



Список литературы

1. Машковский М. Д. Лекарственные средства. М.: Новая волна. 2005. С. 842–850.
2. Gigoso P. G., Revesado P. R., Cadahia O. et al. Determination of quinolones in animal tissues and eggs by high-performance liquid chromatography with photodiode-array detection // J. Chromatogr. A. 2000. Vol. 871. P. 31–36.
3. Pecorelli I., Galarini R., Bibi R. et al. Simultaneous determination of 13 quinolones from feeds using accelerated solvent extraction and liquid chromatography // Anal. Chim. Acta. 2003. Vol. 483. P. 81–89.
4. Juan Han, Yun Wang, Cui-Lan Yu et al. Extraction and determination of chloramphenicol in feed water, milk, and honey samples using an ionic liquid/sodium citrate aqueous two-phase system coupled with high-performance liquid chromatography // Anal. Bioanal. Chem. 2011. Vol. 399. P. 1295–1304.
5. Gantverg A., Shishani I., Hoffman M. Determination of chloramphenicol in animal tissues and urine Liquid chromatography-tandem mass spectrometry versus gas chromatography-mass spectrometry // Anal. Chim. Acta. 2003. Vol. 483. P. 125–135.
6. Pan C., Zhang H., Chen S. et al. Determination of chloramphenicol residues in honey by monolithic column liquid chromatography-mass spectrometry after use QuEChERS clean-up // Acta Chromatogr. 2006. № 17. P. 320–327.
7. Anastassiades M., Lehoutay S. J., Stajnbaher D., Schenck F. J. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce // J. AOAC Inter. 2003. Vol. 86, № 2. P. 412–431.

УДК 542.87

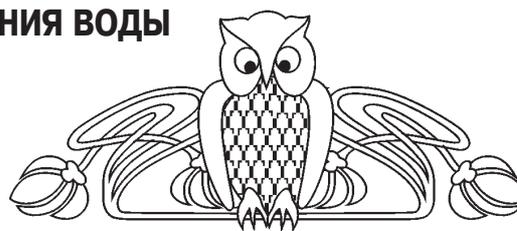
ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО ЗАРАЖЕНИЯ ВОДЫ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А. В. Голец¹, Е. В. Скиданов¹, И. А. Казаринов²

¹ООО НПП «ЛИССКОН», Саратов

²Саратовский государственный университет

E-mail: ag707@inbox.ru



Целью настоящей работы являлось установление корреляции между количеством бактерий в инфицированных водных средах и концентрацией иодид-ионов, образующихся в воде, обеззараженной при помощи бактерицида на основе четвертичных аммониевых оснований, насыщенных иодом.

Показана возможность применения таких бактерицидов для экспресс-определения (не более 5 мин) бактериального заражения воды методом прямой потенциометрии с использованием иодид-селективного электрода.

Разработана методика определения бактериального заражения воды с помощью бактерицидного датчика и потенциометрической ячейки. Установлена количественная зависимость потенциала иодид-селективного электрода от концентрации бактерий *Escherichia coli* в водных средах в стационарной и проточной ячейках.

Ключевые слова: потенциометрия, иодид-селективный электрод, бактерицид, бактерии *Escherichia coli*.

Potentiometric Analysis of Bacterial Water Contamination

A. V. Golets, E. V. Skidanov, I. A. Kazarinov

The purpose of the present work was to find a correlation between the quantity of bacteria in infected aqueous media and the concentration of iodide ions formed in water disinfected by means of a bactericide on the basis of iodine-saturated quaternary ammonium bases.

The possibility of application of such bactericides for rapid analysis (no longer than 5 min) of bacterial water contamination by direct potentiometry with the usage of an iodide-selective electrode is shown. An analysis technique for bacterial water contamination by means of a bactericidal sensor and a potentiometric cell has been developed. A quantitative dependence of the iodide-selective electrode potential on the *Escherichia coli* bacteria concentration in aqueous media in stationary and flowing cells has been established.

Key words: potentiometry, iodide-selective electrode, bactericide, *Escherichia coli* bacteria.

Одной из главных проблем современной цивилизации является ограниченный ресурс питьевой воды. Многие открытые водоемы с питьевой водой, как правило, подвергнуты или могут быть подвергнуты бактериальному заражению. В связи с этим существует проблема создания эффективных бактерицидных средств, применяемых для дезинфекции питьевой воды и различных водных растворов. В настоящее время общепринятыми для обеззараживания водных растворов являются способы, связанные с добавлением в зараженную среду свободных окислителей, например Cl₂, Br₂, I₂, O₃, и др. [1, 2]. Обеззараживающее воздействие при этом достигается прямым окислением



присутствующих в воде или водных растворах микроорганизмов, приводящем к их дезактивации. Недостатком данных способов является токсичность получаемых продуктов и высокая стоимость технологических процессов.

Сотрудниками ООО НПП «ЛИССКОН» был предложен способ приготовления бактерицида [3] на основе ионообменной смолы, содержащей в активных центрах четвертичные атомы азота, работающего по принципу «дезинфекция по сигналу». При взаимодействии инфицированного раствора с бактерицидом последний порционно выделяет положительно заряженный йод-радикал, который нейтрализует отрицательный заряд клеток, приводя к их гибели. При этом в водной среде накапливается пропорциональное количество иодид-ионов.

Целью настоящей работы являлось установление корреляции между количеством бактерий в инфицированных водных средах и концентрацией иодид-ионов, образующихся в обеззараженной при помощи бактерицида воде.

Материалы и методы

Объектами данного исследования являлись водные бактериальные суспензии *Escherichia coli* (*E. coli*). Результаты проводимых исследований можно распространить на все возможные типы микроорганизмов, которые жизнеспособны в водной среде, так как *E. coli* является своеобразным индикатором микробиологического заражения воды [4]. Использовали штамм К-12 *E. coli* из набора Фредерика музея микроорганизмов кафедры микробиологии и физиологии растений Саратовского госуниверситета. Бактерии культивировали на поверхности плотной питательной среды общего назначения (ГРМ-агар). Исследуемый штамм засеивали в пробирку со скошенным агаром и инкубировали в течение 24 ч перед началом эксперимента при температуре 37 °С. При проведении исследований очень важным фактором являлся точный учет микроорганизмов в единице объема, поэтому перед инфицированием водных сред проводилось определение количества клеток *E. coli* методом мембранных фильтров [5].

Степень микробиологической очистки воды определялась методом контрольного посева с последующим подсчетом образующихся колоний.

Инфицированные водные среды с точным содержанием микроорганизмов *E. coli* в единице объема пропускали через бактерицидные фильтры.

В данной работе использовались бактерицид производства ООО НПП «ЛИССКОН» [3], обладающий повышенной эффективностью за счет специальной обработки ионообменной смолы иодсодержащими растворами.

Поскольку результаты данной работы могут послужить основой для определения бактериального заражения воды в производственных масштабах, то в качестве метода исследования был выбран метод прямой потенциометрии с применением иодид-селективных электродов, который отличается своей экспрессностью, простотой в исполнении, может осуществляться в проточных условиях.

Потенциометрические измерения выполняли на цифровом иономере И-500 «Аквилон», совместимом с ПК. Рабочим электродом служил иодид-селективный электрод «Элит-281», являющийся первичным преобразователем активности иодид-ионов в электродвижущую силу. В качестве электрода сравнения использовался хлоридсеребряный электрод производства «Аквилон», входящий в комплект иономера И-500.

Электрический контакт между рабочим электродом и электродом сравнения осуществлялся через электролитический мостик, заполненный гелем из агар-агара, приготовленным на растворе БРОИС для конкретного электрода.

Калибровку иодид-селективного электрода в единицах концентрации проводили по стандартным растворам с добавлением буферного раствора для регулирования общей ионной силы (БРОИС) в порядке возрастания концентрации стандартных растворов. Раствором БРОИС являлся раствор NaNO_3 концентрации 0,1 моль/л. Соотношение стандартного раствора и раствора БРОИС – 1:10. Применение этих растворов позволяет проводить измерения при постоянной ионной силе равной 0,99. При этом исключается влияние коэффициента активности, что упрощает переход от активности к концентрации.

В ходе проведения потенциометрических измерений растворы перемешивали с помощью магнитной мешалки.

В анализе применялись растворы из реагентов квалификации ч.д.а.

При измерениях концентрации исследуемых ионов равновесие устанавливалось в течение 1–5 мин.

Стандартные растворы приготавливались на дистиллированной воде и на водопроводной воде, очищенной от соединений хлора, чтобы оценить



степень влияния посторонних ионов. Значения потенциалов рассчитывались не менее чем по трем результатам измерений. Линейная зависимость потенциала от концентрации иодид-ионов в растворе с наклоном, близким к теоретическому, сохраняется во всем диапазоне концентраций ($10^{-1} \div 10^{-6}$ моль/дм³). Калибровочные графики иодид-селективного электрода, построенные для стандартных растворов на дистиллированной и водопроводной воде, совпадают с учетом погрешности измерений, т. е. качество воды не влияет на работу электрода.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены зависимости потенциала иодид-селективного электрода от концентрации бактерий в зараженной воде, полученные при измерениях в стационарной ячейке. Эти зависимости в полулогарифмических координатах хорошо аппроксимируются прямыми линиями в диапазонах концентраций 10–1000 и 100–100000 м.т./мл. Поэтому их можно использовать как калибровочные графики при определении точного количества бактерий в неизвестных водных средах.

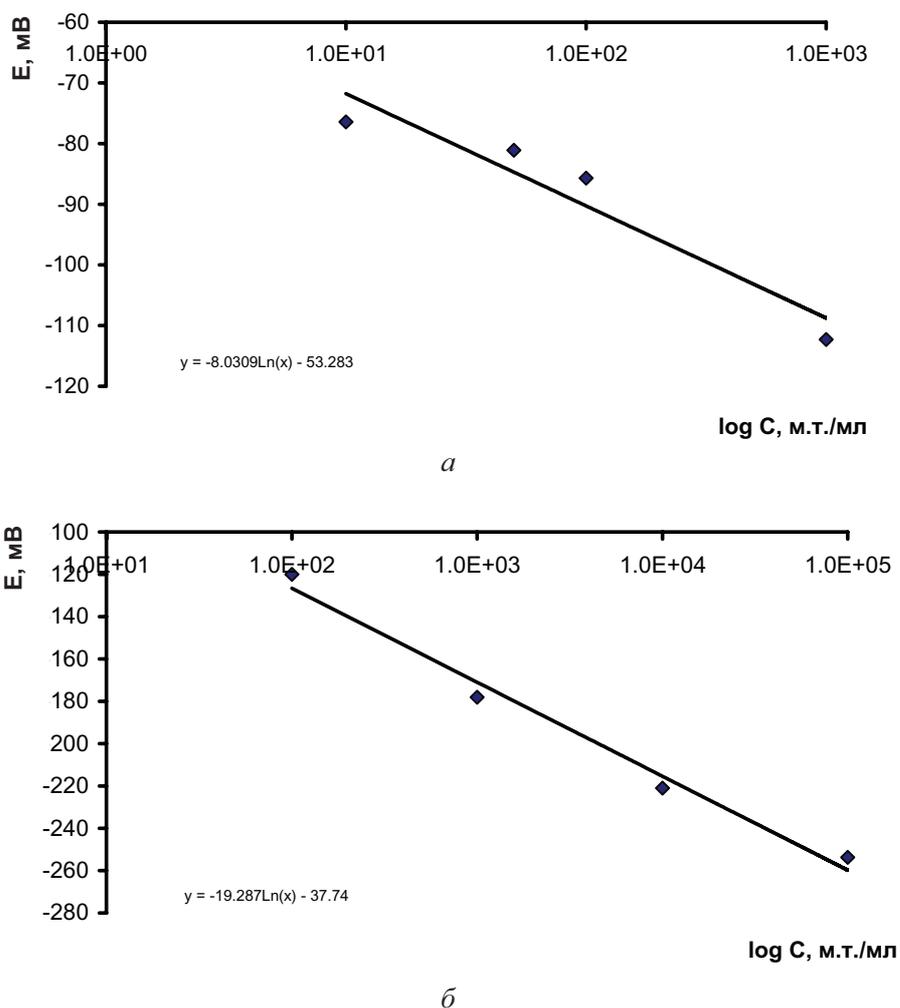


Рис. 1. Зависимость потенциала иодид-селективного электрода от концентрации бактерий *E. coli* в воде, полученная при пропускании инфицированной воды через бактерицид в стационарной ячейке: *a* – в диапазоне концентраций бактерий 10–10³ м.т./мл; *б* – в диапазоне концентраций бактерий 10²–10⁵ м.т./мл

Для оценки возможности данного метода количественного определения микробиологического заражения воды в производственных условиях был создан макет ячейки для потенциометрического

контроля концентрации иодид-ионов в проточных условиях, схема которой приведена на рис. 2. Дальнейшие потенциометрические исследования проводились с использованием этой ячейки.

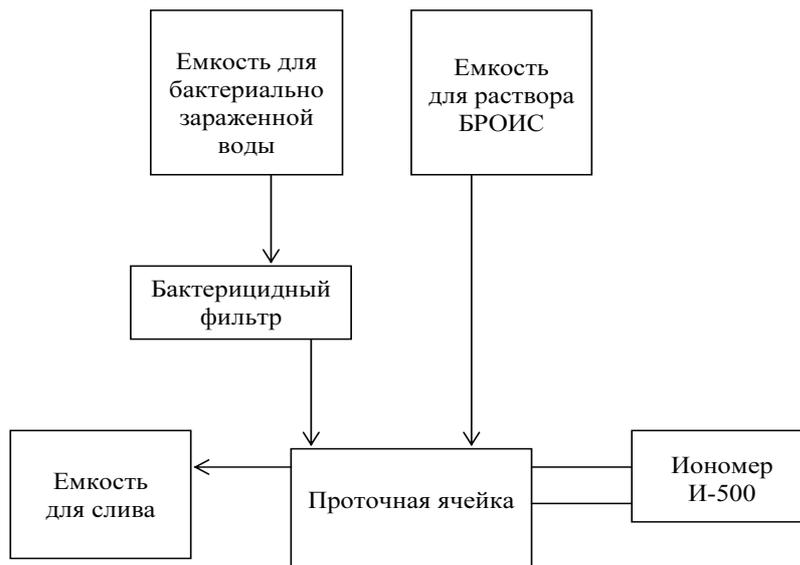


Рис. 2. Схема установки для потенциометрического определения иодид-ионов в проточных условиях

Перед началом исследований с использованием проточной системы была поставлена задача воспроизвести в ней калибровку иодид-селективного электрода (ИСЭ). На рис. 3 представлена

зависимость потенциала иодид-селективного электрода от концентрации иодид-ионов при пропускании через проточную ячейку стандартных растворов иодида калия.

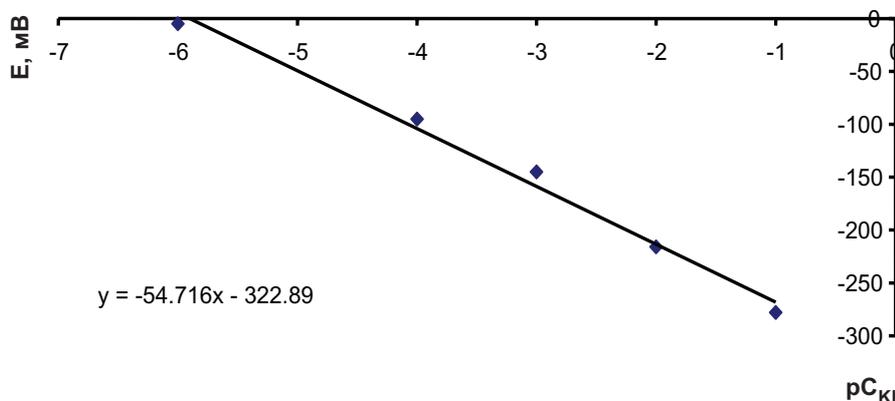


Рис. 3. Калибровочный график иодид-селективного электрода, полученный при пропускании стандартных растворов KI (с добавлением БРОИС) через проточную ячейку

Наклон полученной зависимости близок к теоретическому. Однако значения потенциалов ИСЭ при пропускании через проточную ячейку несколько отличаются от аналогичных значений, полученных в стационарных условиях. Возможно, это связано с нестационарностью проточной системы, в которой могут возникать концентрационные флуктуации и потенциал течения [6].

Зависимости потенциала иодид-селективного электрода от концентрации бактерий *E. coli*, полученные в проточной ячейке, представлены на рис. 4. Они также хорошо аппроксимируются

прямыми линиями в диапазонах концентраций 5–1000 и 1000–1000000 м.г./мл, но несколько отличными от аналогичных зависимостей, полученными в стационарных условиях.

Таким образом, установлена количественная корреляция взаимосвязи между изменением потенциала рабочего иодид-селективного электрода и концентрацией бактерий в проточной системе. Значение потенциала иодид-селективного электрода устанавливается в течение 1–2 мин и не изменяется во времени при протекании инфицированной воды через ячейку. Как видно, данная

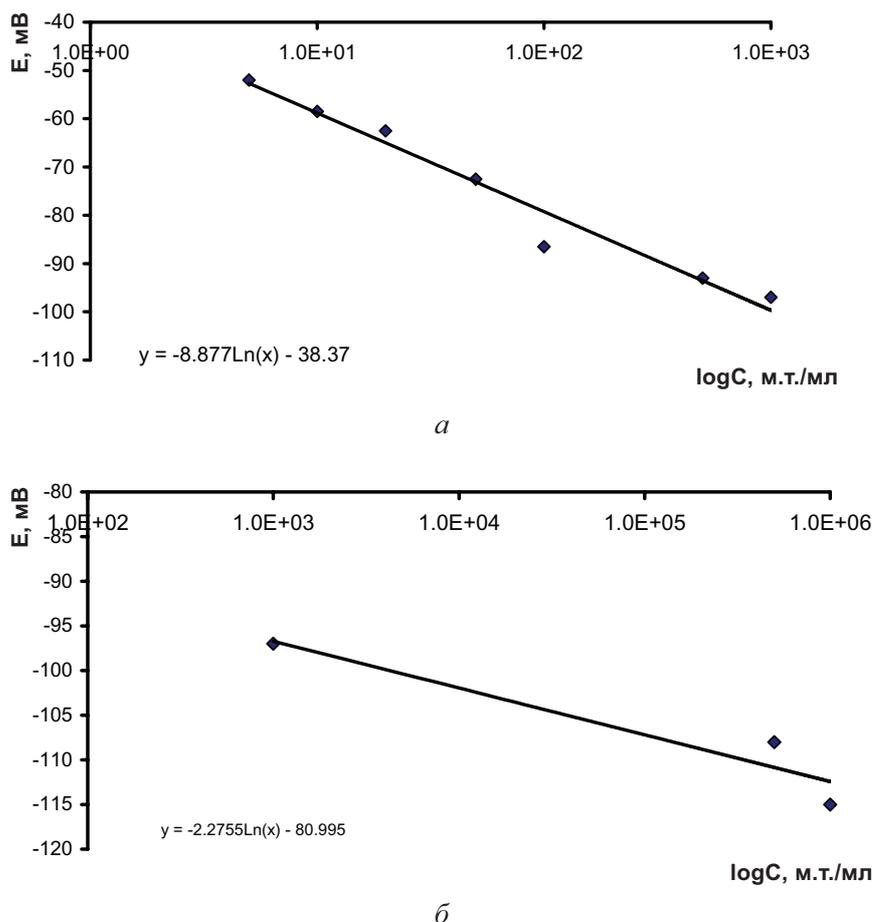


Рис. 4. Зависимость потенциала иодид-селективного электрода от концентрации бактерий *E.coli*, полученная при пропускании инфицированной воды через бактерицид, в проточной ячейке: *а* – диапазон концентраций бактерий $5-10^3$ м.т./мл; *б* – диапазон концентраций бактерий 10^3-10^6 м.т./мл

система обладает хорошей чувствительностью, т.е. позволяет вести количественное определение бактериального заражения воды вплоть до значений, соответствующих стандартам по питьевой воде.

Выводы

1. Проведено изучение свойств бактерицидов на основе четвертичных аммониевых оснований, насыщенных иодом, предназначенных для обеззараживания воды. Установлено, что после взаимодействия таких бактерицидов с инфицированными водными растворами происходит полное их микробиологическое очищение.

2. Показана возможность применения таких бактерицидов для экспресс-определения (не более 5 мин) бактериального заражения воды методом прямой потенциометрии с использованием иодид-селективного электрода.

3. Разработана методика определения бактериального заражения воды с помощью бактерицидного датчика и потенциометрической

ячейки. Установлена количественная зависимость потенциала иодид-селективного электрода от концентрации бактерий *E.coli* в водных средах в стационарной и проточной ячейках.

Список литературы

1. Технические записки по проблемам воды. М. : Стройиздат, 1983. Т. 1. 429 с.
2. Howard B., Hollowell J. Use of iodine for water disinfection: iodine toxicity and maximum recommended dose // Environ. Health Perspect. 2000. Vol. 108, № 8. P. 679–684.
3. Пат. 2213063 РФ, МПК C02F1/50, A61L2/16, A01N33/14, C02F103:04. Способ приготовления бактерицида / Голец А. В., Скиданов Е. В. ; опубл. 27.09.03.
4. Мидгли Д., Торренс К. Потенциометрический анализ воды. М. : Мир, 1980. 400 с.
5. Непрусов А. И. Практикум по микробиологии. М. : АCADEMA, 2005. 603 с.
6. Van den Winkel P., Meterns J., Massart D. L. Organic and inorganic chemistry of iodine oxides // Anal. Chem. 1974. Vol. 46. P. 1765–1768.