\circ}\text{C}$ . Найбільш близьким аналогом нашого процесу є описаний у роботі [10].

Для дослідження взяли водопровідну воду мікрорайону м. Херсону – Житлове селище. Цикл заморожування – плавлення здійснювався декілька раз і після кожної стадії аналізували кінцевий вміст йонів Кальцію, Магнію, Хлорид-йонів і гідрокарбонат-йонів за методикою Ю.Лур'є [11, с.66-68, с.70-74, с.239-241, с.242-244, с.148-150, с.58-60] ; одержані результати у порівнянні з аналітичними даними по вихідній воді наведені у таблиці 1.

**Таблиця 1 - Аналітичні результати очищення водопровідної води методом виморожування**

	Ж загальна	Ж тимчас.	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
			ммоль/л	ммоль/л	ммоль/л	ммоль/л
Вихідна вода (вул. Р.Люксембург)	3,8	3,4	3,4	8,8	1	2,8
Виморожування, 1 раз	2	2	2	3,8	0,4	1,6
Виморожування, 2 рази	0,8	0,8	0,8	1,2	0,2	0,6
Виморожування, 3 рази	0,4	0,4	0,4	0,6	0,1	0,3
Маточний розчин 1	6,2	5,4	5,4	15	1,6	4,6
Маточний розчин 2	3	2,6	2,6	6	1	2
Маточний розчин 3	1,5	1,4	1,4	2,4	0,6	0,9
Вихідна вода (вул. Владими-рова)	6,2	4,4	4,4	8,8	1,0	5,0
Виморожування, 1 раз	3	1,8	1,8	4,6	0,8	2,2

Важливо відмітити, що кожна стадія циклу очищення знижує концентрацію домішок майже вдвічі, причому це число практично не залежить від природи йону. Досягнута за одну стадію ступінь очищення (приблизно 80%) значно поступається описаній у літературі для більш складних технологій і апаратів (з направленою кристалізацією при заданій температурі, відмивання льоду від маточного розчину і т.д.).

У лабораторних умовах було проведено дослідження зразків води після виморожування. У воді визначали вміст йонів Кальцію, Магнію, хлорид-йонів, гідрокарбонат-йонів, загальну твердість і тимчасову твердість води (табл. 1).

Результати досліджень свідчать про те, що після першого виморожування твердість води і вміст йонів зменшується практично у два рази. У результаті двох наступних виморожувань ці показники зменшуються також у два рази і відбувається практично знесолення води: твердість води знижується до 0,4 ммоль/л, вміст йонів знижується у десять разів у порівнянні з вихідною водою.

Таким чином, достатньо проводити виморожування один раз і отримати воду придатну для використання.

**Висновки.** Отже, узагальнюючи наведене вище, можна зробити висновки, що при використанні найпростішої технології очищення води виморожуванням, яку легко впроваджувати у побуті, кожна стадія циклу очищення знижує концентрацію домішок приблизно вдвічі, причому це число практично не залежить від природи йону. Аналіз вмісту органічних домішок не проводився, але можна передбачити, що ступінь очищення приблизно така або навіть краща (враховуючи великі розміри органічних молекул, яким важко поміститися у порожнинах між молекулами води у кристалах льоду).

Порівнюючи одержані нами експериментальні результати з небагатьма кількісними літературними даними (особливо представленими у патентах), можна зробити висновок про перевагу впливу технології виморожування і конструкції фрізера на якість очищення води. Цілком ймовірно, що статичне заморожування частини неочищеної води у побутовому холодильнику з послідуочим розмороженням льоду не може бути ефективним методом очищення. Таким способом за один цикл заморожування – плавлення можна знизити концентрацію розчинених солей приблизно вдвічі. Навпаки, проводячи повільну кристалізацію води в умовах, що не дають можливості кристалам льоду злипатися разом і постійно відмиваючи ці кристали свіжими порціями вихідної води (або навіть очищеної) з послідуочим фільтруванням льодяної фази, можна за один цикл зменшити солеміст у 5-10 раз.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Сравнение методов обессоливания воды [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.mediana-filter.com.ua/water\\_obessolivanie.html](http://www.mediana-filter.com.ua/water_obessolivanie.html)
2. Method of purifying water by freezing: US Patent 3121627 A (1964): F25 C1/08 / Harris Sr Gilbert W// Режим доступа: <http://www.google.com/patents/US3121627>; Freezing purification system and method for decontamination and desalination of water: US Patent 5400619 A (1995): C02F1/22 / Abdo A. Husseiny, Jerry E. Lundstrom // Режим доступа: <http://www.google.com.gt/patents/US5400619>; Water purification by batch crystallization process/ US Patent 20150210563 A1 (2015): C02F1/22, F25D31/00 / M.C.Tomlin, Ph.M.S. Roberts, S.M.Matthews // Режим доступа: <http://www.google.com/patents/US20150210563>.
3. Понижение жесткости воды вымораживанием [Электронный ресурс] / Рыбоводство и Рыболовство № 3.- 1967. Режим доступа: <http://www.water.ru/bz/digest/froze.shtml>
4. Доочистка водопроводной воды в домашних условиях/ Д. Иванисов, А.Павлов.- МОУ лицей № 10, Белгород. // Режим доступа: // <http://www.u-center.info/libraryschoolboy/researchwater/vodoprovod-voda>

5. Очистка воды способом вымораживания/ [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.cristalwater.ru/news-view-2.html>
6. Очистка воды методом вымораживания [Электронный ресурс] / MaxVoron (Nick) // Режим доступа: <http://immetatron.com/ochistka-vodyi-metodom-vyimorazhivaniya/>
7. Очистка воды в домашних условиях // Режим доступа: <http://www.watermap.ru/articles/ochistka-vody-v-domashnih-uslovijah>
8. Очистка воды вымораживанием в емкостном кристаллизаторе/ Е.В Короткая, И.А. Короткий, А.В. Учайкин// Вестник Красноярского государственного аграрного университета, Вып.6.- 2015.-с.140// Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-vody-vymorazhivaniem-v-emkostnom-kristallizatore>
9. Purifying contaminated water by eutectic freezing / Ami Karlsson // Режим доступа: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:695451/FULLTEXT01.pdf>
10. Drinking Water Treatment by Directional Freeze Crystallization/ William M.Conlon // Режим доступа: <https://cfpub.epa.gov/ncer/abstracts/index.cfm/fuseaction/display.highlight/abstract/1400>
11. Унифицированные методы анализа вод [Текст] / Под ред. д-ра хим.наук Ю.Ю.Лурье.- М.- Химия.- Изд. 2., 1973.

УДК 631.95

## ВПЛИВ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ПРИЛЕГЛИХ СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

**Макаренко Н. А.** – д.с.-г.н., професор,  
**Будак О. О.** – аспірант, НУБІП України

*У статті наведено результати дослідження впливу Миронівського полігону твердих побутових відходів на повітряне середовище. Доведено, що негативний вплив полігону виходить за межі нормативної санітарно-захисної зони. Враховуючи фактичний рівень забруднення атмосферного повітря та природні фактори, здійснено уточнення розмірів нормативної санітарно-захисної зони.*

**Ключові слова:** повітряне середовище, тверді побутові відходи, шкідливі речовини, санітарно-захисна зона.

**Макаренко Н.А., Будак О.О. Влияние полигонов твердых бытовых отходов на атмосферный воздух прилегающих сельских территорий**

*В статье приведены результаты исследования влияния Мироновского полигона твердых бытовых отходов на воздушную среду. Доказано, что негативное влияние полигона выходит за пределы нормативной санитарно-защитной зоны. Учитывая фактический уровень загрязнения атмосферного воздуха и природные факторы, осуществлено уточнение размеров нормативной санитарно-защитной зоны.*

**Ключевые слова:** воздушная среда, твердые бытовые отходы, вредные вещества, санитарно-защитная зона.