

– М.: Химия, 1987. – 463 с. **4.** Соколовский А.А. Применение равновесных диаграмм растворимости в технологии минеральных солей / А.А. Соколовский, Е.Л. Яхонтова. – М.: Химия, 1982. – 264 с. **5.** Коришунов В.В. Эффективность использования низкосортного фосфатного сырья в производстве фосфорных удобрений / В.В. Коришунов // Химическая промышленность. – 2001. – № 5. – С. 10 – 17.

Поступила в редколлегию 22.03.10

УДК 628.16

Е.М. СВЕТЛЕЙШАЯ, аспирант, **Т.Е. МИТЧЕНКО**, докт. техн. наук,
И.М. АСТРЕЛИН, докт. техн. наук, **Е.Н. ШЕНКАРУК**,
НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ПРИ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ ДНЕПРОВСКОЙ ВОДЫ

В статті представлені результати дослідження процесу попереднього очищення природної поверхневої води до вимог питної (на прикладі води річки Дніпро) методом ультрафільтрації. Результати досліджень показали, що застосування прямої коагуляції в поєднанні з методом ультрафільтрації дозволяє підвищити ефективність зниження колірності та перманганатної окиснюваності.

The results of investigation of natural surface water pretreatment (by example of Dnepr river) for use as potable by ultrafiltration method has been described in the article. The results of investigation shown that application of in-line coagulation combine with ultrafiltration could increase efficiency of color and permanganate oxidability removal.

Вступление.

Для вод реки Днепр характерно высокое содержание гуминовых веществ (ГВ). Вследствие применения реагентного обеззараживания в водопроводной воде образуются токсичные хлорпроизводные, такие как хлороформ, хлорамины, хлорфенолы и т.д.

Актуальным является рассмотрение новых методов кондиционирования воды, среди которых одним из наиболее эффективных является метод ультрафильтрации.

Ультрафильтрация (УФ) – современный, экономичный и экологически

безопасный метод очистки воды от мелкодисперсных взвесей, коллоидных частиц и крупномолекулярных органических соединений.

Согласно результатам исследований, приведенным в [1], методом ультрафильтрации возможно снизить содержание ГВ в днепровской воде не более чем на 10 – 15 %, что связано со специфическим молекулярно-массовым распределением ГВ в воде [2].

Одним из методов интенсификации процесса ультрафильтрации может быть дозирование коагулянта в очищаемую воду перед стадией ультрафильтрации.

При этом флоккулы большого размера будут задерживаться мембраной, образуя дополнительный фильтрационный слой обеспечивающий захват частиц меньшего размера.

Цель работы – провести сравнительное исследование эффективности процесса очистки днепровской воды методом ультрафильтрации, организованного без и с привлечением различных коагулянтов.

Варьируемые параметры эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Варьируемые параметры эксперимента

| Вид коагулянта | | |
|--|----------|----------|
| $Al_2(SO_4)_3$ | $FeCl_3$ | $FeSO_4$ |
| Доза коагулянта (ДК) 1 – 10 мг(Ме)/дм ³ | | |
| 1 | 5 | 10 |

Материалы и методы.

Исследования процесса кондиционирования воды реки Днепр проводились на лабораторной установке ультрафильтрации, которая состояла из колбы Бунзена, фильтра Шота, вакуумного насоса марки Milipore WP 6122050 (вакуум 0,2 бар), соединительных шлангов и мембранного элемента «Владипор».

Схематическое изображение установки представлено на рис. 1.

В пробу воды, термостатированную до необходимой температуры, дозировался коагулянт, далее в течение 10 – 15 с проба интенсивно перемешивалась и переносилась в фильтр Шота с фильтровальным мембранным элементом.

Полученный фильтрат отбирался и анализировался.

Во всех образцах определяли перманганатную окисляемость (ПО), мутность, цветность (Ц), содержание ферума согласно методиками, приведенным в [3].

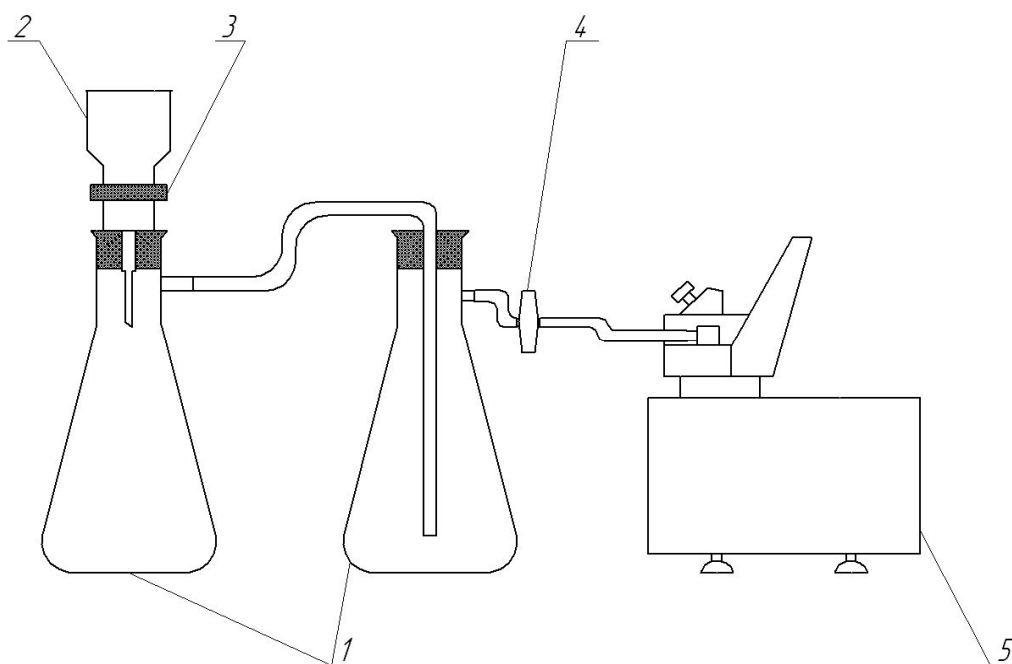


Рис. 1. Лабораторная установка ультраfiltrации:
 1 – колба Бунзена, 2 – фильтр Шота, 3 – мембранный элемент,
 4 – влагопоглощающий фильтр, 5 – вакуумный насос.

Основные характеристики мембранного элемента представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика мембранного элемента

| | |
|-------------------------------------|------------------|
| Марка | МФ «Владипор» |
| Тип | Пленочная |
| Материал | Ацетат целлюлозы |
| Средний диаметр пор, мкм | 0.05 |
| Молекулярное отсечение, Да | 80000 |
| Площадь фильтрации, мм ² | 854 |
| Диапазон pH | 4 – 9 |
| Диапазон температур, °С | 0 – 35 |

Все эксперименты проводились с использованием воды реки Днепр, отобранной после стадии грубой механической очистки на ТЭЦ-5 (г. Киев). Характеристики представлены в табл. 3.

Характеристики воды реки Днепр, октябрь – декабрь 2009 г.

| Параметр | Мутность, мг/дм ³ | Цветность, град | ПО, мгО ₂ /дм ³ | Ферум общ., мг/дм ³ |
|---------------|---------------------------------|--------------------|--|-----------------------------------|
| Исходная вода | 3 – 5 | 130 – 160 | 12 – 14 | 0,4 – 0,7 |

Результаты и обсуждения.

Анализ экспериментальных данных показал, что при фильтровании воды через УФ-мембрану мутность снижается на 99,5 %, в то время как цветность лишь на 20 – 30 %, а ПО – на 7 – 10 %.

Это обусловлено, как уже указывалось, специфическим молекулярно-массовым распределением ГВ в воде реки Днепр и хорошо соотносится с данными, приведенными в [4].

Степени снижения ПО (α) и цветности (β) рассчитывали по следующим формулам.

$$\alpha = \left(\frac{ПО_{исх} - ПО_{оч}}{ПО_{исх}} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $ПО_{исх}$, $ПО_{оч}$ – значение перманганатной окисляемости исходной и очищенной воды, соответственно, мгО₂/ дм³.

$$\beta = \left(\frac{Ц_{исх} - Ц_{оч}}{Ц_{исх}} \right) \cdot 100\%; \quad (2)$$

где $Ц_{исх}$, $Ц_{оч}$ – значение цветности исходной и очищенной воды, соответственно, градусы.

Эффективность снижения перманганатной окисляемости и цветности.

На начальной стадии эксперимента было проверено влияние вида коагулянта на снижение ПО и цветности днепровской воды при температуре 20 °С и дозе коагулянта 5 мг/ дм³.

Результаты эксперимента приведены на рис. 2, из которых очевидно, что все испытанные коагулянты понижают ПО воды при заданных условиях, однако наилучшие результаты по снижению ПО (на 42 %) были достигнуты при применении сульфата алюминия.

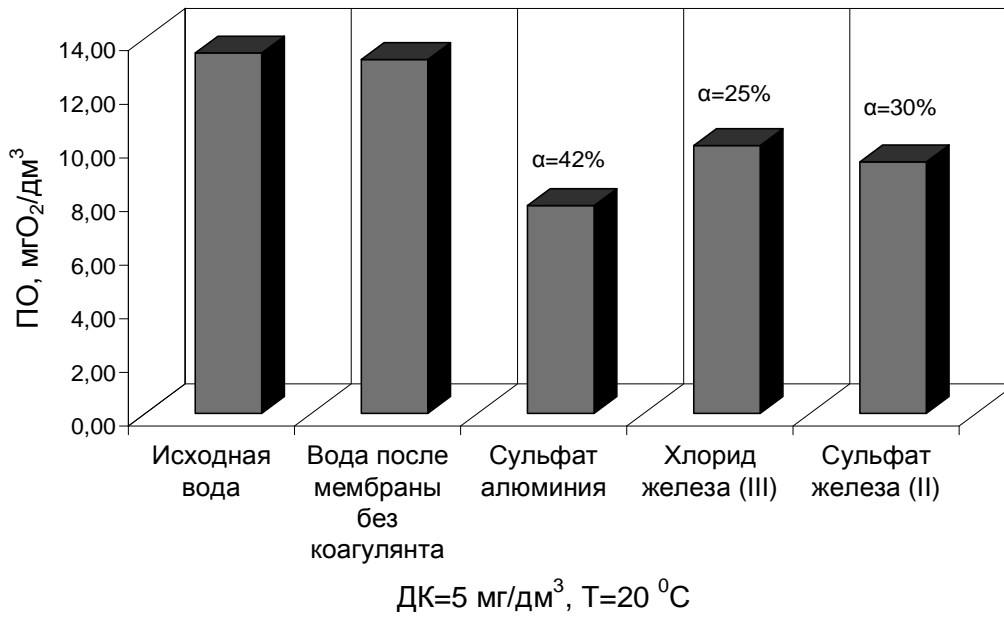


Рис. 2. Зависимость ПО и α от вида коагулянта

Влияние вида коагулянта на цветность фильтрата не было однозначным (рис. 3).

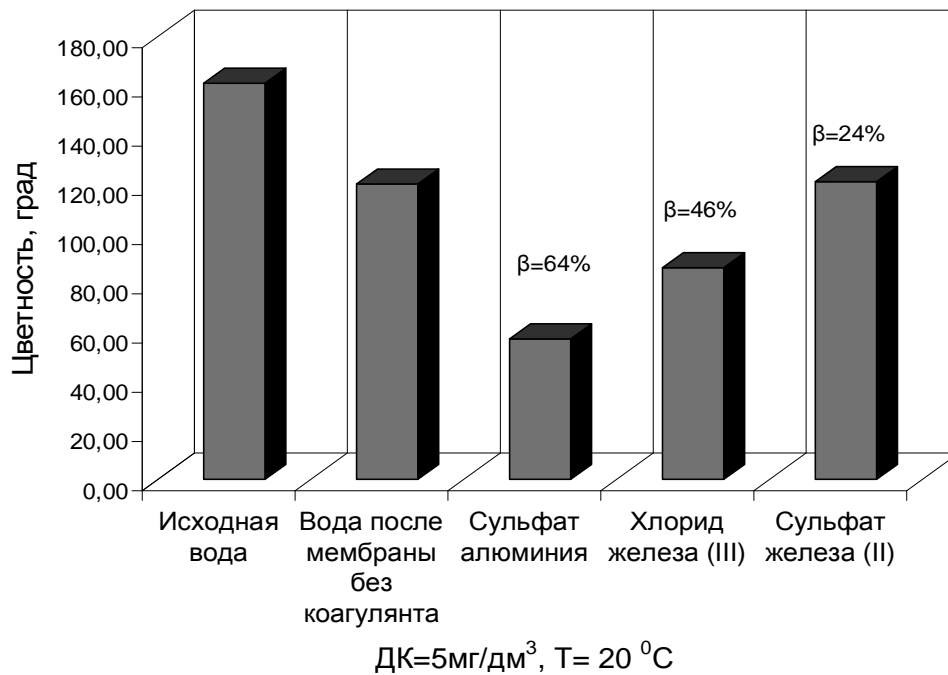


Рис. 3. Зависимость цветности и β от вида коагулянта

Из рис. 3 очевидно, что лучшие результаты по снижению цветности наблюдаются для сульфата алюминия (64 %), в то время как для хлорида ферума (III) и сульфата ферума (II) достигают всего 46 и 24 %, соответственно.

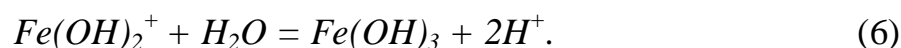
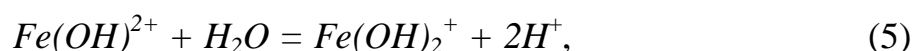
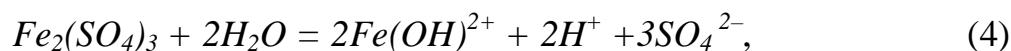
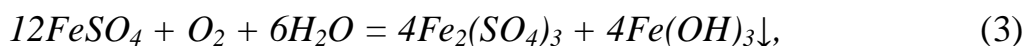
В экспериментах было, также, выявлено, что после использования сульфата ферума (II) в качестве коагулянта фильтрат мутнел.

Это объясняется тем, что ион Fe^{2+} при попадании в воду сначала окисляется, далее гидролизуется и лишь потом коагулирует.

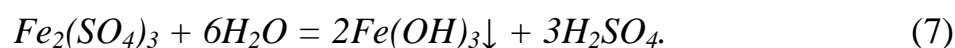
Предполагается, что времени фильтрования пробы, а также содержания растворенного кислорода в пробе было недостаточно для полного протекания перечисленных консекутивных процессов, которое продолжилось уже в фильтрате, что привело к помутнению и окрашиванию фильтрата.

Уравнения соответствующих реакционных процессов представлены ниже.

Помутнение фильтрата, после дозирования сульфата ферума (II) в воду перед стадией УФ, обуславливается, также, низкой прочностью образующихся хлопьев [5], которые деградируют и частично проникают в фильтрат.



Суммарное уравнение:



Результаты исследования влияния дозы коагулянта на снижение цветности, ПО и содержание остаточного ферума в фильтрате для сульфата ферума (II), приведенные на рис. 4, подтверждают утверждение о несвоевременном проявлении во времени и месте коагулянтном своего целевого предназначения, так как содержание остаточного ферума в фильтрате растет при повышении дозы коагулянта (кривая 1).

На рис. 5 и рис. 6 представлено влияние дозы коагулянта на снижение ПО и цветности для сульфата алюминия и хлорида ферума (III), соответственно.

Анализ представленных данных показывает, что максимальные степени снижения ПО составляет и цветности составляет 71 – 88 %, соответственно, и достигаются при использовании сульфата алюминия при дозе коагулянта 10 мг/дм³ в нормальных температурных условиях.

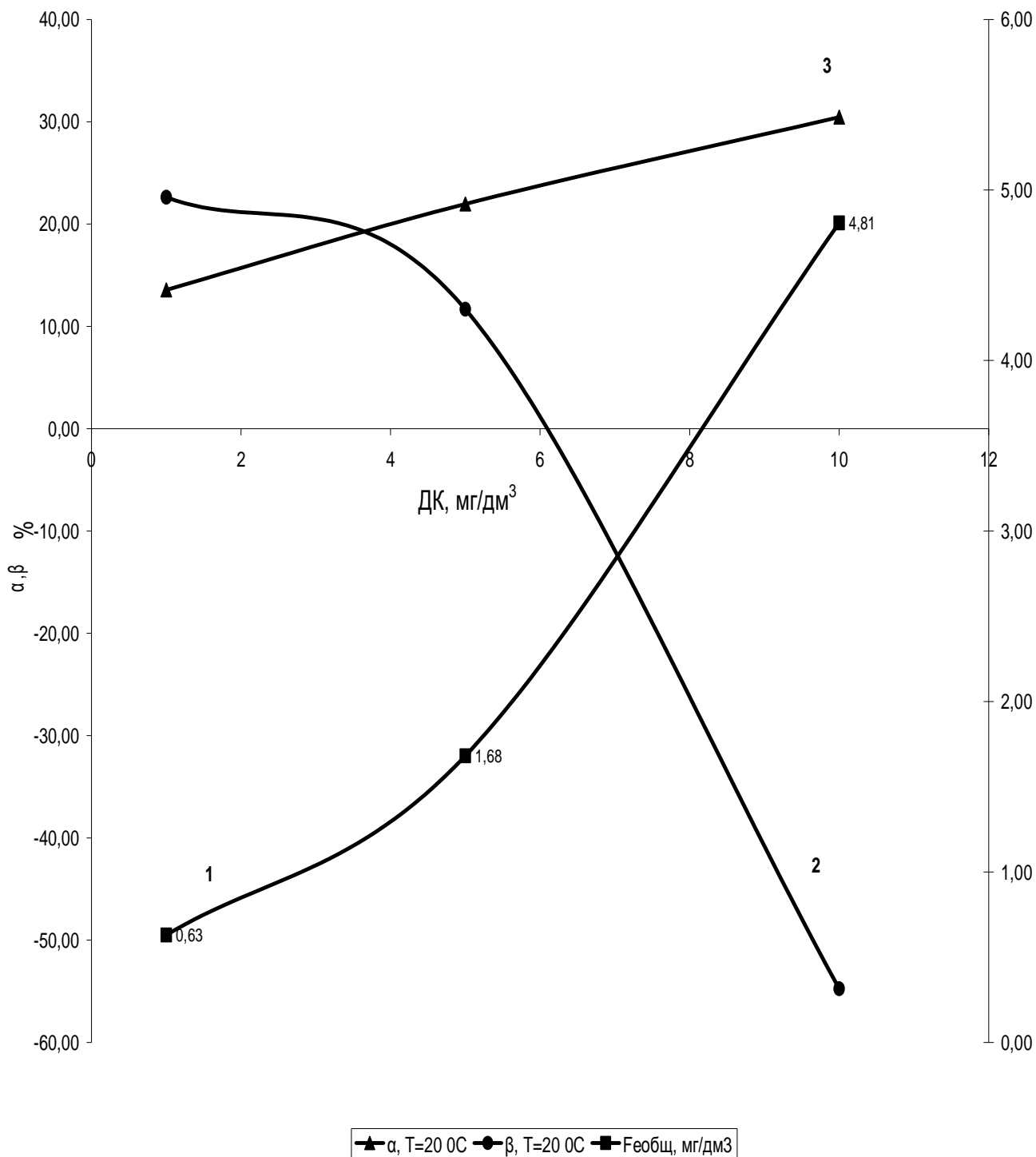


Рис. 4. Зависимость α, β и содержания остаточного ферума от дозы коагулянта для сульфата ферума (II)

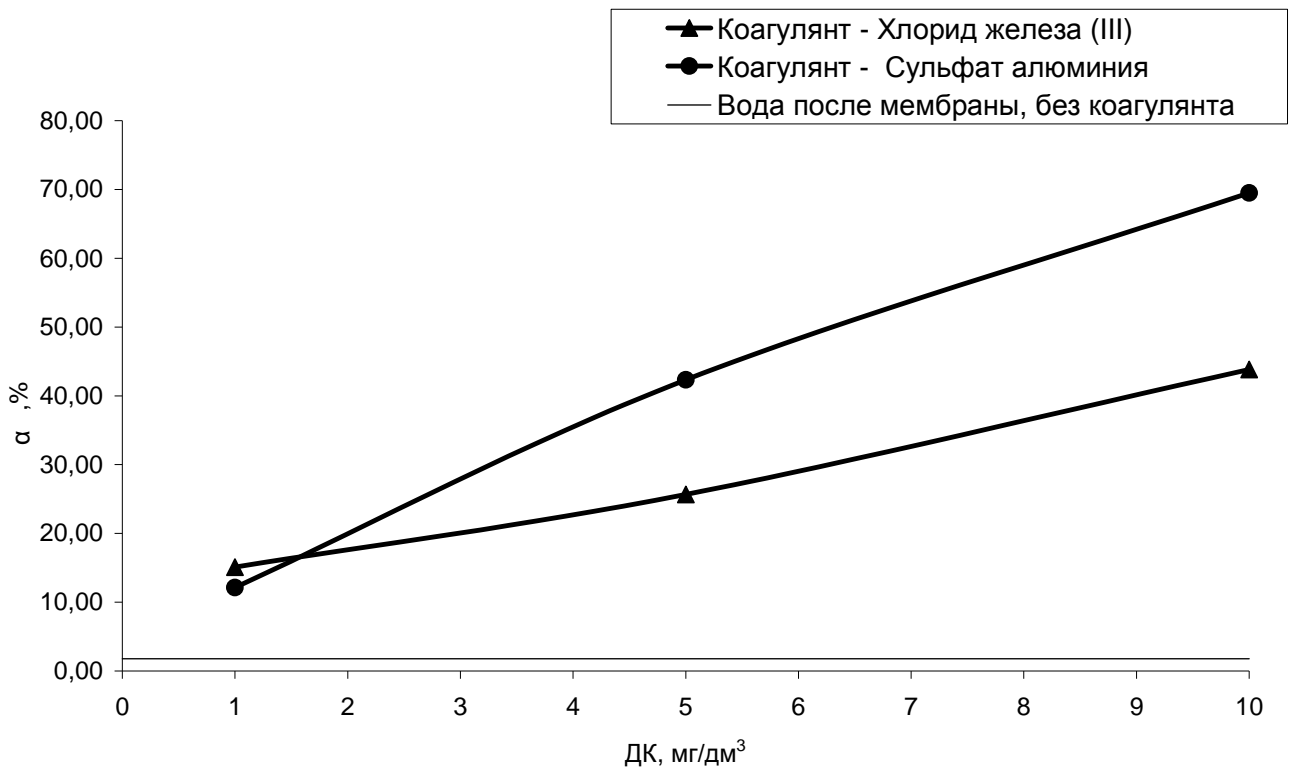


Рис. 5. Зависимость α от дозы коагулянта для сульфата алюминия и хлорида феррума (III)

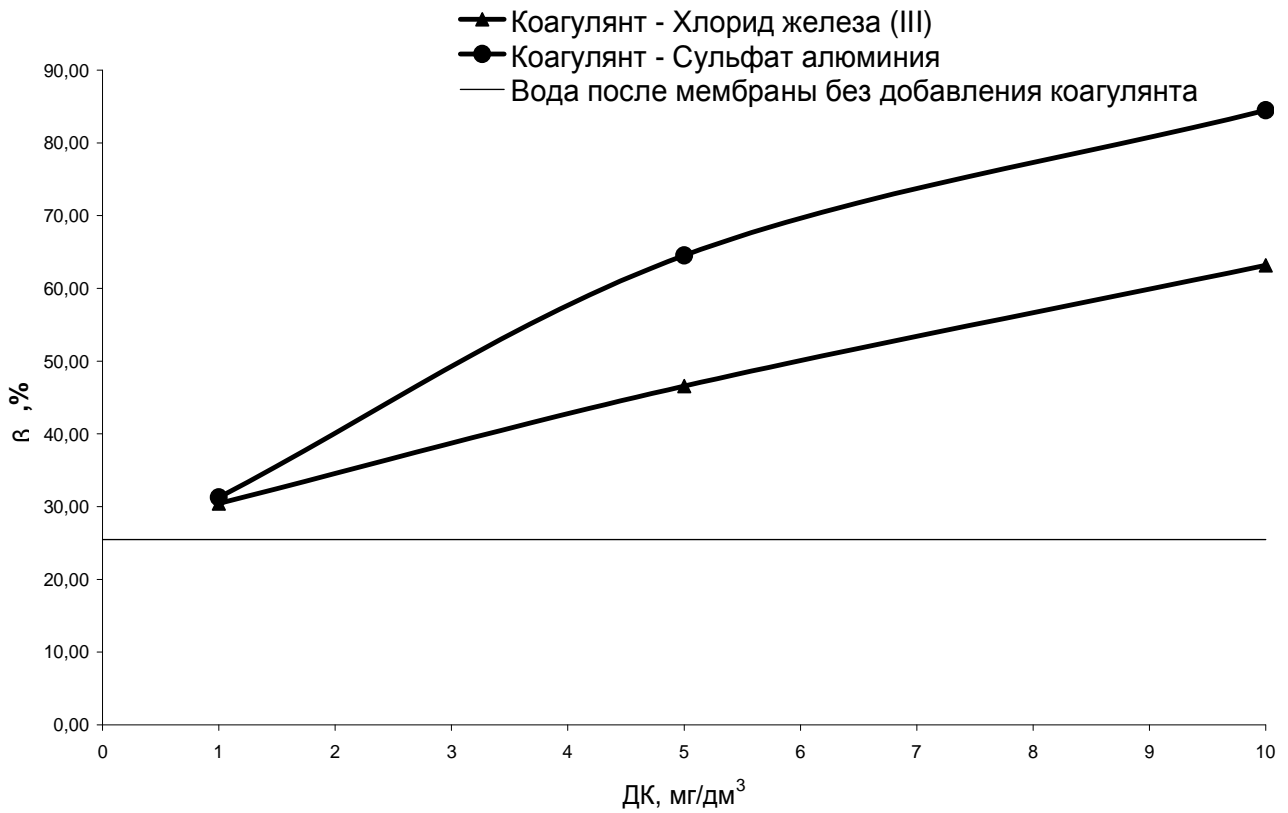


Рис. 6. Зависимость β от дозы коагулянта для сульфата алюминия и хлорида феррума (III)

Выводы.

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют, что использование прямоочной коагуляции перед ультрафильтрацией повышает эффективность удаления ГВ из поверхностной воды (на примере воды реки Днепр).

Также было установлено, что применение сульфата ферума (II) неэффективно для удаления ГВ.

Это связано с образованием ряда промежуточных соединений Fe^{3+} обуславливающих помутнение и вторичное окрашивание раствора.

Дозирование хлорида железа (III) и сульфата алюминия позволяют повысить эффективность процесса очистки воды.

Снижение цветности происходит на 60 и 88 %, снижение ПО – на 40 и 70 %, соответственно.

Список литературы: 1. Ultrafiltration with pre-coagulation for the Dniper river water conditioning: материалы междн. науч.-практ. конф. Desalination for the environment. [«Clean water and energy»] / (Baden-Baden, 17 – 20 May, 2009). – Baden-Baden, 2009. – С 66. 2. Adsorption of humic compounds from tap water by a scavenger combination // Waaerchemische Gessellschaft-Fachgruppe in der Gessellschaft Deutscher Chemiker Postfach 6980D-76/28. – 2003. – P. 428 – 432. 3. *Запольский А.К.* Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / [А.К. Запольский, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін и др.]. – К.: Лібра, 2000. – 552 с. 4. *Андреанов А.П.* Анализ и оптимизация работы современных мембранных технологий при обработке вод из поверхностных источников / А.П. Андреанов, А.Г. Первов // Вода и водоочистные технологи. – 2009. – № 10. – С. 12. 5. *Barbot E.* Coagulation and ultrafiltration: Understanding of the key parameters of the hybrid process / [E. Barbot, S. Moustier, J.Y. Bottero, P. Moulin] // Journal of membrane Science. – 2008. – № 325. – P. 520 – 527.

Поступила в редколлегию 22.03.10