

УДК 582.261.1:556.028 + 569.5

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ХЛОРИРОВАНИЯ И ОЧИСТКИ ВОДЫ ПРИ БАССЕЙНОВОМ СОДЕРЖАНИИ ДЕЛЬФИНОВ АФАЛИН

Телига А.В., Смирнова Л.Л.

*НИЦ Вооруженных Сил Украины “Государственный океанариум”, Севастополь, Украина
E-mail: inik48@inbox.ru*

Показано, что электролизное хлорирование морской воды при бассейновом содержании дельфинов афалина (*Tursiops truncatus ponticus* Varabash 1940) позволяет очищать воду от азотсодержащих метаболитов в процессе нитрификации. Динамика образования нитритов и нитратов находится в зависимости от концентрации активного хлора и может нарушаться при изменении технологии хлорирования. Взвешенное вещество и неорганические соли накапливаются в придонном слое воды, что позволяет их удалять при систематической замене 200 – 250 м³ придонной воды на чистую естественную морскую воду.

Ключевые слова: естественная морская вода, активный хлор, окисление, нитрификация, фосфаты, взвешенное вещество.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из способов содержания дельфинов в океанариумах является бассейновое содержание. Однако из-за ограниченного объема и слабого протока воды, в бассейнах необходимо большое внимание уделять экологическим аспектам среды обитания животных. В воде накапливаются органические и неорганические метаболиты дельфинов, бактерии, развиваются микроводоросли [1]. В настоящее время для очистки, дезинфекции и изменения агрегатного состояния веществ в бассейнах с пресной и морской водой используют окислители [2–4], сорбенты, коагуляторы, флокулянты [5], биофильтры [6]. Выбор методов и технологических схем для очистки воды зависит от физико-химических характеристик и фазово-дисперсионного состояния примесей, загрязняющих воду. Обзор доступной литературы и регламентирующих документов [7] показал, что метод электролизного хлорирования морской воды характеризуется низкими эксплуатационными затратами и является экологически чистым [4, 8]. Концентрация активного хлора (Ахл), получаемого при электролизном хлорировании в пределах 0.6 – 0.7 мг/л (йодометрический метод), достаточна для поддержания удовлетворительного химического и санитарно-микробиологического состава воды в бассейнах [9]. Однако, поступление, рассеивание и трансформация метаболитов животных – взвешенных веществ, соединений азота и фосфора при низких концентрациях Ахл в бассейне изучены недостаточно.

Цель данной работы – изучение эффективности влияния Ахл, полученного электролизным хлорированием, на трансформацию метаболитов дельфинов в бассейне с естественной водой и возможных путей ее очистки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в бассейне объемом 1800 м³ с замкнутым циклом циркуляции естественной морской воды в присутствии 3-х дельфинов. Температура воды в зимний и весенний сезоны поддерживалась в пределах 23,0 – 24,0⁰С. Морская вода хлорировалась методом электролизного хлорирования. Под действием постоянного тока при ее прохождении через электролизер происходит электролиз, т.е. образование атомарного хлора на аноде и выделение газообразного водорода на катоде. Атомарный хлор при взаимодействии с гидроксил-ионами, которые также скапливаются у анода, образует кислородсодержащие соединения хлора. Смесь атомарного хлора и его неорганических кислородсодержащих соединений различной степени окисления (хлорит-ионы, гипохлорит-ионы): Cl⁰; ClO₂⁻; ClO⁻ называется активным хлором (Ахл) [10]. Концентрацию Ахл в воде можно регулировать, изменяя силу тока, подаваемого на электроды, и скорость протока морской воды через электролизер [11]. Хлорирование воды проводилось 3 раза в сутки, что позволяло поддерживать концентрацию Ахл в пределах 0.60 – 0.70 мг/л (йодометрический метод). Для механической очистки циркулирующей в бассейне воды (3 – 4 цикла полного водообмена в сутки) использовали:

- 12 песочных фильтров, обеспечивающих очистку от грубодисперсной взвеси различного химического состава;
- слив и замену придонного слоя воды (200 – 250 м³) на чистую морскую воду;
- очистку дна от осевшего осадка с помощью водного пылесоса.

Для определения физико-химических характеристик среды обитания дельфинов отбирали пробы в поверхностном и придонном слоях воды бассейна. В пробах определяли содержание Ахл йодометрическим методом, аммония, нитритов, нитратов, фосфатов, взвешенного вещества по общепринятым методикам [12]. Для работы использовали приборы: фотоэлектроколориметр КФК-2, спектрофотометр Сф-4 и государственные стандартные образцы (ГСО) растворов солей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав среды обитания дельфинов формируется под влиянием двух факторов – Ахл и постоянно поступающих в воду метаболитов животных. Основными продуктами жизнедеятельности дельфинов являются органические и неорганические соединения азота и фосфора, которые во взвешенной и растворенной формах поступают в воду и загрязняют ее. При окислении восстановленных соединений азота (процесс нитрификации) образуются нитриты, которые переходят в стабильную форму окисленного азота – нитраты. Динамика содержания нитритов и нитратов в воде бассейна находится в тесной зависимости от концентрации Ахл, Рис. 1.

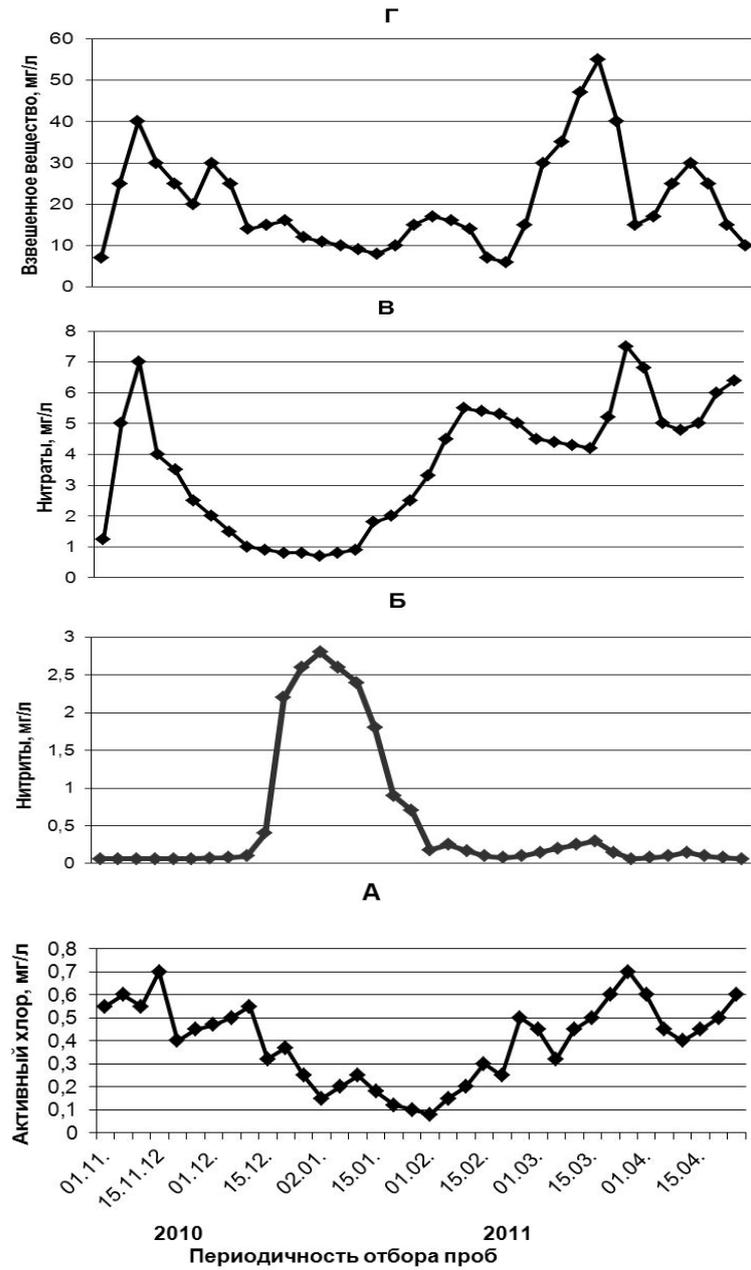


Рис.1. Влияние Ахл на процесс взвесеобразования (Г) и трансформацию нитриты – нитраты (Б, В) за длительный период эксплуатации бассейна.

При соблюдении технологии хлорирования, концентрации ионов аммония и нитритов не превышают значений предельно допустимых концентраций (ПДК) [7], и процесс нитрификации заканчивается образованием нитратов (ПДК 45 мг/л). В

таких условиях состав воды в бассейне по содержанию биогенных соединений азота максимально приближен к составу естественной морской воды прибрежных акваторий. Однако, при нарушении периодичности хлорирования и снижении концентрации Ахл до 0,25 – 0,20 мг/л в бассейне начинает преобладать процесс хлорирования метаболитов животных, ведущий к образованию хлораминов, что показано в работах [4, 13]. Нитрификация, обеспечивающая окисление и очистку воды от азотсодержащих продуктов жизнедеятельности дельфинов, нарушается и останавливается на этапе образования нитритов, концентрация которых резко возрастает (см. рис.1, А, Б). Одновременно с накоплением нитритов в воде появляется аммоний, содержание которого возрастает до 0.7 – 1.0 мг/л и уменьшается концентрация нитратов (см. рис.1, В). Поэтому постоянный контроль концентрации нитритов позволяет рационально хлорировать воду и не повышать содержание Ахл до концентраций, неблагоприятных для животных.

По мере поступления и разрушения метаболитов животных под действием Ахл, количество растворенных фосфатов и взвешенного вещества, определяющего прозрачность воды в бассейне, постоянно увеличивается. Основной вклад в изменение прозрачности воды в бассейне вносят поверхностный и придонный слои воды. Нами отмечено, что в процессе разрушения метаболитов образуются частички взвеси различного размера, который в основном определяется концентрацией Ахл (см. рис. 1, А, Г). При низких концентрациях Ахл содержание взвешенного вещества в поверхностном слое уменьшается. В таких условиях плотные метаболиты окисляются и разрушаются медленно, и в виде крупных частиц быстро оседают в придонные слои воды. При образовании мелкодисперсной взвеси (коллоидов), которые надолго задерживаются в толще воды, необходимо время для их укрупнения и последующего оседания. Изменение количества и состава оседающей взвеси приведено в Таблице 1.

**Таблица 1
Состав и распределение взвешенного вещества в бассейне**

Характеристика взвеси	Поверхностный слой	Придонный слой
Концентрация взвеси, мг/л	5,00 – 28,50	12,5 – 55,5
Содержание органического вещества, %	17,80 – 48,60	62,4 – 59,6
Содержание неорганического вещества, %	82,00 – 51,10	37,5 – 40,4
Соотношение органическое/неорганическое вещество	0,20 – 0,95	1,5 – 1,7

Проведенные исследования показали, что частицы взвеси, по мере оседания, обогащаются органическими веществами. Кроме того, взвесь способна повышать резистентность бактерий и вирусов к дезинфицирующим свойствам Ахл [14]. Содержание органического вещества на крупных частицах взвеси, опустившихся в

придонный слой, в 1,5 – 2,0 раза превышает содержание неорганических соединений. Поэтому при отсутствии регулярной очистки дна водным пылесосом и замены нижнего слоя воды, в бассейне не только возрастает содержание загрязняющих компонентов, несмотря на постоянную циркуляцию воды через песочные фильтры, но и снижается дезинфицирующее действие Ахл.

При изучении динамики накопления фосфатов так же отмечено, что при замене придонного слоя возможно снижение их концентрации на 20.0 – 30.0% (рис. 2).

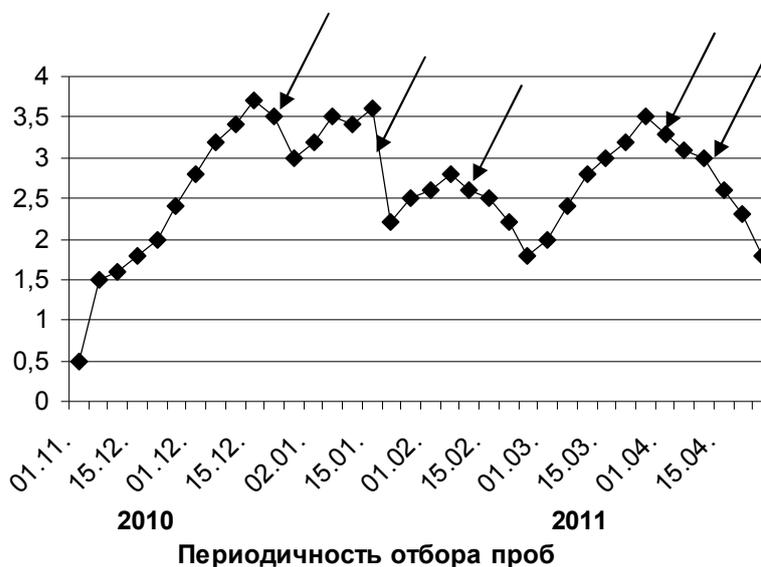


Рис. 2. Взаимосвязь концентрации фосфатов и периодичности замены воды в придонном слое бассейна; стрелками отмечено начало придонного слива.

Придонный слив и последующее добавление в бассейн 200 – 250 м³ чистой морской воды приводят к частичному удалению и разбавлению растворенных фосфатов. Регулярная замена придонного слоя воды позволяет поддерживать в бассейне концентрацию фосфатов на уровне 2.0 – 2.7 мг/л, что значительно ниже ПДК фосфатов (3,5 мг/л) [7]. Таким образом, основными компонентами морской воды в бассейне, определяющими ее качество и регламентирующими периодичность хлорирования и замены придонного слоя являются нитриты, органическое вещество взвеси и фосфаты.

ВЫВОДЫ

1. В бассейнах с замкнутым циклом циркуляции естественной морской воды целесообразно применять электролизное хлорирование, позволяющее обеззараживать и очищать воду от органических и неорганических метаболитов морских млекопитающих в результате их разрушения и нитрификации восстановленных соединений азота.

2. Слив придонной воды и использование водного пылесоса способствуют снижению концентрации взвешенного вещества на 25 – 40.0%, что позволяет эксплуатировать бассейн без использования для очистки воды химических добавок в виде различных коагулянтов и флокулянтов.
3. Придонный слив и последующее добавление в бассейн 200 – 250 м³ чистой морской воды обеспечивают частичное удаление и разбавление растворенных неорганических солей. Содержание фосфатов уменьшается на 20.0 – 30.0%, нитратов на 20.0 – 25.0%.

Список литературы

1. Смирнова Л.Л. Видовой состав и распределение микроводорослей в бассейнах с морскими млекопитающими / Л.Л. Смирнова, И.И. Бабич, И.Н. Аннинская // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Біологія, хімія. – 2011. – Т. 24 (63), №2 – С. 254–260.
2. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. Ч.1. / [Л.А. Кульский, И.Т. Горонковский, А.М. Когановский и др.]. – К.: Наук. думка, 1980. – 680 с.
3. Van der Toorn J.D. A biological approach to dolphinarium water purification: I. Theoretical aspects / J.D. Van der Toorn // Aquatic Mammals – 1987. – Vol. 13, No 3. – P. 83–92.
4. Rice E.W. Disinfection: chlorine, monochloramine and chlorine dioxide / G. Bilton, A. Willy // Encyclopedia of Environmental Microbiology V.1–6. – University of Florida Gainesville, Florida. Copyright by John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002. – P. 1054–1056
5. Ярошук Л.М. Застосування солей полігексаметиленгуанідину як флокулянтів у технології підготовки питної води з поверхневих водоймів / Л.М. Ярошук // Гігієна населених місць. – 2007. – вип. 50. – С. 54–59
6. Dudok van Heel W.H. A biological approach to dolphinarium water purification:11 A practical application: The Delfinario in Tampere, Finland / W.H. Dudok van Heel, J.D. van der Toorn // Aquatic Mammals. – 1988. – Vol. 14, No 3. – P. 92–106
7. СанПин 4630-88. Санитарные Правила и Нормы охраны прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения. Утвержден Главным Сан. Врачом СССР 4.07.1988. СанПиН №4630-88.
8. Діоксид хлору як засіб знезаражування стічних вод (Огляд літератури та власних досліджень) / Н.Ф.Петренко, А.В. Мокієнко, О.К. Созінова [та ін.] //Гігієна населених місць, 2007. – вип. 50. – С. 60–65.
9. Смирнова Л.Л. Некоторые компоненты состава хлорированной морской воды в бассейне с тремя афалинами (*Tursiops truncatus ponticus* Varabash 1940) / Л.Л. Смирнова // Морские животные Голарктики: Сб. научн. трудов. По мат.6 междунар. конф. (Калининград 11 – 15 октября 2010 г.) – Калининград, 2010. – С 530–534.
10. Фрумкина Г.Н. Хлор / Г.Н. Фрумкина, О.А. Чернова – М. Наука, 1991. – 144 с.
11. Якубенко А.Р. Критерии и технологические параметры защиты от обрастания электролизным хлорированием морской воды / А.Р. Якубенко, И.Б. Щербакова, Л.А. Якубенко // Технология судостроения, 1981. – №10. – С. 120–123.
12. Унифицированные методы анализа вод / под ред. Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1973. – 376 с.
13. Георга-Копулос Л.А. Использование ИК-спектроскопии при изучении действия активного хлора на морскую воду и сообщество перифитонных микроорганизмов / Л.А. Георга-Копулос, Л.Л. Смирнова // Гидробиол. журн. – 1999 – Т. 35, №3. – С. 71–76
14. Le Chevallier M.W. Factors Promoting Survival of Bacteria in Chlorinated Water Supplies. / M.W. Le Chevallier, C.D. Cawthon, R.G. Lee // Appl. environ. microb. – 1988. – Vol. 54, No 3. – P. 649–654.

Телига О.В. Де які аспекти хлорування та очищення морської води при басейновому утриманні дельфінів афалін / О.В. Телига, Л.Л. Смирнова // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2012. – Т. 25 (64), № 1. – С. 196-202.

Використання електролізного хлорування морської води при басейновому утриманні дельфінів афалін (*Tursiops truncatus ponticus* Barabash 1940) дозволяє здійснювати очищення води від азотовмісних метаболітів у процесі нітрифікації. Динаміка утворення нітритів і нітратів знаходиться у відношенні від концентрації активного хлору та може змінюватися при її зменшенні. Визначено що оптимальна концентрація активного хлору повинна підтримуватися у діапазоні 0,60-0.70 мг/л (йодометричний метод). Зависла речовина і неорганічні солі накопичується у придонному шарі води що дозволяє їх віддаляти при систематичній зміні 200 – 250 м³ придонного шару води на чисту природну морську воду.

Ключові слова: природна морська вода, активний хлор, окислення, нітрифікація, фосфати, зависла речовина.

Teliga A.V. Smyrnova Some aspects of chlorination and purification of the sea water in the pool with the Black sea bottlenose dolphins / A.V. Teliga, L.L. Smyrnova // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2012. – Vol. 25 (64), No 1. – P. 196-202.

The electrolytic chlorination of sea water in pool with bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus ponticus* Barabash 1940) is useful method for the cleaning of water from nitrogen-contained metabolites during the process of nitrification. Dynamics of nitrites - nitrates formation is connected with the concentration of active chlorine and can be destruct if the active chlorine concentration will reduce. It was shown that the optimum active chlorine concentration changes in a range 0,60 – 0.70 mg/l (iodometrically). The suspended substance and inorganic salts are collected in a benthonic sheet of pool water and can be delete from pool during regular change of 200 – 250 m³ benthonic water at pure natural sea water.

Keywords: natural sea water, active chlorine, oxidation, nitrification, phosphates, the suspended substance.

Поступила в редакцію 17.01.2012 г.