

## Исследование динамики снижения концентрации активного хлора во времени при обеззараживании воды гипохлоритом натрия

*И.В. Пчельников, В.М. Бубнов, Ю.С. Щукина, Д.А. Заичко*

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М. И. Платов, г. Новочеркасск*

**Аннотация:** В статье представлены результаты экспериментальных исследований по изучению изменения концентрации активного хлора в воде, обработанной гипохлоритом натрия при воздействии на неё УФ-излучения и её контакте с поверхностью бетона. Полученные результаты исследований направлены на изучение и решение проблемы отсутствия остаточного активного хлора в наиболее удаленных точках водоразбора крупных городов имеющих большую протяженность водоразводящих сетей.

**Ключевые слова:** обеззараживание воды, гипохлорит натрия, хлорирование, дезинфекция; остаточный активный хлор.

### Введение

На сегодняшний день одним из самых распространённых способов обеззараживания воды в мире по-прежнему остаётся хлорирование [1-3]. Хлор является сильным окислителем, обладающим высокими дезинфицирующими свойствами. Одним из главных отличий хлора от ряда других распространённых методов обеззараживания вод, например, озонирования [4] или ультрафиолета [5], является его пролонгированное действие, которое исключает возможность её повторного заражения при транспортировке потребителям по водопроводным сетям.

В последние годы хлорирование воды осуществляется за счет введения хлор-агента – гипохлорита натрия (ГХН), привозного или приготовляемого на месте потребления путем прямого электролиза раствора пищевой соли [6,7].

Крупные города, использующие ГХН в качестве основного реагента для обеззараживания воды, нередко, в особенности в летний период времени, сталкиваются с проблемой отсутствия остаточного активного хлора в наиболее удаленных точках водоразбора [8].

После введения ГХН и его диссоциации, образующаяся хлорноватистая кислота – активный хлор со временем теряет свою концентрацию, а, следовательно, его обеззараживающие свойства ослабевают [9,10].

К основным факторам, влияющим на скорость разложения остаточного хлора в воде, следует отнести температуру, наличие и интенсивность ультрафиолетового излучения, а также его контакт с различными материалами, способными вступать с ним в реакцию, такими, как бетон сооружений, поверхность металлических трубопроводов или органоминеральные примеси, попадающие в воду в результате вторичного загрязнения при её транспортировке.

Цель работы – экспериментальное исследование динамики разложения активного хлора в воде после ее обеззараживания гипохлоритом натрия при воздействии на неё ультрафиолетового излучения и контакта с бетоном.

### **Материалы и методы исследований**

Исследование скорости разложения остаточного активного хлора в воде проводили в открытых – сообщающихся с атмосферой и закрытых ёмкостях объемом 5 л.

Исследования проводили с моделированием воздействия на обеззараженную воду четырех видов:

- открытые ёмкости с воздействием УФ-излучения;
- закрытые ёмкости без воздействия УФ-излучения;
- открытые ёмкости с воздействием УФ-излучения и контактом с поверхностью бетона;
- закрытые ёмкости без воздействия УФ-излучения и контактом с поверхностью бетона.

В качестве источника УФ периодического действия, использовали солнечный свет. В качестве элемента, обеспечивающего контакт с поверхностью бетона, использовали бетонный куб с размерами 0,1x0,1x0,1 м.

Для исключения возможного органического загрязнения на поверхности куба была выполнена его санация в течении 2 ч раствором гипохлорита натрия с концентрацией активного хлора  $100 \text{ мг/дм}^3$ . После, он был тщательно отмыт водопроводной водой и высушен.

Для определения динамики снижения концентрации активного хлора в воде, готовили модельную воду с его содержанием 0,5; 1,0; 1,5; 5,0 и  $10,0 \text{ мг/дм}^3$  объёмом по  $5 \text{ дм}^3$  каждый. Модельную воду готовили на водопроводной воде из источника р. Дон (г. Новочеркасск) с добавлением в неё раствора 0,1 % раствора гипохлорита натрия. После доведения активного хлора до требуемых концентраций, образцы помещались в условия, предусмотренные исследованиями. После размещения воды в исследуемых образцах, через каждые 24 часа определяли остаточный активный хлор. Температура исследуемой воды во всей серии экспериментов находилась в пределах  $21,0 - 23,0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Исследования выполняли до стабилизации значения активного хлора или его полного отсутствия.

Определение концентрации остаточного активного хлора проводили по ГОСТ 18190-72 «Методы определения содержания остаточного активного хлора».

### **Результаты исследований**

Результаты исследования влияния ультрафиолетового излучения на динамику разложения остаточного активного хлора в воде, представлены на рисунке 1.

Согласно полученным данным, установлено, что разложение активного хлора наиболее быстро протекает при прямом воздействии УФ-излучения. Так, при исходном содержании активного хлора  $10,0 \text{ мг/дм}^3$  и прямом УФ-излучении (рис.1.а), наблюдали близкое к экспоненциальному снижению.

---

После первых суток, концентрация активного хлора уменьшилась на 46%, на второй и третий день - уже на 68 и 74 %, соответственно.

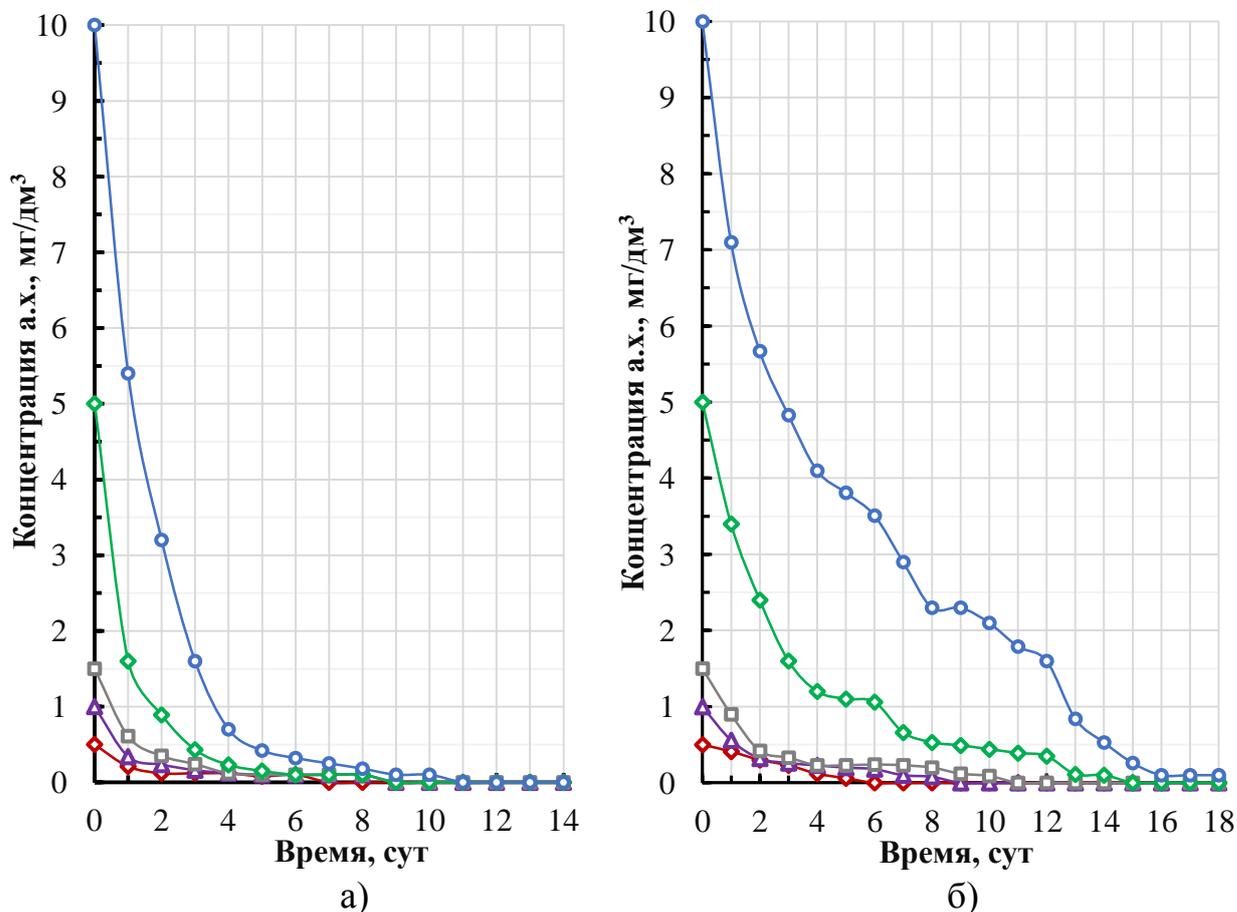


Рис. 1. – Динамика снижения остаточного активного хлора во времени:

а) при воздействии УФ-излучения; б) без воздействия УФ-излучения

Полное отсутствие активного хлора в воде зафиксировано на одиннадцатый день. В то же время, в условиях отсутствия УФ-излучения (рис.1.б) концентрация активного хлора в первый день снизилась на 29%, во второй и третий - на 43,3 и 51,7 %, а его полное отсутствие установлено на восемнадцатый день.

Что касается исследований с меньшими исходными концентрациями активного хлора, то при воздействии УФ-излучения полное отсутствие остаточного хлора зафиксировано: при 1,0 1,5 и 5,0 мг/дм<sup>3</sup> спустя 9 суток; при 0,5 мг/дм<sup>3</sup> спустя 7 суток. В исследованиях с отсутствием УФ-излучения полное отсутствие остаточного хлора зафиксировано: при 5,0 мг/дм<sup>3</sup> - спустя

15 суток; при  $1,5 \text{ мг/дм}^3$  - спустя 11 суток; при  $1,0 \text{ мг/дм}^3$  - спустя 9 суток; при  $0,5 \text{ мг/дм}^3$  - спустя 6 суток.

Полученные графики, независимо от исходной концентрации активного хлора, имеют общую, схожую динамику его снижения.

Результаты исследования влияния бетонной поверхности ультрафиолетового излучения на динамику разложения остаточного активного хлора в воде, представлены на рисунке 2.

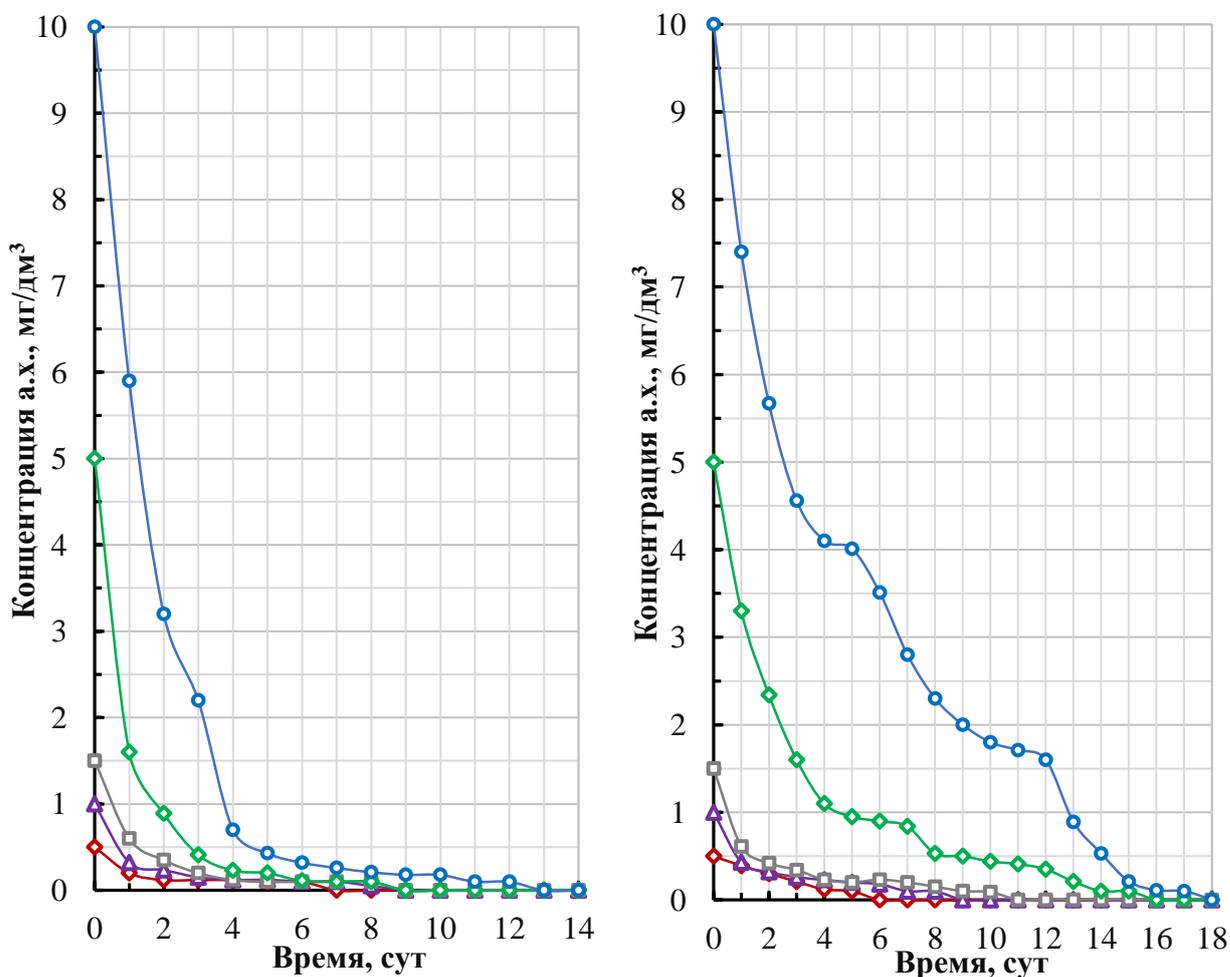


Рис. 2. – Динамика снижения остаточного активного хлора во времени при контакте воды с бетоном: а) при воздействии УФ-излучения; б) без воздействия УФ-излучения.

Согласно полученным данным, установлено, что, как и в предыдущем эксперименте, разложение активного хлора наиболее быстро протекает при прямом воздействии УФ-излучения. Однако, снижение остаточной

концентрации активного хлора в воде при её контакте с поверхностью бетонного куба, протекает более интенсивно. Такой эффект объясняется расходом активного хлора на реакции с компонентами, входящими в состав бетона при глубоком проникновении в его толщу.

Несмотря на более резкое снижение остаточного хлора в первые часы контакта, его полное отсутствие зафиксировано в тех же временных диапазонах, что и в ранее проведенных экспериментах.

Таким образом, установлено, что контакт обеззараженной воды с поверхностью бетона оказывает влияние на скорость снижения остаточного активного хлора. Так как исследования проводили в нормальных условиях, при температуре воды 21,0 – 23,0 °С, то в последующем необходимо установить влияние температуры обеззараживаемой воды на динамику снижения активного хлора в диапазоне температур от 2,0 до 30,0 °С.

### **Выводы**

На основе проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Проблема отсутствия остаточного активного хлора в наиболее удаленных точках водоразбора крупных городов является актуальной и должна быть изучена и решена для предотвращения потенциального заражения питьевой воды при её транспортировке.
2. Экспериментально установлено, что разложение активного хлора в первые два дня наиболее интенсивно протекает при прямом воздействии УФ-излучения. Полное отсутствие активного хлора в воде при комнатной температуре среды и его исходной концентрации 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, зафиксировано спустя 9 суток.
3. Экспериментально установлено, что снижение остаточной концентрации активного хлора в воде при её контакте с поверхностью бетона куба протекает более интенсивно.

4. Установлено, что, несмотря на более интенсивное снижение остаточного хлора в первые часы контакта с бетонной поверхностью, его полное отсутствие зафиксировано в тех же временных диапазонах, что и в ранее проведенных экспериментах. Отсутствие активного хлора в воде при комнатной температуре среды и его исходной концентрации  $1,0 \text{ мг/дм}^3$  зафиксировано спустя 9 суток.

5. На основании проведенных исследований установлена необходимость последующего экспериментального изучения влияния температуры обеззараживаемой воды на динамику снижения активного хлора в диапазоне температур от  $2,0$  до  $30,0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Литература

1. Гончарук В.В., Потапченко Н.Г. Современное состояние проблемы обеззараживания воды // Химия и технология воды, 1998. – Т. 20, № 2. – С. 119-217.

2. Baxter G. Chlorine disinfection: The industry standard // J. Water Supply, 1995. – V. 13, №. 2. – P. 183-193.

3. Бреус С.А., Скрыбин А.Ю., Фесенко Л.Н. Разработка технологии очистки природной воды для питьевых целей на период чрезвычайных ситуаций: производство активного хлора электролизом воды// Инженерный вестник Дона, 2016, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3655](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3655).

4. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

5. Серпокровлов, Н. С., Кожин С. В., Тайвер Е. А. Очистка сточных вод бассейнов для содержания ластоногих до норм оборотного водоснабжения // Инженерный вестник Дона, 2011, №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/380](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/380)

---

6. Фесенко Л.Н., Денисов В.В., Скрябин А.Ю. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство, применение, экономика и экология / Под ред. проф. В.В. Денисова. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2012. – 246 с.
7. Медриш Г.Л., Тейшева А.А., Басин Д.Л. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза. - Москва Стройиздат 1982. – 81с.
8. Черкесов, А. Ю. Дохлорирование воды: проблемы проектирования / А. Ю. Черкесов // Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2023»: Материалы XIV Международной научно-практической конференции, Кисловодск, 18–21 апреля 2023 года. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2023. – С. 90-95.
9. Brito CD, de Araujo EG, Martinez-Huitle CA Application of Advanced Oxidation Methods for Water Disinfection// Revista virtual de quimica, V.7, №.5, 2015. Pp. 1617-1634.
10. National Primary Drinking Water Regulations: Stage 2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule. Environmental protection agency // Federal Register, 2016. V. 71, № 2. Pp. 388-493.

### References

1. Goncharuk V.V., Potapchenko N.G. Himiya i tekhnologiya vody, 1998. V. 20, № 2. pp. 119-217.
  2. Baxter G.J. Water Supply, 1995. VI. 13, №2. P. 183-193.
  3. Breus S.A., Skryabin A.Yu., Fesenko L.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3655](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3655).
  4. Vodopodgotovka [Water treatment]: Spravochnik. Pod red. d.t.n., dejstvitel'nogo chlena Akademii promyshlennoj jekologii S.E. Belikova. M.: Akva-Term, 2007. 240 p.
-



5. Serpokrylov, N. S., Kozhin S. V., Tyver E. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, № 1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/380](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/380)
6. Fesenko L.N., Denisov V.V., Skryabin A.YU. Dezinfektant vody – gipohlorit natriya: proizvodstvo, primenenie, ekonomika i ekologiya [Water disinfectant – sodium hypochlorite: production, application, economics and ecology]. Pod red. prof. V.V. Denisova. Rostov-na-Donu: Izd-vo SKNC VSH YUFU, 2012. 246 p.
7. Medrish G.L., Tejsheva A.A., Basin D.L. Obezrazhivanie prirodnyh i stochnyh vod s ispol'zovaniem elektroliza [Disinfection of natural and wastewater using electrolysis]. Moskva. Strojizdat 1982. 81p.
8. Cherkesov, A. YU. Tekhnologii ochistki vody "TEKHNOVOD-2023": Materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Kislovodsk, 2023. Novocherkassk: OOO "Lik", 2023. pp. 90-95.
9. Brito CD, de Araujo EG, Martinez-Huitle CA Application of Advanced Oxidation Methods for Water Disinfection. Revista virtual de quimica, V.7, № 5, 2015. Pp. 1617-1634.
10. National Primary Drinking Water Regulations: Stage 2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule. Environmental protection agency. Federal Register, 2016. V. 71, № 2. pp. 388-493.