

**В.В. Гончарук, В.О. Осипенко, М.Н. Балакина, Д.Д. Кучерук**

## **ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ НИТРАТОВ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ОСМОСА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Институт коллоидной химии и химии воды  
им. А.В. Думанского НАН Украины, г. Киев

*Исследованы возможности и основные закономерности очистки воды от нитратов обратным осмосом низкого давления. Показано отрицательное влияние хлоридов и сульфатов на характеристики процесса. Сделан вывод о целесообразности использования метода обратного осмоса низкого давления для очистки воды от нитратов.*

**Ключевые слова:** нитраты, обратный осмос низкого давления, пермеат, питьевая вода, природная вода, сульфаты, хлориды.

**Введение.** Источником загрязнения воды нитратами является проникновение в почвенные воды промышленных отходов: сточных вод животноводческих предприятий, удобрений, отходов военной промышленности и др. Содержание нитратов в воде, используемой для централизованного водоснабжения с поверхностным или артезианским водозабором, обычно не превышает 10 мг/дм<sup>3</sup>. Однако в воде мелководных артезианских скважин (колодцев) оно может достигать 300 мг/дм<sup>3</sup> и более. Поэтому содержание нитратов в питьевой воде, регламентируемое требованиями нормативных документов для большинства стран, в том числе и для Украины, не должно превышать 50 мг/дм<sup>3</sup> [1, 2]. Кроме того, в природной воде вместе с нитратами присутствуют другие ионы, в частности хлориды и сульфаты, концентрация которых в питьевой воде не должно превышать 250 мг/дм<sup>3</sup> [2].

Для очистки воды от нитратов используют ионный обмен, биологические и другие методы [3, 4]. Однако при ионном обмене возникает необходимость утилизации регенерационных растворов, что значительно удорожает этот процесс. Биологическая денитрификация требует больших рабочих площадей.

На протяжении последних лет альтернативой традиционным методам очистки воды стали баромембранные методы. Благодаря своей эффективности, экономичности, компактности и достаточно высокой степени автоматизации мембранные установки приобрели широкое

практическое применение в технологии водоочистки во многих промышленно развитых странах [5 – 8]. Однако научному обоснованию процесса очистки воды от нитратов обратным осмосом низкого давления не уделялось достаточного внимания.

В связи с этим цель данной работы – определение основных закономерностей очистки воды от нитратов обратным осмосом низкого давления.

**Методика эксперимента.** Опыты по обратноосмотической обработке модельных растворов, содержащих нитраты, проводили в непроточной ("тупиковой") цилиндрической ячейке емкостью 300 см<sup>3</sup>, площадь мембраны в ней составляла 16,6 см<sup>2</sup>. Перемешивание раствора в ячейке осуществляли при помощи магнитной мешалки, рабочее давление создавали сжатым азотом и контролировали манометром с точностью ± 0,05 МПа. Концентрацию нитратов, хлоридов и сульфатов в растворах определяли, соответственно, фотометрически с салицилатом натрия, титрованием нитратом ртути в присутствии индикатора дифенилкарбазона и титрованием растворимыми солями бария в присутствии индикатора нитхромазо [9 – 11].

**Результаты и их обсуждение.** Коэффициент задерживания ионов  $R$  (%) определяли по формуле

$$R = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{пер}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100,$$

где  $C_{\text{исх}}$  и  $C_{\text{пер}}$  (мг/дм<sup>3</sup>) – концентрации ионов соответственно в исходном растворе и пермеате (очищенном растворе);  $I_v$  – удельная производительность мембраны (дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч)).

Коэффициент отбора пермеата  $K$  (%) определяли следующим образом:

$$K = \frac{Q_{\text{пер}}}{Q_{\text{исх}}} \cdot 100,$$

где  $Q_{\text{пер}}$  и  $Q_{\text{исх}}$  – объемы соответственно пермеата и исходного раствора.

Как видно из рис. 1, кривая 1, коэффициент задерживания  $\text{NO}_3^-$  с повышением давления увеличивался от 89,2 % при 0,5 МПа до 93,7 % при 2,0 МПа; последующее повышение давления несколько уменьшало значение  $R$ . При этом удельная производительность мембраны практически линейно возрастала (см. рис. 1, кривая 2).

При повышении концентрации  $\text{NO}_3^-$  от 50 до 1000 мг/дм<sup>3</sup> значение  $R$  изменялось в диапазоне 97,3 – 98,9 % (рис. 2, кривая 1), а значение  $I_v$  мембраны постепенно снижалось с 125,3 до 96,4 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) (см. рис. 1, кривая 2), что можно объяснить влиянием концентрационной поляризации. Интервал исследованных концентраций нитратов был выбран в соответствии с возможным содержанием поллютанта в природных источниках.

В таблице показано, что с увеличением коэффициента отбора пермеата и исходной концентрации нитратов задерживание последних уменьшалось с 98,9 до 89,9 %, а удельная производительность – с 125,3 до 82,9  $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , что также связано с влиянием концентрационной поляризации.

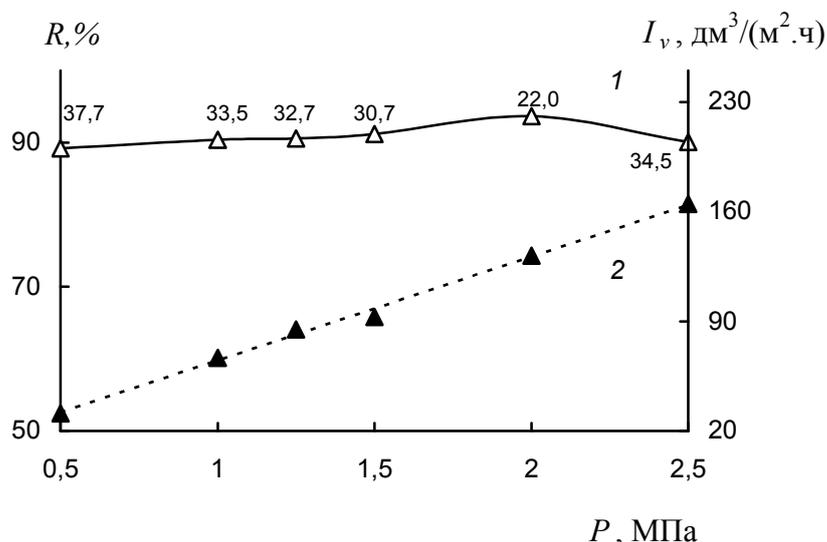


Рис. 1. Зависимость коэффициента задерживания нитратов (1) и удельной производительности мембраны (2) от рабочего давления (исходная концентрация  $\text{NO}_3^-$  –  $350 \text{ мг/дм}^3$ ; коэффициент отбора пермеата – 70 %). Цифры на кривой 1 (рис. 1 – 4) соответствуют концентрации нитратов в пермеате.

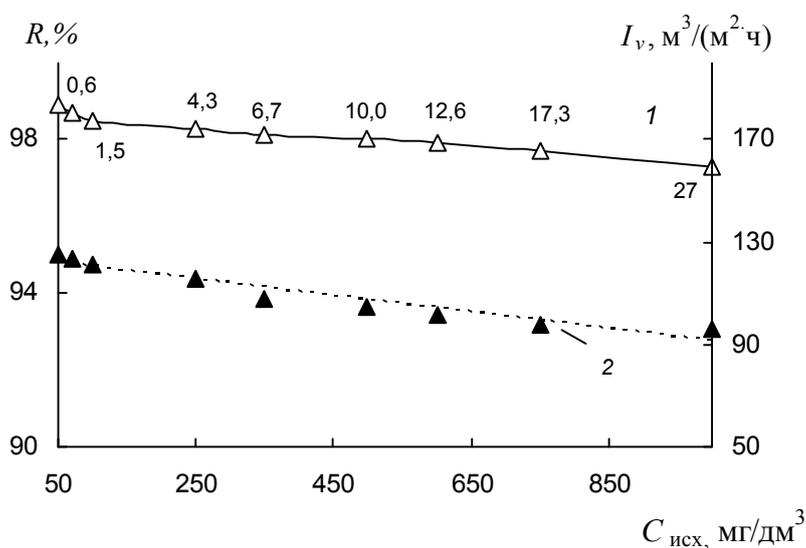


Рис. 2. Зависимость коэффициента задерживания нитратов, их концентрации в пермеате (1) и удельной производительности мембраны (2) от содержания  $\text{NO}_3^-$  в исходном растворе ( $P$  – 2 МПа; коэффициент отбора пермеата – 20 %).

*Зависимость коэффициента задерживания нитратов  $R$  (%), их содержания в пермеате  $C_{пер}$  (мг/дм<sup>3</sup>) и удельной производительности мембраны  $I_v$  (дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч)) от концентрации  $NO_3^-$  в исходном растворе  $C_{исх}$  (мг/дм<sup>3</sup>) и коэффициента отбора пермеата  $K$  (%) при давлении 2 МПа*

$C_{исх}$	Показатель	$K$					
		20	40	60	70	80	90
50	$R$	98,9	97,6	95,0	94,5	90,6	89,9
	$I_v$	125,3	123,7	122,4	120,1	118,3	111,2
	$C_{пер}$	0,6	1,2	2,5	2,8	4,7	5,25
100	$R$	98,5	94,8	93,9	93,6	90,5	89,9
	$I_v$	121,3	118,8	115,7	113,6	112,6	109,5
	$C_{пер}$	1,5	5,2	6,1	6,4	9,5	11,1
250	$R$	98,3	98,2	96,1	93,4	93,2	91,6
	$I_v$	115,4	111,3	109,8	108,7	107,6	106,7
	$C_{пер}$	4,3	4,5	9,7	16,5	17,0	21,0
350	$R$	98,1	97,1	94,5	93,1	91,5	90,7
	$I_v$	108,1	104,6	104,0	102,3	95,9	101,5
	$C_{пер}$	6,7	10,5	19,2	24,1	29,7	32,5
500	$R$	98,0	96,1	94,8	92,7	92,7	92,1
	$I_v$	104,5	103,7	100,7	97,9	94,9	93,1
	$C_{пер}$	10,0	19,5	26,0	36,5	37,0	39,5
750	$R$	97,7	95,5	95,3	92,5	91,8	89,8
	$I_v$	99,2	98,5	97,9	97,5	93,3	88,0
	$C_{пер}$	17,3	33,7	35,2	56,2	61,6	76,5
1000	$R$	97,3	96,7	95,4	92,3	91,9	89,9
	$I_v$	96,4	93,8	92,1	90,8	88,5	82,9
	$C_{пер}$	27,0	33,0	46,0	77,0	81,0	101,0

Кроме того, представленные в таблице данные свидетельствуют, что методом обратного осмоса низкого давления можно очистить воду, содержащую нитраты, до питьевых кондиций в интервале исходных концентраций 50 – 500 мг/дм<sup>3</sup> при отборе пермеата до 90 % и в интервале 600; 750 и 1000 мг/дм<sup>3</sup> при отборе пермеата соответственно до 70; 60 и 40 %.

При наличии в исходном растворе ионов хлора с концентрацией от 100 до 1000 мг/дм<sup>3</sup> коэффициент задерживания нитратов и удельная производительность мембраны уменьшились соответственно с 93,6 до 89,4 % (рис. 3, кривая 1) и с 99,6 до 83,4 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) (кривая 2). Концентрация хлоридов в пермеате при этом не превышала норм СанПиНа [2] и находилась в диапазоне 2,1 – 37,0 мг/дм<sup>3</sup>.

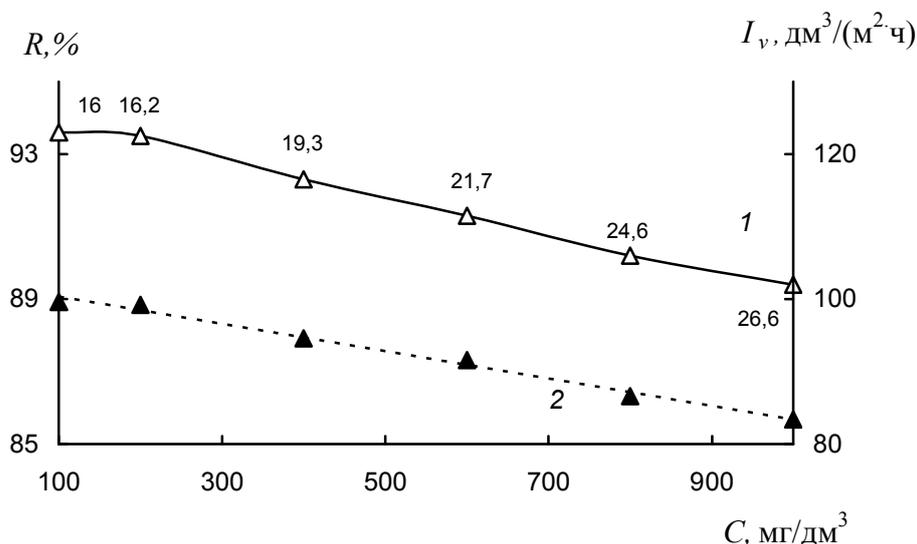


Рис. 3. Зависимость коэффициента задерживания нитратов, их концентрации в пермеате (1) и удельной производительности мембраны (2) от концентрации хлоридов в исходном растворе (содержание нитратов в исходном растворе – 250 мг/дм<sup>3</sup>; P–2 МПа; коэффициент отбора пермеата – 70 %).

При введении в исходный раствор сульфат-ионов в количестве от 550 до 1500 мг/дм<sup>3</sup> коэффициент задерживания NO<sub>3</sub><sup>-</sup> уменьшился с 91,2 до 83,7 % (рис. 4, кривая 1), а удельная производительность мембраны – с 82,4 до 75,3 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) (кривая 2). При этом количество NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в пермеате увеличилось от 22,0 до 40,8 мг/дм<sup>3</sup>; количество сульфат-ионов в пермеате находилось в диапазоне от 5 до 14,5 мг/дм<sup>3</sup>, что не превышало норм СанПиНа [2].

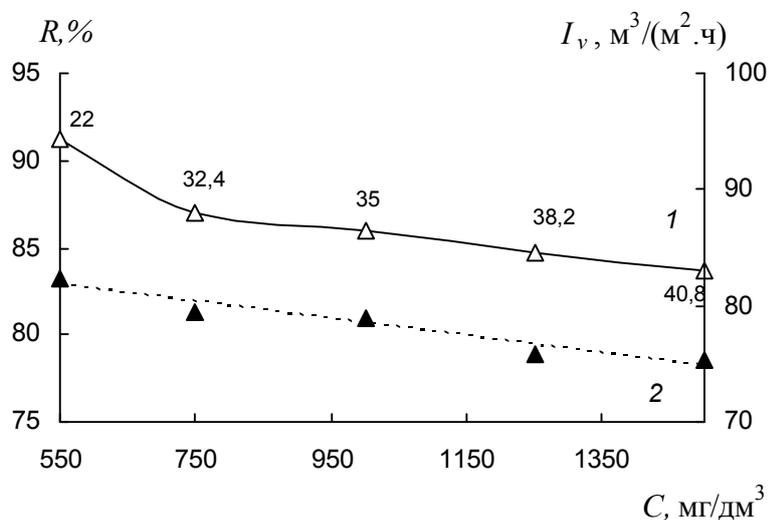


Рис. 4. Зависимость коэффициента задерживания нитратов, их концентрации в пермеате (1) и удельной производительности мембраны (2) от концентрации сульфатов в исходном растворе (содержание нитратов в исходном растворе – 250 мг/дм<sup>3</sup>; P – 2 МПа; коэффициент отбора пермеата – 70 %).

**Выводы.** Таким образом, на основании полученных данных показана высокая эффективность очистки воды от нитратов обратным осмосом низкого давления. Определены параметры исследуемого процесса для достижения норм ПДК нитратов в питьевой воде. Выявлено отрицательное влияние на эти параметры наличия в растворе других ионов, в частности хлоридов и сульфатов. Сделан вывод о целесообразности использования метода обратного осмоса низкого давления для очистки воды от нитратов.

**Резюме.** Досліджено можливості та основні закономірності процесу очищення води від нітратів зворотним осмосом низького тиску. Показано негативний вплив хлоридів і сульфатів на характеристики процесу. Зроблено висновок про доцільність використання методу зворотного осмосу низького тиску для очищення води від нітратів.

*V.V. Goncharuk, V.O. Osipenko, D.D. Kucheruk, M.N. Balakina*

## **WATER PURIFICATION OF NITRATES BY REVERSE OSMOSIS LOW-PRESSURE**

### Summary

In this paper, the possibilities and the basic laws governing the process of water purification of nitrates by reverse osmosis low-pressure was studied. Was shown a negative effect of the presence in water of chlorides and sulfates on the characteristics of the process. The conclusion about the feasibility of using the method of reverse osmosis low-pressure for water cleaning of the nitrates.

### Список использованной литературы

- [1] *Войтенко А.М., Петренко Н.Ф., Шутько М.В. и др.* // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. "Вода и здоровье – 98" (Одесса, 1998). – Одесса, 1998. – С. 76 – 79.
- [2] *ДСанПін 2.2.4-171-10.* Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Затверд. наказом Мін-ва охорони здоров'я України від 12.05.2010, № 400.
- [3] *Кульський Л.А.* Основы химии и технологии воды. – К.: Наук.думка, 1991. – 586 с.
- [4] *Митченко Т.Е., Макарова К.В., Федотова Л.П.* // Вода і водоочисні технології. – 2002. – №2/3. – С. 61 – 65.
- [5] *Запольський А.К., Мешкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М. та ін.* Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
- [6] *Дытнерский Ю.И.* Обратный осмос и ультрафильтрация. – М.: Химия, 1978. – 351 с.
- [7] *Гончарук В.В., Балакіна М.М., Кучерук Д.Д. та ін.* // Доп. НАН України. – 2005. – №2. – С. 174 – 178.
- [8] *Хванг С.Т., Коммермейер К.* Мембранные процессы разделения / Пер. с англ. Е.П. Моргуновой, Ю.Н Жимена; под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1981. – 436 с.
- [9] *Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н.* // Методы исследования качества воды водоемов / Под ред. А.П. Шицковой. – М.: Медицина, 1990. – С. 84 – 85.
- [10] *ГОСТ 4245-72.* Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов. – Утв. постановлением Гос. комитета СССР по стандартам от 09.10.1972 г.
- [11] *ГОСТ 23268.4-78.* Воды минеральные питьевые, лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения сульфат-ионов. – Утв. постановлением Гос. комитета СССР по стандартам от 01.09.1978 г.

Поступила в редакцию 31.05.2012 г.