

© Алешня В.В., Журавлёв П.В., Панасовец О.П., Седова Д.А., 2018

УДК 614.7:546.13.001.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНОГО ХЛОРА НА ПАТОГЕННЫЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ПАТОГЕННЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ

В.В. Алешня¹, П.В. Журавлёв¹, О.П. Панасовец², Д.А. Седова¹

¹ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора, пер. Газетный, д. 119, г. Ростов-на-Дону, 344000, Россия

²Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области в г. Белая Калитва», Коммунистическая ул., 23А, г. Белая Калитва, Ростовская область, 347042, Россия

В экспериментальных условиях дана оценка эффективности воздействия активного хлора на жизнеспособность микроорганизмов, имеющих санитарно-эпидемиологическое значение. Показано, что в условиях интенсивного загрязнения водоемочника и при максимальной нагрузке на очистные сооружения при двойном хлорировании (доза хлора 5 мг/л) через 30 минут контакта с обеззараживающим агентом погибала только лишь *E. coli*, тогда как условно-патогенные и патогенные микроорганизмы, заражающая доза которых находилась в тех же пределах (50 000 КОЕ/л), инактивировались на 99,9 %. При увеличении вносимой дозы в 10 и 100 раз степень инактивации снижалась у сальмонелл до 99,5 %, синегнойных палочек – до 99,2 %, у клебсиел осталась на прежнем уровне – 99,9 %. Это предопределяет возможность появления их в питьевой воде, что может привести к возникновению острых кишечных инфекций среди населения.

Ключевые слова: модельный водоем, активный хлор, *E. coli*, сальмонеллы, потенциально патогенные микроорганизмы.

V.V. Aleshnya, P.V. Zhuravlev, O.P. Panasovets, D.A. Sedova □ **EXPERIMENTAL STUDY OF ACTIVE CHLORINE INFLUENCE TO PATHOGENIC AND POTENTIALLY PATHOGENIC MICROORGANISMS** □ Rostov Scientific Research Institute of Microbiology and Parasitology of Rospotrebnadzor, 119, Gazetny, Rostov-on-Don, 344010, Russia; Rostov Region Center of Hygiene and Epidemiology in Belaya Kalitva, 23A, Kommunisticheskaya str., Rostov Region Belaya Kalitva, 347040, Russia.

In experimental conditions, an assessment was given on the efficiency of active chlorine effect on the viability of microorganisms having a sanitary-epidemiological significance. It was shown that in conditions of intensive water source contamination of maximum load using treatment facilities with double chlorination (chlorine dose 5 mg/l) after 30 minutes of contact, only *E.coli* died, at the same time, conditionally pathogenic and pathogenic microorganisms, the infective dose of which was within the same limits (50 000 CFU/l), were inactivated by 99,9 %; with an increase in the applied dose of 10 and 100 times, the degree of inactivation decreased in *Salmonella* to 99,5 %, in *Pseudomonas aeruginosa* to 99,2 %, *Klebsiella* remained at the same level of 99,9 %. This predetermines the possibility of their appearance in drinking water, which can lead to the emergence of acute intestinal infections among the population.

Key words: model reservoir, active chlorine, *E. coli*, *Salmonella*, potentially pathogenic microorganisms.

Повсеместное загрязнение воды открытых водоемов, в том числе патогенными и потенциально патогенными микроорганизмами, такими как сальмонеллы, клебсиеллы, синегнойные палочки и другие [2, 4, 5, 9], является одной из основных причин появления их в питьевой воде водопроводной сети [1, 3]. В ряде регионов доля проб питьевой воды, не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям, достигает уровня 5–7 % [7, 8]. Поэтому формируются угрозы вспышек острых кишечных инфекций, передаваемых водным путем [6, 10, 11, 13, 15]. Критерии, предлагаемые для санитарно-бактериологической оценки качества водопроводной воды, должны гарантировать ее эпидемическую безопасность [12, 14]. Хлорирование является наиболее распространенным методом обеззараживания питьевой воды как в нашей стране, так и за рубежом и до недавнего времени считалось достаточно эффективным в отношении санитарно-показательных, потенциально патогенных и патогенных микроорганизмов, поэтому при выборе приоритетных индикаторных микроорганизмов, количественное определение которых позволит с достаточной надежностью характеризовать уровень риска возникновения кишечных инфекций, связанных с условиями водопользования, необходимо учи-

тывать их хлороустойчивость при обеззараживании воды на водоочистных сооружениях [16].

Цель исследования – сравнительная оценка действия активного хлора на микроорганизмы, имеющие санитарно-эпидемиологическое значение.

Материалы и методы. Исследования проводили в экспериментальных условиях с использованием стерильной речной воды, отобранной из биотопа в месте водозабора водопровода г. Азова Ростовской области. В качестве модельного водоема использовали баллоны емкостью 10 л.

Для экспериментов взяты свежевыделенные из р. Дон штаммы микроорганизмов: *Salmonella typhimurium* как наиболее часто выделяемые лактозоотрицательные патогенные микроорганизмы из воды открытых водоемов Южной зоны Российской Федерации; *Klebsiella pneumonia* и *Pseudomonas aeruginosa* как наиболее типичные представители лактозоотрицательных потенциально патогенных микроорганизмов, выделяемых из речной воды; *Escherichia coli* как лактозоположительный санитарно-показательный микроорганизм.

Вышеперечисленные штаммы бактерий с типичными для своего вида свойствами были внесены в модельные водоемы в количествах 10^4 , 10^5 , 10^6 КОЕ/л.

Учитывая высокий уровень бактериального загрязнения воды азовского водозабора [1], особенно при максимальной нагрузке на водоочистные сооружения в паводковый период, в эксперименте использовали обеззараживание воды хлором из суммарного расчета 5 мг активного хлора на 1 л воды. Сроки экспозиции составили 5, 20, 30 и 60 мин.

Результаты исследования. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1 и 2.

Как видно из данных, представленных в табл. 1 и 2, через 30 минут контакта с хлором из модельного водоема исчезала только *E. coli*, вносимая в концентрации 50 000 КОЕ/л, и не появлялась до конца эксперимента. Остальные микроорганизмы, заражающая доза которых находилась в тех же пределах, погибали лишь через час. При увеличении вносимой дозы бактерий в 10 и 100 раз *E. coli* погибала через 60 мин, в то же время степень инактивации у сальмонелл снижалась до 99,5 %, клебсиелл – до 99,9 % и синегнойных палочек – до 99,2 %. Таким образом, результаты исследо-

вания обеззараживающего действия хлора на изучаемые бактерии показали, что при высоких уровнях контаминации дозы хлора не приводят к полной гибели патогенных и потенциально патогенных микроорганизмов в воде. Отмечается обратная зависимость обеззараживающего действия хлора от исходной концентрации микроорганизмов в воде водозабора, то есть с увеличением уровня контаминации эффективность инактивации микрофлоры снижается. При этом процесс инактивации лактозоположительных микроорганизмов семейства *Enterobacteriaceae* на примере *E. coli* происходит более интенсивно по сравнению с лактозоотрицательными – сальмонеллами, клебсиеллами и синегнойными палочками. Учитывая высокий уровень их содержания в месте водозабора и достаточно высокую устойчивость к воздействию хлора, на водоочистных сооружениях г. Азова не происходит полной гибели этих микроорганизмов, в связи с чем отмечается их поступление в водопроводную сеть [1].

Таблица 1. Динамика инактивации сальмонелл и *E. coli* под воздействием хлора в водной среде (доза активного хлора 5 мг/л)

Table 1. Dynamics of inactivation of Salmonella and *E. coli* under the influence of chlorine in aqueous medium (dose of active chlorine 5 mg/l)

Время контакта (мин)	Содержание (КОЕ в 1 л)		Инактивация (%)	
	<i>E. coli</i> (М ± м)	Сальмонеллы (М ± м)	<i>E. coli</i>	Сальмонеллы
Контроль	48 000	45 500	0	0
5	1 300 ± 370	1 100 ± 354	97,3	97,6
20	0	150 ± 44	100	99,7
30	0	14 ± 3	100	99,9
60	0	0	100	100
Контроль	480 000	455 000	0	0
5	14 000 ± 4 333	18 000 ± 4 270	97	96
20	6 500 ± 1 956	8 000 ± 2 330	98,7	92,2
30	700 ± 212	4 000 ± 1 257	99,9	99,1
60	0	800 ± 264	100	99,8
Контроль	4 800 000	4 550 000	0	0
5	320 000 ± 94 250	300 000 ± 86 530	93,3	93,4
20	130 000 ± 35 873	150 000 ± 36 724	97,3	96,7
30	16 000 ± 1 273	70 000 ± 22 104	99,3	98,5
60	0	23 000 ± 7 340	100	99,5

Таблица 2. Динамика инактивации клебсиелл и синегнойных палочек под воздействием хлора в водной среде (доза активного хлора 5 мг/л)

Table 2. Dynamics of inactivation of Klebsiella and Pseudomonas aeruginosa under the influence of chlorine in aqueous medium (dose of active chlorine 5 mg/l)

Время контакта (мин)	Содержание (КОЕ в 1 л)		Инактивация (%)	
	Клебсиеллы (М ± м)	Синегнойные палочки (М ± м)	Клебсиеллы	Синегнойные палочки
Контроль	50 000	36 500	0	0
5	1 000 ± 306	2 000 ± 642	98,0	94,5
20	150 ± 34	250 ± 78	99,7	99,3
30	16 ± 5	21 ± 6	99,9	99,9
60	0	0	100	100
Контроль	500 000	365 000	0	0
5	15 000 ± 4 726	33 000 ± 9 833	97,0	91
20	7 000 ± 2 877	13 000 ± 4 135	98,6	96,4
30	3 000 ± 857	9 000 ± 2 452	99,4	97,5
60	200 ± 67	2 000 ± 6 314	99,9	99,5
Контроль	5 000 000	3 650 000	0	0
5	260 000 ± 87 101	380 000 ± 124 477	94,8	89,6
20	180 000 ± 54 268	260 000 ± 84 056	96,4	92,9
30	80 000 ± 26 415	120 000 ± 34 973	98,4	96,7
60	4 000 ± 1 267	30 000 ± 9 222	99,9	99,2

Экспериментальные данные подтверждены натурными наблюдениями на водопроводах различных климатических зон страны. Так, изучение видового состава бактерий, выделяемых после первичного хлорирования на Рублевской водопроводной станции, показало наибольшую устойчивость клебсиелл, энтеробактеров, цитробактеров и других лактозоотрицательных видов микроорганизмов к обеззараживающему агенту, что подтверждает их индикаторное значение в выявлении возможного пути проникновения возбудителей инфекционных заболеваний в питьевую воду. При этом бактерии *E. coli* обнаружены не были [4].

Заключение. Результаты изучения обеззараживающего действия хлора на санитарно-показательные, патогенные и потенциально патогенные бактерии показали, что при высоких уровнях контаминации воды водоисточника дозы хлора, предусмотренные при двойном хлорировании, не приводят к полной гибели изучаемых микроорганизмов. Кроме того, экспериментальными и натурными исследованиями установлено, что нормируемые колиформные бактерии, определяемые по ферментации лактозы, оказались менее устойчивыми к действию обеззараживающего агента по сравнению с сальмонеллами и потенциально патогенными бактериями (клебсиеллы, синегнойные палочки и др.). Это может привести к попаданию последних в водопроводную сеть и вызывать среди населения водообусловленные кишечные инфекции, так как отсутствие нормируемых микроорганизмов не гарантирует отсутствие инфекционных агентов, потому что неучтенными остаются лактозонегативные энтеробактерии, к которым относится значительное количество микроорганизмов, вызывающих кишечные инфекции.

Меньшая устойчивость к хлору общих колиформных бактерий (на примере *E. coli*) свидетельствует о снижении их индикаторного значения, что необходимо учитывать при проведении микробиологического контроля за процессами обеззараживания воды.

ЛИТЕРАТУРА (п. 12—16 в References)

- Алешня В.В., Журавлёв П.В., Панасовец О.П., Артёмов Т.З., Загайнова А.В., Швагер М.М., Глухов А.А., Джансейдов Б.Х., Мурачева Н.Н. и др. Роль санитарно-гигиенических факторов в распространении бактериальных кишечных инфекций водным путем // *Здоровье населения и среда обитания*. 2017. № 10 (295). С. 20–23.
- Березняк Е.А., Тришина А.В., Веркина Л.М., Симонова И.Р., Бареева А.Е., Сагакианц М.М., Титова С.В. и др. Мониторинг условно-патогенной микрофлоры водоемов города Ростова-на-Дону // *Здоровье населения и среда обитания*. 2016. № 2 (275). С. 40–43.
- Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения: СанПиН 2.1.4.1074-01 (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.04.2009 № 20). М.: Роспотребнадзор, 2009. 28 с.
- Журавлёв П.В., Алешня В.В., Панасовец О.П., Артёмов Т.З., Недачин А.Е., Загайнова А.В. и др. Оценка риска возникновения водно-обусловленных бактериальных кишечных инфекций при питьевого водопользовании // *Вестник Северо-Кавказского федерального университета*. 2013. № 3. С. 114–119.
- Загайнова А.В., Талаева Ю.Г., Дмитриева Р.А. и др. Оценка эпидемической опасности патогенных и условно-патогенных бактерий, выделенных из воды различного вида водопользования // *Гигиена и санитария*. 2010. № 5. С. 68–73.
- Онищенко Г.Г., Троценко О.Е., Отт В.А., Курганова О.П. и др. Влияние экологических факторов на заболеваемость острыми кишечными инфекциями с преимущественно водным путем распространения возбудителей на территориях Приамурья // *Биосфера*. 2014. Т. 6. № 1. С. 77–88.
- О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2015 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2016. 220 с.
- Попова А.Ю. Стратегические приоритеты Российской Федерации в области экологии с позиции сохранения здоровья нации // *Здоровье населения и среда обитания*. 2014. № 2 (251). С. 4–7.
- Савилов Е.Д., Анганова Е.В. Микробиологический мониторинг водных экосистем // *«Гигиена и санитария»*. 2010. № 5. С. 56–58.
- Сурмашева Е.В., Корчак Г.И., Михиенкова А.И., Никонова Н.А., Россда М.А. и др. Требования к качеству питьевой воды в Украине и инфекционная заболеваемость с водным путем передачи возбудителей // *Гигиена и санитария*. 2013. № 6. С. 33–37.
- Троценко О.Е., Корита Т.В., Сапега Е.Ю., Бондаренко А.П., Курганова О.П. и др. Современные представления об эпидемиологии острых кишечных инфекций, передающихся водным путем // *Дальневосточный журнал инфекционной патологии*. 2015. № 26. С. 58–67.

REFERENCES

- Aleshnya V.V., Zhuravlev P.V., Panasovets O.P., Artemova T.Z., Zagaynova A.V., Schwager M., Glukhov A.A., Dzhansheydov B.Kh., Muracheva N.N. Rol' sanitarno-gigienicheskikh faktorov v rasprostraneni bakterial'nykh kishchnykh infektsiy vodnym putem [The Role of hygienic factors in the spread of bacterial intestinal infections by water]. *Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya*, 2017, no. 10 (295), pp. 20–23. (In Russ.)
- Bereznyak E.A., Trishina A.V., Verkina L.M., Simonova I.R., Bareeva A.E., Sagakiants M.M., Titova S.V. Monitoring uslovno-patogennoy mikroflory vodojemov goroda Rostova-na-Donu [Monitoring of conditionally pathogenic microflora of the ponds of the city of Rostov-on-Don]. *Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya*, 2016, no. 2 (275), pp. 40–43. (In Russ.)
- Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody zentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya: SanPiN 2.1.4.1074-01 [Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems: SanPiN 2.1.4.1074-01]. Utv. Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossijskoj Federatsii ot 07.04.2009 No. 20, Moscow: Rosptrebnadzor, 2009. (In Russ.)
- Zhuravlev P.V., Aleshnya V.V., Panasonic O.P., Artemova T.Z., Nedachin A.E., Zagaynova A.V. Ozenka riska vozniknoveniya vodno-obuslovlennyykh bakterial'nykh kishchnykh infektsiy pri pit'evom vodoopol'zovanii [Assessment of the risk of water-caused by bacterial intestinal infections when drinking the water]. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta*, 2013, no. 3, pp. 114–119. (In Russ.)
- Zagaynova A.V., Zagaynova A.V., Talaeva Yu.G., Dmitrieva R.A. Ozenka epidemicheskoy opasnosti patogennykh i uslovno-patogennykh bakterij, vydelennykh iz vody razlichnogo vida vodoopol'zovaniya [Assessment of epidemic danger of pathogenic opportunistic bacteria isolated from water different types of water]. *Gigiena i sanitariya*, 2010, no. 5, pp. 68–73. (In Russ.)
- Onishchenko G.G., Trotsenko O.E., Ott V.A., Kurganova O.P. Vliyanie ekologicheskikh faktorov na zabolevaemost' ostrymi kishchnymi infektsiyami s preimushestvenno vodnym putem rasprostraneniya vobuditelej na territorijakh Priamur'ya [Influence of environmental factors on the incidence of acute intestinal infections with a predominantly water by pathogens in the territories of the Amur region]. *Biosfera*, 2014, vol. 6, no. 1, pp. 77–88. (In Russ.)
- O sostojanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchija naselenija Rossijskoj Federatsii v 2015 godu: Gosudarstvennyj doklad [The state of sanitary and epidemiological wellbeing of the population in the Russian Federation in 2015: State report]. Moscow, Federal'naja sluzhba po nadzoru v sfere zashity prav potrebitel'ej i blagopoluchija cheloveka, 2016. 220 p. (In Russ.)
- Popova A.Yu. Strategicheskie prioritety Rossijskoj Federatsii v oblasti ekologii s pozitsii sohraneniya zdorov'ja natsii [Strategic priorities of the Russian Federation in the field of ecology from the position of preserving the health of the nation]. *Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya*, 2014, no. 2 (251), pp. 4–7. (In Russ.)
- Savilov E.D., Anganova E.V. Mikrobiologicheskij monitoring vodnykh ekosistem [Microbiological monitoring of water ecosystems]. *Gigiena i sanitariya*, 2010, no. 5, pp. 56–58. (In Russ.)
- Sumacheva E.V., Korchak G.I., Mikheenkova A.I., Nikonova N.A., Rossada M.A. [et al.] Trebovaniya k kachestvu pit'evoy vody v Ukraine i infektsionnaja zabolevaemost' s vodnym putem peredachi vobuditelej [The Requirements for drinking water quality in Ukraine and infectious morbidity rate with water route of transmission of pathogens]. *Gigiena i sanitariya*, 2013, no. 6, pp. 33–37. (In Russ.)
- Trotsenko O.E., Korita T.V., Saepa E.Yu., Bondarenko A.P., Kurganova O.P. Sovremennye predstavleniya ob epidemiologii ostryykh kishchnykh infektsiy peredajushikhsja vodnym putem [Modern ideas about the epidemiology of acute intestinal infections transmitted by water]. *Dal'nevostochnyj zhurnal ifetsionnoj patologii*, 2015, no. 26, pp. 58–67. (In Russ.)
- Alitckow D. Simulation of chlorine residual concentration in drinking water distribution system // *Water supply and water quality*. IV Int. Conf. Krakow, 2000. pp. 55–60.
- Carraro E., Bonetta S., Palumbo F., Gilli G. Microbiological risk associated with consumption of drinking water in developed countries // *Ann. Ist. Super Sanita*. 2004, vol. 40, no. 1, pp. 117–140.
- Craun G.F., Nwachuku N., Calderon R.L., Craun M.F. Water disinfection // *J. Environmental Health*. 2002, no. 65, pp. 16–23.
- Geldreich E.E. Better intervention strategies are needed to reduce the risk of waterborne outbreaks // *J. Water Health*. 2005, vol. 7, pp. 197–208.
- Hambach B., Böckle K., van Lieverloo J.H.M. Incidence of faecal contaminations in chlorinated and non-chlorinated distribution systems of neighbouring European countries // *Journal of Water and Health*. 2007, vol. 5, suppl 1, pp. 119–130.

Контактная информация:

Журавлёв Пётр Васильевич, доктор медицинских наук, заведующий лабораторией санитарной микробиологии водных объектов и микробной экологии человека ФБУН РостовНИИ микробиологии и паразитологии Роспотребнадзора
e-mail: pitthegreat@yandex.ru

Contact information:

Zhuravlev Peter Vasilyevich, Doctor of medical sciences, head of the laboratory of sanitary microbiology of water objects and microbial ecology of the person of Rostov Scientific Research Institute of Microbiology and Parasitology of Rosptrebnadzor
e-mail: pitthegreat@yandex.ru