

Н. А. Аристова ♦ И. М. Пискарев

**Физико-химические методы
получения экологически чистой
активированной воды**



Нижний Тагил
2011

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
Нижнетагильский технологический институт (филиал)

Н. А. Аристова, И. М. Пискарев

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ АКТИВИРОВАННОЙ
ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

Нижний Тагил
2011

УДК 628.1
А81

Рецензенты:

НОУ ВПО «Институт международных экономических отношений» г. Химки
(канд. эк. наук, доц. П. П. Лихачев);
д-р физ.-мат. наук, профессор физического факультета
ФГОУ ВПО «Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова» В. К. Гришин

Научный редактор: д-р техн. наук, проф. Е. М. Файншмидт

Аристова, Н. А.

А81

Физико-химические методы получения экологически чистой активированной питьевой воды / Н. А. Аристова, И. М. Пискарев ; М-во образования и науки РФ ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. Первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижне-тагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (ф) УрФУ, 2011. – 76 с.

Активированной называется вода, обладающая повышенной биологической активностью. Повышенную биологическую активность имеет вода, насыщенная кислородом и его активными формами, и вода, насыщенная водородом. Рассмотрены научные основы получения этих двух сортов воды и технические решения для ее производства. Устройства, созданные авторами, позволяют получать экологически чистыми методами целебную оксигенированную (кислородную) воду и воду с отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом на месте ее потребления и в практически неограниченных количествах. Рассмотрены доступные любому потребителю методы качественного анализа питьевой воды.

УДК 628.1

Библиогр.: 46 назв. Табл. 5. Рис. 28.

© Аристова Н. А., Пискарев И. М., 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

ВВЕДЕНИЕ

АКТИВИРОВАН
ОКИСЛИТЕЛЬН
ТЕРМОДИНАМ
СТРУКТУРА ВО

ГЛАВА I. ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА

СХЕМА ПОДГО
ТЕХНОЛОГИЯ П
Основа тех
Генератор
Схема обра
Физико-хими
РЕЗУЛЬТАТЫ И
ПОЛУЧЕНИЕ В
ТЕХНОЛОГИЯ
Схема под
Включение
Очистка в
Основные р

ГЛАВА II. ПРИМЕНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ

ПОЛУЧЕНИЕ В
Методика
Особенн
Процед
Результат
Свойств
Измене
Зависим
Зависим
Наблюден
Восстан
Восстан
Окисле
Оценке
Зависим
ОЦЕНКА МЕХ
Установл
Обсужде
РЕДАКЦИОН
Постанов
Эксперим
Результат
Обсужде
Кинетик
Основны

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

БИБЛИОГРАФИЯ

Н.А. Аристова, И.М. Пискарев

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ АКТИВИРОВАННОЙ
ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

**Нижний Тагил
2011 г**

Н.А. Аристова, И.М. Пискарев

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ АКТИВИРОВАННОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Аннотация

Активированной называется вода, обладающая повышенной биологической активностью. Повышенную биологическую активность имеет вода, насыщенная кислородом и его активными формами, и вода, насыщенная водородом. Рассмотрены научные основы получения этих двух сортов воды и технические решения для её производства. Устройства, созданные авторами, позволяют получать экологически чистыми методами целебную оксигенированную (кислородную) воду и воду с отрицательным окислительно–восстановительным потенциалом на месте её потребления и в практически неограниченных количествах. Рассмотрены доступные любому потребителю методы качественного анализа питьевой воды.

Предисловие

В последние годы большое внимание уделяется питьевой воде, обладающей повышенной биологической активностью. Известна вода, насыщенная кислородом, имеющая положительный окислительно–восстановительный потенциал (ОВП), и вода с отрицательным ОВП. Эти сорта воды по–разному воздействуют на организм, но и та и другая вода оказывает целебное действие. Целебное действие особенно заметно, если по определённым правилам употреблять оба сорта воды. Рекомендации по использованию разных сортов воды должен давать специалист, хорошо знающий как воду, так и пациента.

Вода с отрицательным ОВП признаётся всеми. Все признают её особые свойства. Но она является фактически лекарством, и её приём должен быть ограничен. Ограниченной должна быть и величина ОВП, так как вряд ли всем полезно пить воду с $ОВП = -600$ мВ, которая может быть получена в процессе обработки. Неограниченно можно пить кислородную воду.

Услышав слово «кислород» журналист, ведущий научно–популярные передачи и наслушавшийся разных теорий, сразу скажет: «Кислород – яд!». Поэтому в защиту кислородной воды хочется сказать несколько слов. Действительно, поступление в организм кислорода выше норм его содержания в атмосферном воздухе может быть бесполезным, и даже вредным. Однако кислородная вода в 1 литре содержит кислорода в 100 раз меньше, чем его попадает в лёгкие при одном только вдохе. А выпить 1 литр сырой воды в день сможет далеко не каждый, хотя врачи рекомендуют пить 2–2,5 литра в день. Так что кислород, потребляемый с водой, никакого влияния на баланс кислорода в организме оказать не может. Но кислород, принимаемый со специально обработанной водой, оказывает стимулирующее действие на работу многих органов. В первую очередь тех, с которыми этот кислород непосредственно соприкасается: это желудок, печень, почки.

В книге описаны созданные авторами технологии получения названных выше сортов воды. Технологии позволяют получать дешёвую активированную воду на месте потребления в неограниченных количествах. Результаты многих экспериментов легко может воспроизвести даже неспециалист. Предложена доступная каждому потребителю методика, позволяющая оценивать чистоту употребляемой им воды.

Авторы

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
Что такое питьевая вода, и для чего она нужна.....	6
Активированная вода.....	7
Окислительно–восстановительный потенциал и его измерение.....	8
Термодинамическая устойчивость воды.....	9
Структура воды.....	11
ГЛАВА I. ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИГЕНИРОВАННОЙ (КИСЛОРОДНОЙ) ВОДЫ И ЕЁ СВОЙСТВА.....	14
Концепция получения чистой и качественной воды.....	14
Схема подготовки питьевой воды.....	15
Технология получения чистой воды.....	18
<i>Основа технологии.....</i>	18
<i>Генератор холодной плазмы.....</i>	18
<i>Схема обработки питьевой воды генератором холодной плазмы.....</i>	21
Физико–химические процессы в генераторе холодной плазмы.....	23
Результаты испытаний генератора БЭР–49–М.....	26
Получение воды, насыщенной кислородом (спортивная вода).....	29
Оперативный контроль качества питьевой воды.....	32
<i>Очистка воды с применением высокоэффективных фильтров.....</i>	36
Влияние питьевой воды, обработанной установками серии «Пилимин», на здоровье человека и рекомендации по её употреблению.....	38
Технология применения приборов ПИЛИМИН в разных условиях.....	40
<i>Схема подключения прибора в режиме очистки водопроводной воды.....</i>	40
<i>Включение прибора для очистки заранее набранной воды.....</i>	41
<i>Очистка воды плавательных бассейнов.....</i>	42
ГЛАВА II. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПУТЁМ НАСЫЩЕНИЯ ЕЁ ВОДОРОДОМ.....	46
Вводная часть.....	46
Получение воды с отрицательным ОВП.....	48
<i>Методика эксперимента.....</i>	48
Особенности измерения величины ОВП в области отрицательных значений.....	48
Процедура получения воды, насыщенной водородом, и измерения ОВП.....	49
<i>Результаты экспериментов.....</i>	51
Свойства воды, насыщенной водородом, и хранящейся в закрытых сосудах.....	51
Изменение ОВП в открытых сосудах.....	54
Зависимость ОВП от объема водорода в бутылки.....	55
Зависимость ОВП от состава водного раствора и концентрации соли.....	55
<i>Наблюдение восстановительных реакций в воде, насыщенной водородом.....</i>	58
Восстановление молекулярного иода.....	58
Восстановление марганца в растворе перманганата калия.....	59
Окисление металлического железа.....	59
Оценка возможности бесконтактной активации воды.....	60
Зависимость ОВП от места проведения анализа.....	62
ОЦЕНКА МЕХАНИЗМА АКТИВАЦИИ ВОДОРОДА.....	63
<i>Постановка задачи.....</i>	63
<i>Установление ОВП при разных концентрациях растворённого кислорода.....</i>	64
<i>Обсуждение.....</i>	67
РЕЛАКСАЦИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНО–ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЖИДКОСТИ.....	70
<i>Постановка задачи.....</i>	70
<i>Экспериментальная часть.....</i>	70
<i>Результаты экспериментов.....</i>	71
<i>Обсуждение.....</i>	77
<i>Кинетика отсчётов в измерительной цепи ОВП.....</i>	77
<i>Основные результаты главы II.....</i>	79
ВЫВОДЫ.....	81
Возможности практического применения процесса насыщения жидкости водородом.....	81
Производство экологически чистых антиоксидантов.....	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	83

ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ ВВЕДЕНИЕ.....	84
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ I.....	84
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ II.....	85

ВВЕДЕНИЕ

Что такое питьевая вода, и для чего она нужна

На первый взгляд, этот вопрос покажется парадоксальным. Что такое вода, мы, как нам кажется, все знаем. Давайте посмотрим подробнее. Вода бывает разных сортов и разного назначения. Обратимся к нормативным документам [1] и посмотрим, что такое питьевая вода. Санитарные нормы строго ограничивают содержание загрязняющих компонентов. Загрязнений должно быть значительно меньше ПДК. Содержание минеральных солей в физиологически полноценной питьевой воде должно быть от 0,1 до 1 грамма на литр. Питьевая вода первой категории должна содержать соли до 1,0 г/л, высшей категории: 0,2 – 0,5 г/л. И всё. В напитке, называемом "вода" больше ничего не должно быть.

А пьёте ли вы воду вообще? Вы скажете, что пьёте чай, кофе, компот, соки, молоко. Но это всё – еда! Еда сама по себе содержит очень много воды. Высушите мясо, яблоко, картошку, много ли останется? К тому же получить сухой продукт (практически без воды) очень трудно. Добиться содержания воды в сухом продукте меньше 10% – сложная техническая проблема. Когда врачи говорят, что нужно пить 2 – 2,5 литра воды в день, они имеют в виду именно чистую воду, а не напитки. Вода должна содержать только соли 0,1 – 1,0 г/л. Если солей больше, это уже минеральная вода, её можно пить в ограниченных количествах и по назначению врача. Если солей нет совсем, как в воде, полученной фильтрами обратного осмоса, то её тоже можно пить преимущественно в лечебных целях.

Итак, мы сформулировали, что такое питьевая вода. Осталось выяснить, что с ней делать. Воду люди используют в своей профессиональной деятельности. И это накладывает отпечаток на отношение к воде вообще. Например, финансисты твёрдо знают, что водой отмывают деньги. Предложение выпить стакан воды они просто не понимают. Предприниматели знают, что на воде делают деньги. И не смотря на кажущийся комизм ситуации, авторы неоднократно встречали людей, которые относятся к воде именно так. Далее, инженер знает, что воду можно использовать в различных технологических процессах. Научный сотрудник – физик знает, что на воде можно ставить эксперименты, про неё можно создавать теории. Химик знает, что в воде можно растворять реактивы. А про то, что воду просто пьют, причём, именно простую воду, знают очень немногие. Большинство людей воду вообще не пьют, подразумевая, что они и так потребляют достаточно жидкости. Но жидкости – это не вода. Влияние жидкостей разного состава на организм совсем другое, чем чистой воды. А организму совершенно необходима именно чистая вода.

Поэтому призываем всех, пейте воду.

Активированная вода

В современной науке давно существует понятие активированной воды. У этой воды окислительно–восстановительный потенциал (ОВП) сильно отличается от того значения, которое устанавливается в обычной чистой питьевой воде на воздухе, и вода после специальной обработки становится химически и биологически активной.

Основным способом получения активированной воды была электрохимическая активация. Понятие «электрохимическая активация» появилось в 1974 году, когда было установлено, что вода, получающаяся после электролиза, обладает биологической активностью [2]. На аноде образуется вода, насыщенная кислородом, на катоде – водородом. Выяснили, что это разные сорта воды, и их влияние на живые организмы принципиально отличается.

На аноде образуется вода, насыщенная кислородом и его активными формами. Из стабильных активных долгоживущих форм кислорода сейчас известна перекись водорода. Кислородная вода имеет повышенный окислительно–восстановительный потенциал (ОВП) по сравнению с обычной водой. Кислородная вода стимулирует химические процессы окисления, получения энергии. Поэтому кислородная вода бодрит, улучшает обмен веществ. Улучшенный обмен веществ способствует очищению организма. Вода с добавками активной формы кислорода, перекиси водорода, широко используется для поддержания здоровья космонавтов и лечения ряда болезней [3]. Отдельно понятие «кислородная вода» появилось в 1996 году, когда она стала производиться и продаваться разлитой в бутылки.

На катоде образуется вода, насыщенная водородом. Стабильные активные формы водорода не известны. Водородная вода имеет большой отрицательный окислительно–восстановительный потенциал. В такой воде стимулируются химические процессы восстановления, роста живых организмов, заживление повреждений. Роль водорода в получении воды с отрицательным ОВП признаётся не всеми исследователями. К тому же отрицательный ОВП жидкости можно получить, применяя различные химические добавки. Однако воду с такими добавками вряд ли можно считать экологически чистой.

Таким образом, кислородная вода улучшает снабжение организма энергией, а водородная – способствует его росту.

Изменение ОВП воды в процессе её приготовления может сопровождаться изменением рН. Влияние этих факторов на здоровье разные специалисты оценивают по-разному. Одни на первое место ставят ОВП, другие – рН.

Представители направления, опирающегося на ОВП [2] признают, что целебными свойствами вода обладает ограниченное время после её получения. Представители другого направления, опирающегося на рН [4] находят, что целебные свойства воды сохраняются длительное время, так как в закрытой посуде величина рН практически не меняется. Сторонник

концепции рН, Малахов Г.П., приводит на своём сайте [4] конкретные рекомендации по лечению недугов, из которых следует, что основную роль у него играет рН. Например, рецепт, как вылечить изжогу: выпить полстакана католита (щелочной воды). И это подтверждает роль рН, т.к. известно, что изжогу лечат содой (щёлочью). Дезинфицирующее действие слабокислого раствора анолита (рН = 4) также ни у кого не вызывает сомнений.

Электролиз являлся одним из первых промышленных методов получения активированной воды, обладающей целебными свойствами. Обстоятельствами, ограничивающими возможности применения активированной электролизом воды, является изменение величины рН. При электролизе на аноде рН сильно уменьшается (меньше 6,5), а на катоде – сильно увеличивается (больше 9). Для питьевой воды существуют санитарные нормы, величина рН должна находиться в пределах 6,5 – 9. Кроме того, соли, находящиеся в растворе, подвергаются электролизу, в результате чего могут образовываться вредные или ядовитые вещества. Например, при электролизе раствора поваренной соли образуются ионы ClO^- . Обработанная электролизом даже очень слабо подсолённая вода становится непригодной для питья, пахнет хлоркой. Поэтому воду, получающуюся после электролиза, нельзя считать экологически чистой.

Окислительно–восстановительный потенциал и его измерение

Напомним, что такое ОВП. С веществами, растворёнными в воде, могут происходить окислительно–восстановительные реакции. Эти реакции связаны с переносом электрона. Если молекула вещества, растворённого в воде, отдаёт электрон, это процесс окисления. Если молекула растворённого вещества получает электрон, это восстановление. Когда мы растворяем в воде вещество, то характер процессов, которые с ним могут происходить, определяется свойствами самой воды. Если вода имеет положительный ОВП, она может только отнимать электроны и тем самым поддерживать реакции окисления. Если вода имеет отрицательный ОВП, она может отдавать электроны, т.е. поддерживать реакции восстановления. Поэтому иногда воду с отрицательным ОВП называют «заряженной».

В реакциях окисления, как правило, выделяется энергия, но окисляющееся вещество расходуется. Для органических соединений окисление – это разрушение веществ. Реакции восстановления для органических соединений ведут к их росту, образованию новых, более сложных веществ.

Окислительно–восстановительный потенциал измеряется двумя электродами, вводимыми в раствор. Один – электрод сравнения, потенциал которого относительно нормального водородного элемента (НВЭ, нуля в электрохимии) хорошо известен. Часто используется хлор–серебряный электрод сравнения. Его потенциал зависит от температуры и концентрации раствора KCl , которым заправлен электрод [5]. При температуре 20°C и концентрации раствора KCl 3М потенциал хлор–серебряного электрода

относительно НВЭ составляет согласно данным завода–изготовителя +201 мВ.

Второй электрод – платиновый. Платина нейтральна, она никак не взаимодействует с веществами, находящимися в растворе, однако ионы растворённых диссоциированных веществ диффундируют в платину. Между ионами, находящимися в растворе, и диффундировавшими в платину устанавливается равновесие, определяющее потенциал платинового электрода.

Разность потенциалов между платиновым электродом и электродом сравнения измеряется милливольтметром с большим входным сопротивлением (порядка 10^9 Ом). Между окислительно–восстановительным потенциалом, который в электрохимии отсчитывается относительно нормального водородного элемента, и потенциалом E , непосредственно измеряемым милливольтметром, существует соотношение:

$$\text{ОВП} = E + V_{\text{сравн}}$$

где $V_{\text{сравн}}$ – потенциал электрода сравнения относительно НВЭ. Для хлор–серебряного электрода, упомянутого выше, $V_{\text{сравн}} = +201$ мВ.

Про это соотношение не следует забывать, пользуясь портативными коммерческими приборами «карандашами», которые показывают потенциал E .

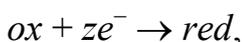
Термодинамическая устойчивость воды

Окислительно–восстановительный потенциал водного раствора определяется активностями окислителей и восстановителей. Выражение для потенциала нейтрального электрода (платинового), помещённого в раствор, содержащий окислитель и восстановитель, имеет вид:

$$E(\text{мВ}) = \varphi_0 + \frac{59,15}{z} \lg \frac{[ox]}{[red]}$$

где $[ox]$ и $[red]$ – концентрации окисленной и восстановленной форм,

φ_0 – стандартный электродный потенциал (мВ) реакции



z – количество электронов, передаваемых за 1 акт окисления–восстановления.

В воде всегда есть окислители и восстановители. Окислительно–восстановительный потенциал чистой воды определяют равновесия:



Из этих равновесий следует, что вода всегда будет самопроизвольно разлагаться с образованием водорода и кислорода, хотя равновесное давление этих газов очень мало. Оно составляет для водорода $2 \cdot 10^{-28}$ атм и 10^{-28} атм для кислорода [6].

Таким образом, в чистой воде окислителем является ион водорода H^+ , который может принять электрон, а восстановителем – ион гидроксила OH^- , который может отдать электрон. При равновесии в нейтральном растворе с $pH = 7$, когда $[H^+] = [OH^-]$, ОВП воды, не содержащей растворённые газы, равен нулю.

Если в воде растворены вещества, являющимися окислителем и восстановителем, и эти вещества не взаимодействуют с продуктами диссоциации воды (ионами H^+ и OH^-), то выражение для окислительно–восстановительного потенциала раствора можно записать в виде:

$$\text{ОВП} = \varphi_0 + \frac{59,15}{z} \lg \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]} - 59,15 \cdot pH$$

Исходя из равновесий для водорода и кислорода в чистой воде, зависимость от pH потенциалов водородного и кислородного электродов при давлении газов 1 атм определяется соотношениями [6]:

$$\varphi_{H_2} = -59,15 \cdot pH$$

$$\varphi_{O_2} = 1230 - 59,15 \cdot pH$$

Здесь потенциалы выражены в милливольтгах. Эти зависимости представлены на рис. 1.

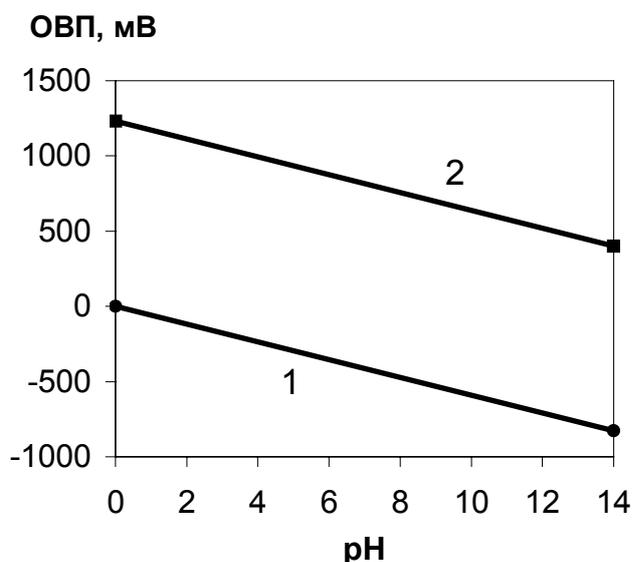


Рисунок 1. Области термодинамической устойчивости воды (см. текст).

В зоне ниже уровня равновесного потенциала для водородного электрода (ниже прямой 1), происходит самопроизвольное разложение воды с образованием водорода. В зоне между прямыми 1 и 2 вода практически стабильна, равновесное давление самопроизвольно образующихся газов здесь около 10^{-28} атм. В зоне выше уровня равновесного потенциала для кислородного электрода (выше прямой 2), происходит самопроизвольное разложение воды с образованием кислорода. Расходование энергии на разложение воды в зонах ниже и выше прямых 1 и 2 приводит к тому, что

система стремится принять значения рН и ОВП, находящиеся в зоне термодинамической устойчивости воды, между этими прямыми.

При электролизе, когда уменьшение рН на аноде сопровождается насыщением воды кислородом (окислителем), а на катоде увеличение рН сопровождается насыщением водородом (восстановителем), значения рН и ОВП могут выходить за область термодинамической устойчивости воды. Именно поэтому электролизная вода имеет более высокую активность по сравнению с той, которая может быть получена просто путём введения реактивов.

Структура воды

Молекула воды H_2O несимметрична. Атомы водорода, несущие положительный заряд, смещены в одну сторону от центра молекулы, атом кислорода – в другую. В результате молекула воды представляет собой диполь: положительный заряд которого сосредоточен в одном конце молекулы, а отрицательный – в противоположном. Если молекулы окажутся ориентированными относительно друг друга разноимёнными полюсами, то они будут притягиваться. Несколько молекул, притянутых последовательно друг к другу, могут образовать кластер, который будет перемещаться в воде как одно целое.

Дополнительно молекулы воды могут скрепляться водородными связями. Кластеры, сгустки молекул, образованные таким образом, могут влиять на макроскопические параметры воды. Молекулы воды, объединённые в большие кластеры, имеют, в принципе, меньшую подвижность, чем отдельные молекулы. Попадая в организм, такие молекулы труднее впитываются в клетку.

Выпускается вода, имеющая, по утверждению производителей, кластеры размерами в пять молекул (пятикластерная вода, PentaWater [7]). Она должна легче усваиваться организмом, чем обычная. Однако доказательств того, что в кластере именно 5 молекул, производители не приводят.

Исследованию кластерной структуры воды посвящено много работ [8–10]. Обзор последних работ приводится в работе [9]. Качественно все отмечают, что параметры воды при разных видах воздействия на неё меняются. Однако точно определить, сколько молекул воды образуют кластер, пока никому из исследователей не удалось.

Попытки наблюдать структуру воды предпринимали и авторы этой работы. Под микроскопом наблюдалось рассеяние света от лампы накаливания и лазера на угол 90° . Луч света от мощной лампы накаливания фокусировался системой линз в пучок, который на длине 10 мм имел диаметр не более 2 мм. Свет от лазера и лампы накаливания направлялся в кювету из оптического кварцевого стекла толщиной 10 мм. Под углом 90° относительно оси светового пучка располагался объектив микроскопа. Фото представлены на рис. 2. В рассеянном свете видны неоднородности, размер которых лежит в пределах 0,01 – 0,1 мм. Супранадмолекулярные комплексы воды размером

порядка 0,1 мм обнаружены также в работе [11] в пучке рассеянного излучения лазера. Однако однозначно расшифровать подобные картины не представляется возможным.

В работе [12] приводятся результаты измерений распределения масс положительно заряженных кластеров паров воды. Использовалась дистиллированная вода, какая-либо специальная обработка воды не проводилась. В спектре наблюдаются все возможные кластеры, содержащие до 120 молекул воды. Структура кластеров $(\text{H}_3\text{O})^+(\text{H}_2\text{O})_n$. Исследовалась область масс с n от 3 до 120. Наиболее велика вероятность образования кластеров с $n = 2 - 4$ и $15 - 22$.

В книге Зенина [13] рассмотрены структуры, которые могут образовываться при соединении молекул воды в кластеры. Эти структуры могут по форме напоминать молекулы ДНК. Поэтому не исключено, что генетический код, записанный в молекуле ДНК, читает именно вода.

Таким образом, выполненные в настоящее время исследования позволяют утверждать, что структура воды есть, и она может меняться. Можно качественно указать на приёмы, позволяющие получать более мелкие кластеры воды. Однако вопрос о точном определении параметров кластера воды и получении кластеров с конкретными свойствами остаётся открытым.

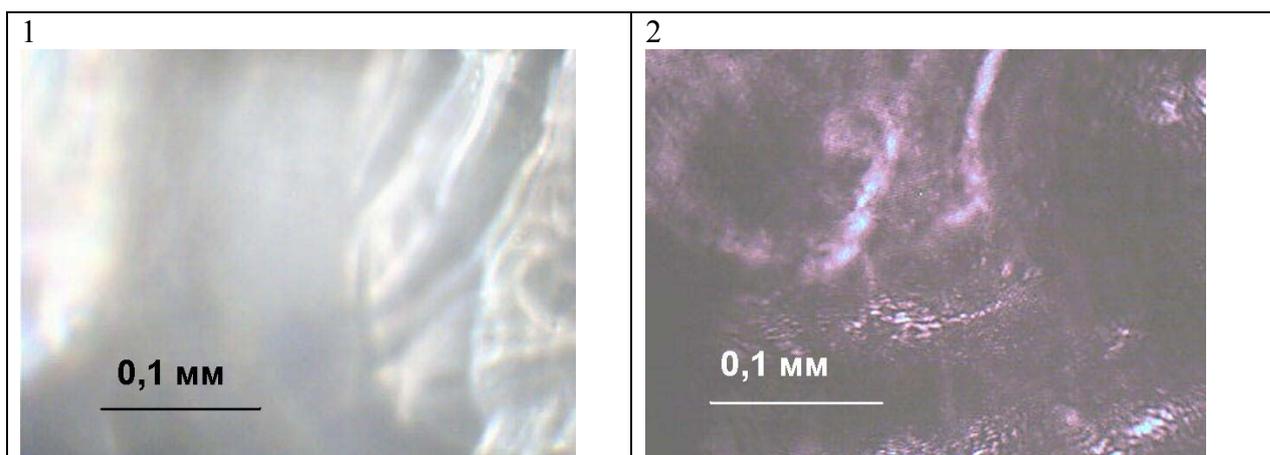


Рисунок 2. Фотография света, рассеянного на угол 90° относительно оси пучка: 1 – лампа накаливания; 2 – лазер. Направление пучка – слева направо, по оси абсцисс. Наблюдаемые неоднородности воды могут быть связаны с её структурой.

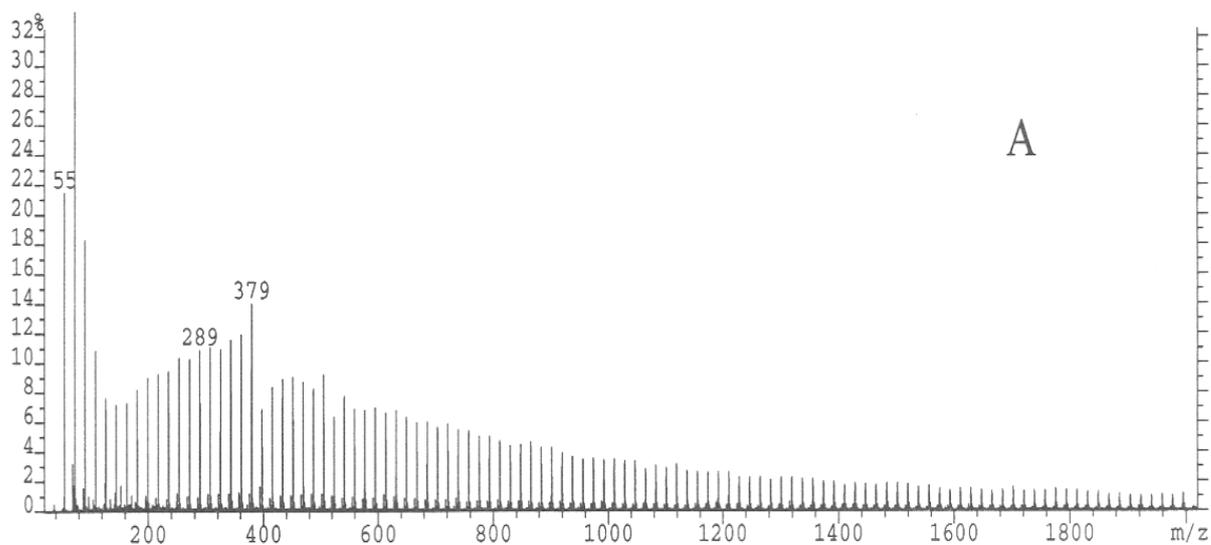


Рисунок 3. Масс-спектр высокого разрешения положительно заряженных кластеров воды, данные работы [12].

Глава I. Получение оксигенированной (кислородной) воды и её свойства

Концепция получения чистой и качественной воды

Методам лечения питьевой водой посвящено немало книг. Большой популярностью пользуются книги Ф. Батмангхелиджа [1 – 3], где речь идёт о лечении просто водой, и нет ни слова об её очистке. Однако в стране, где живёт Батмангхелидж (Пакистан) вода берётся из горных ручьёв и рек, и практически нет промышленности, которая могла бы загрязнить эту воду. Воздух в этой стране также чистый, горный, что не создаёт предпосылок для быстрого загрязнения воды, набранной в посуду. Такая вода изначально обладает целебными, живительными свойствами.

В местности, характерной для России, исходно чистая и целебная вода существует в родниках и колодцах. Но этой воды очень мало. Доступная нам водопроводная вода требует очистки для того, чтобы ей можно было придать целебные свойства. Известно, что вода из целебных источников обладает наибольшей силой на месте её появления. Поэтому возле целебных источников строят санатории, в которые люди едут издалека. Вода из этих источников, разлитая в бутылки и доставленная в другие города, обладает менее выраженным целебным эффектом. Поэтому естественно предположить, что целебную воду лучше всего готовить на месте её потребления.

Наиболее благоприятной для здоровья человека можно считать воду, на которой он вырос. Предки пили эту воду на протяжении многих поколений, организм привык к такой воде. Наши предки пили воду из рек или из родников (колодцев). Из родников и колодцев вода и сейчас наиболее благоприятна, однако её очень мало, не хватает. Много речной воды, однако, она стала сильно загрязненной, так что воду непосредственно из реки пить нельзя. Речная вода требует очистки. На городских станциях подготовки вода хорошо очищается, однако, проходя через старую водопроводную систему, она может снова загрязниться. Поэтому на месте потребления нужны локальные устройства водоподготовки.

В качестве альтернативы в настоящее время предлагается вода из скважин. Неглубокие скважины (до 30 м), забирающие воду из слоя песка, дают воду, которая обычно не требует очистки, и по своему составу она близка колодезной или родниковой. Однако дебет таких скважин невелик, они склонны к заиливанию и требуют нередко больших эксплуатационных затрат. Глубокие артезианские скважины (более 100 м) обеспечивают большой расход воды, меньше склонны к заиливанию. Однако вода из таких скважин часто содержит соли, не свойственные поверхностным речным водам, и непосредственно для питья, как правило, непригодна. Существуют скважины с целебной водой, но они встречаются редко. Поэтому в основном вода из артезианских скважин требует, как и речная вода, серьёзной очистки. Так как вода из артезианских скважин загрязнена солями, нежелательными для употребления или вредными здоровью, то их удаляют

высокоэффективными фильтрами, включая обратный осмос. Однако при этом из воды удалятся практически все соли. Чтобы компенсировать отсутствие солей, их искусственно вводят в воду после очистки.

Речная вода проходит очистку на водопроводных станциях. Основные стадии очистки – фильтрация через естественные материалы (гравий, песок) и отстаивание являются аналогом механизмов природной очистки воды. Дополнительно применяются хлорирование или озонирование, которое удаляет окисляющиеся примеси. При этом речная вода сохраняет исходный солевой состав, который является полезным.

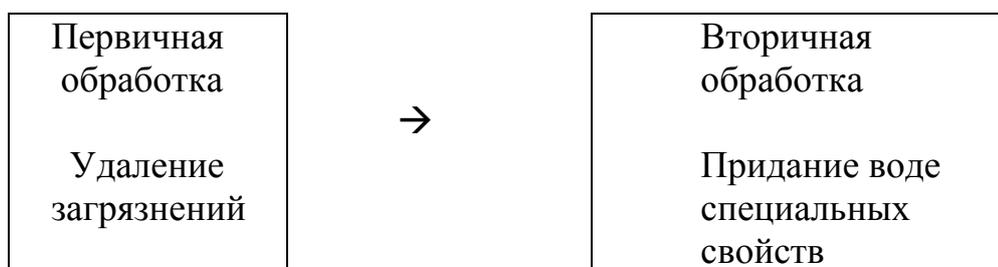
После очистки на водопроводной станции вода, независимо от того, какую основную стадию очистки она прошла – хлорирование или озонирование – перед подачей в трубопровод насыщается газообразным хлором или в неё вводится гипохлорит. Введение активного хлора необходимо для того, чтобы обеспечить обеззараживание воды во время её движения по трубам потребителю.

Трубопроводная система городов эксплуатируется десятки лет. За это время трубы загрязнились. Загрязнения труб происходят во время аварий на водопроводных станциях, когда вода без всякой очистки подаётся в водопровод. Аварии не часты, но они всё же случаются (например, при перебоях с подачей электроэнергии). Поэтому водопроводная вода нуждается в очистке от хлора и его соединений, а также от загрязнений, смытых водой со стенок трубы. Содержание этих примесей, как правило, находится в пределах ПДК, поэтому органы санэпиднадзора смело говорят, что вода из водопровода соответствует нормам. Однако потребители часто отмечают неприятный вкус и запах воды, вода быстро загрязняет чайники и кипятильники. Поэтому водопроводная вода тоже нуждается в очистке от загрязнений, которые в неё попадают из труб.

Таким образом, и артезианская, и водопроводная вода требуют очистки, однако исходный состав воды, более полезный для человека, имеет водопроводная вода. Её применение всегда предпочтительнее, чем артезианской. Для очистки артезианской воды используются приёмы, в корне меняющие её состав и структуру. Для очистки водопроводной воды лучше всего подходит методика, основанная на природных принципах очистки воды, происходящих в атмосфере и в поверхностном слое земли (в песке). Во всех случаях подготовку воды для питья лучше производить на месте потребления. Тогда она не будет загрязняться при транспортировке по трубам, и не будет терять свои свойства при длительном хранении.

Схема подготовки питьевой воды

В настоящее время известно много видов питьевой воды. Приготовление разных сортов воды требует применения специальных технологических приёмов обработки. Но вода практически из всех источников загрязнена. Поэтому подготовка воды для питья разделяется на два больших этапа.



Первичная обработка (удаление загрязнений) заключается в снижении содержания всех примесей до уровня меньше ПДК. Величина ПДК для каждого соединения определяется санитарными нормами [4]. Примеси воды бывают растворимые и нерастворимые. Нерастворимые примеси отделяются от воды механическими способами. Они оседают на дно сосуда, в котором вода отстаивается длительное время, либо задерживаются с помощью фильтров. Нерастворимые примеси присутствуют в воде в виде частичек различного размера. Если эти частички слишком мелкие, они могут не оседать на дно за время отстаивания и даже пройти через фильтр. Чтобы повысить эффективность отделения нерастворимых примесей, в воду могут вводить вещества, способствующие группированию нерастворимых веществ в образования более крупных размеров.

Растворимые примеси могут удаляться из воды только путём химических или биохимических превращений. Часть растворимых примесей может быть переведена в нерастворимые путём различных физико-химических воздействий на воду. Загрязняющее вещество может быть либо полностью разрушено, либо превращено в соединение, ПДК для которого намного больше, так что даже прежняя концентрация примесей окажется безопасной.

Примером химического превращения, очищающего воду, является окисление. Органические соединения могут полностью окисляться до углекислого газа и воды. При недостаточном количестве окислителя происходит неполное окисление, образуются промежуточные соединения. Промежуточные соединения, как правило, менее токсичны, чем исходные.

Другим примером химических превращений, очищающих воду, является восстановление. Восстановление используется, как правило, для удаления неорганических соединений. При восстановлении окислов могут образовываться соединения, выпадающие в осадок, либо газообразные продукты, улетающие из раствора.

На ход химических превращений влияет величина рН раствора. Изменяя рН, можно переводить загрязнения воды либо в нерастворимую форму, выпадающую в осадок, либо в газовую фазу. Есть соединения, которые удаляются из воды с помощью бактерий. Бактерии питаются примесями воды и успешно размножаются. Гибнущие бактерии уносят с собой всё, что они потребили. Отделяя погибших бактерий от воды, получим очищенную воду.

Этап удаления загрязнений неизбежно связан с образованием твёрдого осадка. При малой степени загрязнения и относительно малой

производительности очистное устройство можно периодически промывать вручную. В остальных случаях целесообразно применять автоматическую промывку. Промывка должна осуществляться часто, так как от грязной воды осадка накапливается много.

На второй стадии (придание воде специальных свойств) вода уже не содержит много загрязнений, и устройство обработки не забивается осадком и уже не требует регулярной частой очистки.

Вода, прошедшая первичную обработку, пригодна для питья. Во многих случаях потребители ограничиваются этой первой стадией, когда свойства воды достигают уровня санитарных норм. И этого было бы достаточно, если бы окружающая среда по всем показателям тоже соответствовала санитарным нормам. Но это далеко не так. Хозяйственная деятельность человека сильно деформировала окружающую среду, и условия далеки от естественного состояния. Для компенсации большого числа неблагоприятных факторов окружающей среды нужно принимать дополнительные меры. К числу таких мер относится употребление специальных сортов воды. Поэтому второй стадией подготовки питьевой воды является придание ей целебных свойств. Эта стадия не обязательная, она не предписана санитарными нормами. В природе очистка и придание целебных свойств совмещены.

Вторичная обработка уже чистой (или почти чистой) воды осуществляется различными физико–химическими воздействиями. В процессе этой обработки происходит доочистка воды. Однако, затраты энергии на удаление одной молекулы примеси при такой обработке намного выше, чем при первичной. Поэтому основные загрязнения должны удаляться первичной обработкой. Энергия, затрачиваемая при вторичной обработке, должна расходоваться в основном на улучшение качества воды и придание ей особых свойств.

Технологии вторичной обработки воды немногочисленны, и начинают играть заметную роль только в последнее время. В простейшем случае в воду вводятся добавки, улучшающие её свойства, корректирующие солевой состав.

Достаточно много способов воздействия на воду, влияющих, по мнению разработчиков, на её структуру. С водой действительно происходят изменения, описываемые количественно. Однако точно обосновать и рассчитать связь между воздействием и наблюдаемым эффектом не представляется возможным.

К числу видов воды, характеристики которых можно описать количественно, относится вода с положительным и отрицательным окислительно–восстановительным потенциалом. Основное внимание в книге будет уделено этим двум видам воды.

Технология получения чистой воды

Основа технологии

Таким образом, водопроводная вода имеет хороший состав, однако она загрязнена. Идеальным способом очистки воды является полное окисление всех содержащихся в ней примесей. Хорошо известна и широко применяется очистка воды методом озонирования. Однако озон – селективный окислитель. Имеется много веществ, которые практически не взаимодействуют с озоном. При взаимодействии с озоном органические соединения разлагаются до конечных продуктов, стойких к озону, либо окисляющихся им очень медленно. Есть опасные для здоровья органические соединения, (например, фенол) которые сами быстро разрушаются озоном, однако продукты взаимодействия фенола с озоном (например, щавелевая кислота) оказываются практически стабильными, не разрушаемыми озоном. Далеко не все продукты окисления озоном сложных органических соединений являются безвредными.

Применение сильных окислителей (хлор, озон) для разложения органических соединений приводит к появлению вторичных соединений (хлорорганика, озониды), токсичность которых может быть выше токсичности исходных веществ. Только гидроксильные радикалы полностью окисляют все соединения до уровня нейтральных солей. В частности, органические соединения окисляются гидроксильными радикалами до углекислого газа и воды. В настоящее время за рубежом интенсивно развивается новое направление, основанное на использовании в качестве окислителей гидроксильных радикалов, которое получило название «улучшенные окислительные технологии» (Advanced Oxidation Technologies, AOT's).

В научно–исследовательском институте ядерной физики имени Д.В.Скобельцына (НИИЯФ МГУ) совместно с Нижнетагильским технологическим институтом (филиалом) Уральского политехнического университета (УПИ) создан генератор холодной плазмы нового типа [5, 6]. Плазма образуется в газовой фазе при вспышечном коронном электрическом разряде на воздухе в насыщенных парах воды. На основе генератора реализован новый подход к задаче очистки воды, заключающийся в том, что осуществляется окисление всех веществ, растворенных в воде. Созданная нами технология очистки подобна той, которая осуществляется в природе, где вода испаряется, в парах воды (в облаках) происходят реакции с активными частицами, генерируемыми в верхней атмосфере солнечным и космическим излучением, фильтрация через грунт (песок). Одновременно протекают другие физико–химические процессы, придающие воде целебные свойства.

Генератор холодной плазмы

Электрический разряд является одним из способов генерации химически активных частиц [7]. Больше всего электрический разряд используется для получения озона [8]. Однако озон является селективным

окислителем, есть много соединений, которые практически не взаимодействуют с озоном. Поэтому представляет большой интерес генерирование универсальных высоко активных окислителей, к числу которых относятся гидроксильные радикалы. Гидроксильные радикалы с большой вероятностью гибнут во взаимодействиях между собой на месте образования. В работе [9] найдены условия, при которых время жизни радикалов составляет ~ 1 сек. Этого времени достаточно, чтобы извлечь радикалы из разрядной камеры с эффективностью порядка 50% и осуществить контактирование с обрабатываемой жидкостью. Наличие в числе активных частиц гидроксильных радикалов принципиально меняет ход окислительных процессов в жидкости, так как радикалы инициируют цепные реакции. Поддержание цепных процессов в обработанной жидкости позволяет, несмотря на малый абсолютный выход радикалов, получить результаты, недостижимые с помощью озонирования. В данной работе рассмотрены конструктивные особенности прибора, реализующего принципы генерации активных частиц, предложенные в обзоре [7] и патентах [5, 6, 10].

Холодная плазма вспышечного коронного электрического разряда при отрицательной полярности высокого напряжения на разрядном электроде образуется в области высокой напряжённости электрического поля. Если выбрать рабочее напряжение, обеспечивающее начало образования лавин, и ограничивать ток в разрядной цепи, то на электроде возникают импульсы Тричела [11]. При образовании лавины ток в цепи начинает возрастать. Ограничение тока на балластном резисторе приводит к падению высокого напряжения, которое уменьшается ниже порога образования лавины. При этом ток разряда падает и напряжение снова повышается. Образуются импульсы тока амплитудой ~ 200 мА, следующие с частотой ~ 100 кГц. Длительность импульса порядка 0,1 мкс. Напряжённость электрического поля при возникновении импульсов Тричела достигает 300 кВ/см [12]. Если разряд происходит на воздухе в присутствии паров воды, то образуются первичные активные частицы: озон, радикалы OH^\bullet и H^\bullet .

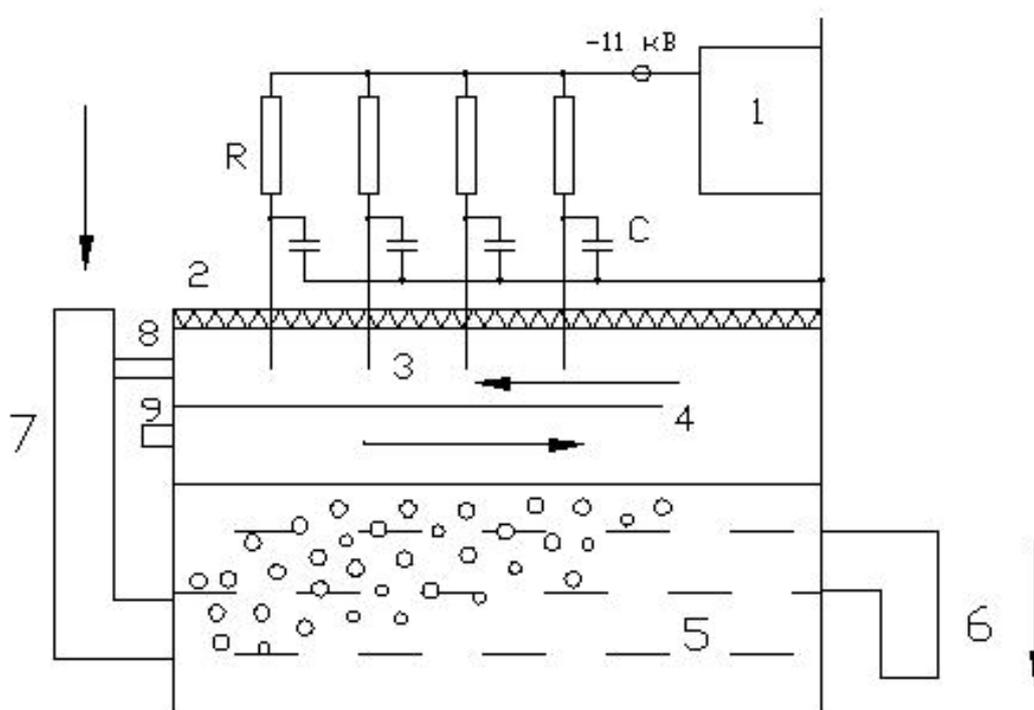


Рисунок 4. Эскиз генератора. 1 – источник питания; 2 – изолятор; 3 – разрядные электроды; 4 – заземлённый электрод; 5 – обрабатываемая вода; 6 – слив обработанной воды; 7 – эжектор; 8 – трубка вывода активных частиц; 9 – трубка подачи свежего воздуха или кислорода.

Эскиз генератора представлен на рис. 4. Прибор состоит из корпуса, в котором находится обрабатываемая вода 5, разрядные электроды 3 и заземлённый электрод 4. Разрядные электроды закреплены во фторопластовом изоляторе 2 толщиной 5 мм. На каждый разрядный электрод 3 через RC-цепочку подаётся высокое напряжение 11 кВ отрицательной полярности от источника питания 1. RC-цепочка ($R = 20 \text{ МоМ}$, 6 шт по 3,3 МоМ типа С2–33м, 1 Вт; $C = 34 \text{ пф}$, последовательно 2 шт 68 пф, 6,3 кВ типа К15–5) используется для формирования разряда требуемого типа. Источник питания представляет собой генератор тока, обеспечивающий в рабочем режиме ($V = -11 \text{ кВ}$, $I = 4 \text{ мА}$) динамическое выходное сопротивление 0,5 МоМ.

Вспышечный коронный электрический разряд возникает между разрядными электродами 3 и заземлённым электродом 4. Ток разряда с каждого электрода 70 – 100 мкА. Величина разрядного промежутка 6 мм. Для того, чтобы обеспечить концентрацию поля на каждом электроде, расстояние между электродами должно составлять не менее 25 мм, длина каждого электрода не менее 25 мм. Диаметр разрядных электродов 2 мм. Материал электродов – проволока из нержавеющей стали. Электроды специально не затачивались, достаточно острия, возникающего на краях при обрезании

проволоки. Фотография разряда, образующегося между электродами 3 – 4 внутри камеры генератора, приведена на рисунке 5.

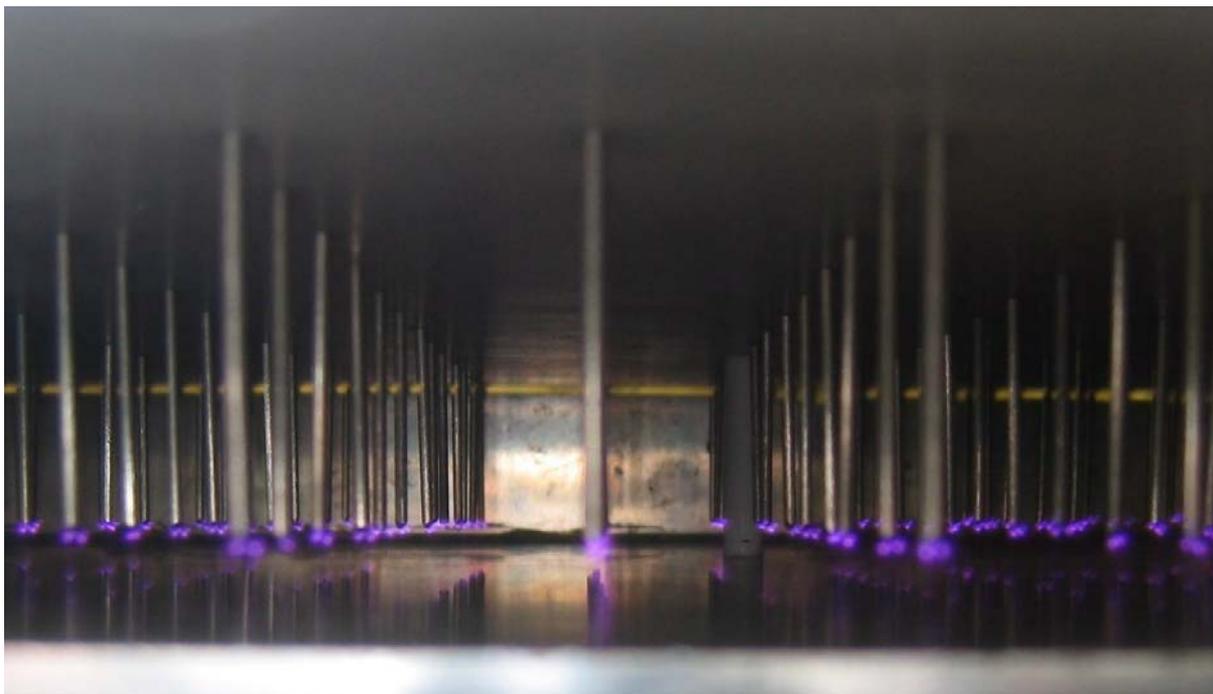


Рисунок 5. Вид разряда в камере генератора.

Схема обработки питьевой воды генератором холодной плазмы

Эскиз установки для дополнительной очистки водопроводной воды представлен на рисунке 6. Установка состоит из генератора холодной плазмы и дополнительного угольного (коксового) фильтра, предназначенного для нейтрализации активных частиц, которые могут остаться после обработки паров воды плазмой. Перед подачей в генератор вода проходит фильтр, свойства которого зависят от состава и качества воды. Если вода сильно загрязнена, и содержит железо (больше 0,5 мг/л), соли жёсткости значительно больше ПДК, и др. необходимо дополнительно использовать технику, ориентированную на удаление именно этой примеси.

Для водопроводной воды, соответствующей санитарным нормам, достаточно использовать песчаный фильтр. При обработке водопроводной воды подача кислорода в камеру генератора не обязательна. Принудительная подача кислорода (воздуха) желательна в случае сильного насыщения воды хлором, что происходит обычно летом в жаркую погоду. При всех условиях, подача кислорода улучшит качество воды, позволит повысить концентрацию растворенного кислорода и сделает её особенно полезной.

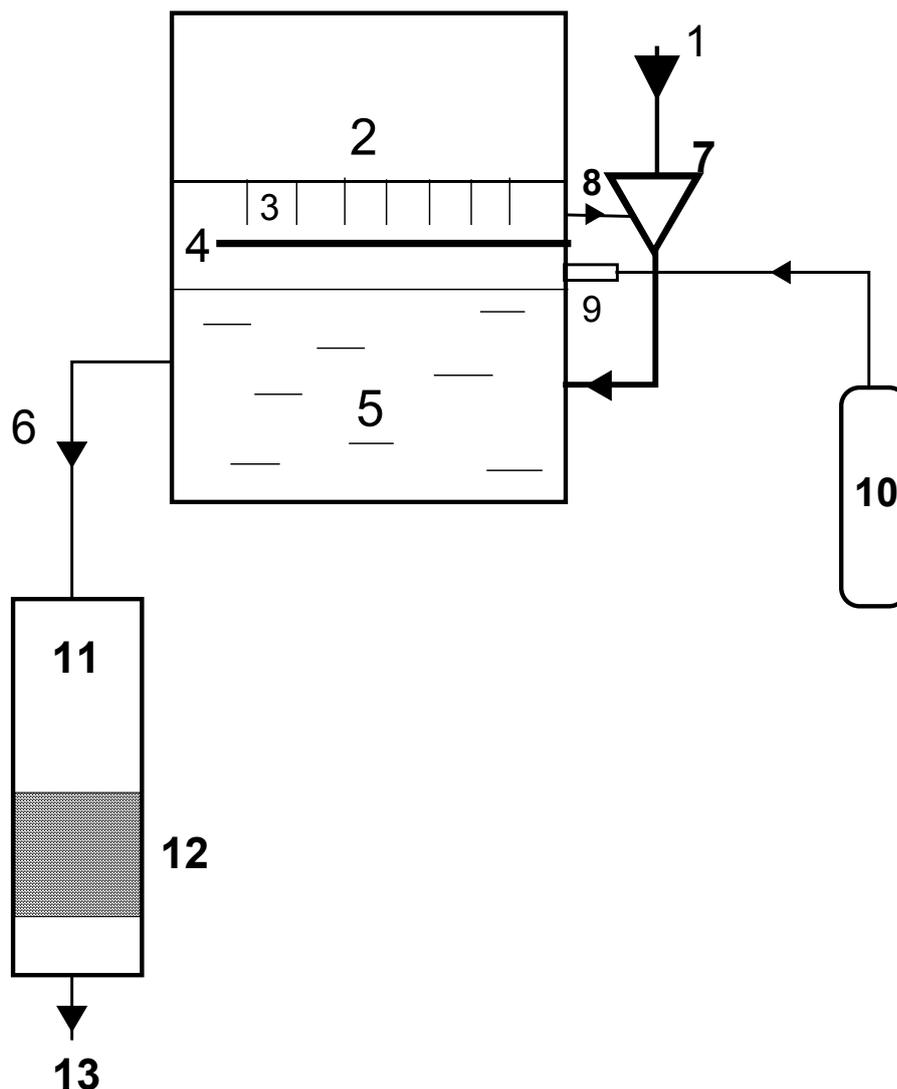


Рисунок 6. Эскиз установки для обработки питьевой воды холодной плазмой вспышечного коронного электрического разряда. Цифрами на рисунке обозначены: 1 – вход обрабатываемой воды; 2 – резисторная матрица; 3 – разрядные электроды; 4 – земляной электрод; 5 – резервуар с обрабатываемой водой; 6 – выходная труба; 7 – эжектор; 8 – всасывающая трубка; 9 – обратный воздушный клапан, через который может подаваться кислород; 10 – кислородный баллон; 11 – фильтр; 12 – кокс; 13 – выход обработанной воды.

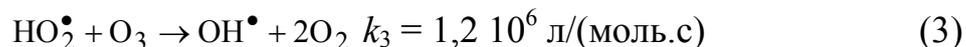
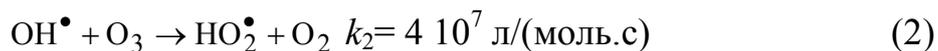
Обрабатываемая вода по трубе 1 подается на вход эжектора 7. Если вода загрязнена механическими примесями, то на входе нужен дополнительный фильтр с пористостью 1 – 2 мкм. Если обрабатывается водопроводная вода, которая содержит хлор, то для его удаления на входе нужен песчаный фильтр, на выходе которого хлор переходит из раствора в газовую фазу. Холодная плазма образуется в зоне разряда в насыщенном парами воды воздухе или кислороде между электродами 3 и 4 и высасывается из области разряда эжектором 7 через трубку 8. В эжекторе газ перемешивается с водой в соотношении 1:1. Водо-газовая смесь поступает в резервуар 5. Время нахождения воды в резервуаре 5 порядка 2 – 3 минут. Здесь почти все газы отделяются от воды и через разрядную полость (зазор

между электродами 3 и 4) снова всасываются в эжектор. Поэтому при большом содержании растворённых в воде газов необходима принудительная подача в камеру воздуха или чистого кислорода. Его количество также определяется расходом на окисление и уносом с потоком воды. При расходе воды $0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ подача кислорода должна быть порядка 10 л/ч . Избыточная подача кислорода недопустима, так как она приводит к выдуванию активных частиц из генератора, что будет означать снижение эффективности прибора и появление запаха озона в помещении, где находится прибор.

Неизрасходованный озон используется повторно, его концентрация в газовой фазе после включения высокого напряжения возрастает и достигает стационарной концентрации примерно через 15 минут. По мере расходования кислорода (и озона) на окисление примесей воды и унос с потоком воды в растворенном виде, давление в камере генератора уменьшается, и свежий воздух подсасывается через обратный клапан 9. Клапан представляет собой длинную трубку, через которую свободно проходит воздух, а в обратную сторону диффундирует озон. Длина трубки выбрана достаточно большой, так что озон не может утекать из камеры генератора с большой вероятностью, так как диффундирующий озон увлекается обратно засасываемым воздухом. Воздух в помещении, из которого засасывается воздух в генератор, должен быть чистым, в противном случае будет происходить вторичное загрязнение воды. Отделение газов от воды продолжается и в трубе 6, соединяющей генератор и фильтр. В одну сторону (вниз) через трубу идет вода, в обратную (вверх) – озono-воздушная смесь. Поэтому труба должна иметь большой диаметр. Растворенный в воде озон и кислород окисляют углерод, получаются карбонат-ионы CO_3^{2-} . При взаимодействии этих ионов с ионами металлов, которые могут быть в воде, получаются нерастворимые соединения. В растворе остаются только карбонаты щелочных металлов. Поэтому обработанная вода часто имеет немного более щелочную реакцию, чем исходная. Отстаивание воды от выпадающих в осадок соединений можно осуществлять в промежуточной ёмкости, где будет накапливаться обработанная вода. Таким образом, уголь расходуется, однако его запаса хватит на весь срок службы прибора. Пример процесса извлечения тяжёлого металла на примере ионов меди дан в работе [13]. Этот процесс возможен в воде, имеющей достаточную жёсткость.

Физико–химические процессы в генераторе холодной плазмы

При вспышечном коронном электрическом разряде в воздухе при наличии паров воды образуются первичные активные частицы: озон, радикалы OH^\bullet и H^\bullet . Концентрация озона намного больше концентрации радикалов, так как выход озона больше, и он не полностью расходуется и накапливается в процессе работы. В присутствии большого количества озона, генерируемого при электрическом разряде, если $[\text{O}_3] \gg [\text{H}^\bullet], [\text{OH}^\bullet], [\text{HO}_2^\bullet]$ происходят реакции:



Т.е. радикалы взаимодействуют в первую очередь с озоном, так как его концентрация намного больше, чем концентрация радикалов. В результате атомы (радикалы) H^\bullet превращаются в радикалы OH^\bullet , в газовой фазе остаются радикалы OH^\bullet и HO_2^\bullet , которые не погибают, а взаимодействуя с озоном, превращаются один в другой: $\text{OH}^\bullet \leftrightarrow \text{HO}_2^\bullet$. Радикалы «живут» в динамике, и на поддержание их жизни расходуется озон. Отношение концентраций радикалов OH^\bullet и HO_2^\bullet определяется константами скорости реакций (2) и (3) и равно $[\text{OH}^\bullet]/[\text{HO}_2^\bullet] = 0,03$ [7]. Образуется озono-гидроксильная смесь, время жизни которой порядка 1 сек [9]. Озono-гидроксильная смесь высасывается через трубку 8 в эжектор и смешивается с водой. Эффективность вывода радикалов при длине трубки не более 10 см составляет 30 – 50%.

Наличие гидроксильных радикалов в газовой смеси принципиально изменяет химические процессы, происходящие в воде. Сам озон является селективным окислителем, имеется много веществ, с которыми он практически не взаимодействует. В отличие от озона, активные частицы, образующиеся в холодной плазме, являются универсальным окислителем, их реакционная способность в миллионы раз больше реакционной способности озона. Поэтому степень очистки воды холодной плазмой намного выше, чем при обработке озоном. Особенно эффективен новый метод очистки воды при малом содержании примесей (как в случае речной воды), так как расход электроэнергии на генерацию необходимого количества активных частиц будет мал. В обрабатываемой воде в камере генератора создается концентрация растворенного озона не менее 1 мг/л. Такой концентрации озона достаточно для полной дезинфекции воды. Воду непосредственно с выхода генератора можно использовать для дезинфекции посуды, рук, пищевых продуктов.

Соли жесткости, растворенные в воде, частично переходят в нерастворимую форму



В обычной воде этот процесс происходит на горячих поверхностях (стенках чайника или нагревательных элементах), поэтому они покрываются налетом карбоната кальция. После обработки воды предлагаемым способом карбонат образуется во взвешенном состоянии и значительно меньше оседает на горячих поверхностях, тем самым уменьшается карбонатная жесткость воды.

Органические соединения при взаимодействии с радикалами разлагаются до углекислого газа и воды. Относительно малый выход гидроксильных радикалов компенсируется тем, что они инициируют цепные реакции, которые могут продолжаться долго после первичного контакта радикалов с водой [7]. Длина цепи, количество актов окисления на один первичный радикал, может составлять 1000 и более.

Динамика установления концентрации озона внутри камеры, аналогичной камере генератора, детально исследовалась в работе [7]. Концентрация озона, растворённого в воде, вытекающей из камеры прибора (трубы 6) при следующих параметрах: расход обрабатываемой водопроводной воды $0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, количество разрядных электродов – 49, суммарный ток электрического разряда на всех электродах 4 мА представлена на рис. 7.

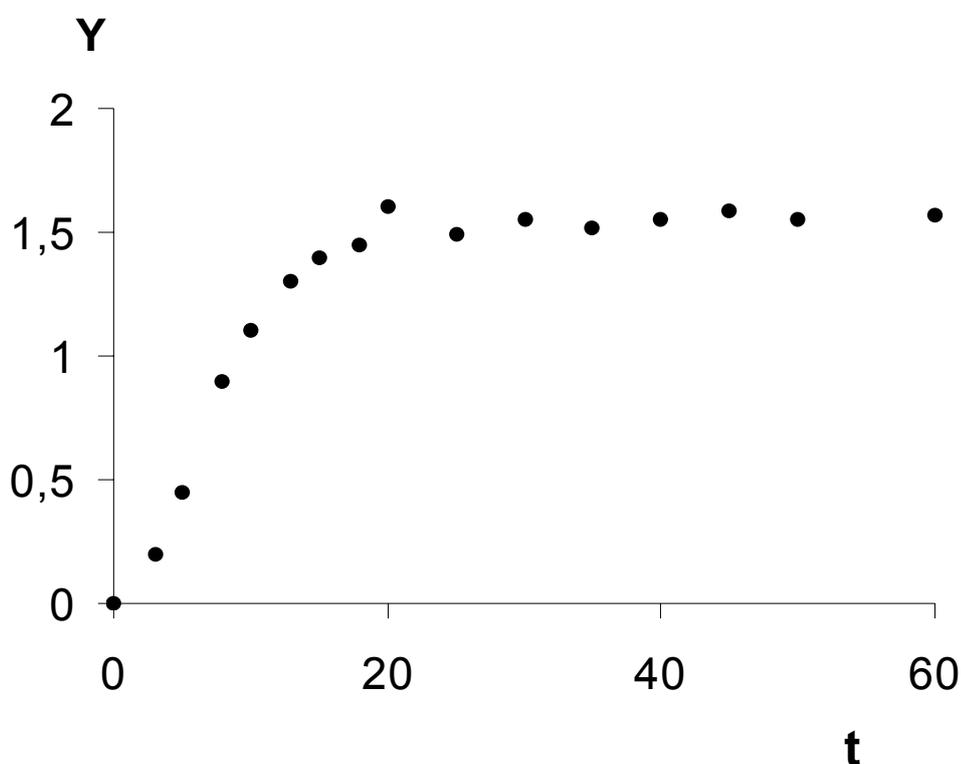


Рисунок 7. Установление стационарной концентрации озона, растворённого в воде, на выходе из генератора. t – время с момента включения электрического разряда, минуты; Y – концентрация озона, растворённого в воде, мг/л.

Из рис. 7 видно, что концентрация озона достигает стационарного состояния через 30 минут и составляет $\sim 1,5 \text{ мг/л}$ ($3 \cdot 10^{-5}$ моль/л). Концентрация озона оказывается достаточно большой для удовлетворения условия $[\text{O}_3] \gg [\text{OH}^\bullet], [\text{HO}_2^\bullet], [\text{H}^\bullet]$ через 15 минут. Поэтому характерной особенностью работы генератора является время готовности, которое определяется временем установления стационарной концентрации озона в газовой полости, и составляет не менее 15 минут. В стационарном состоянии

концентрация озона, растворённого в воде внутри камеры генератора 5, составляет $\sim(1 \div 1,5)$ мг/л.

Перед тем, как поступить к потребителю, вода должна пройти стадию разложения активных частиц. Для этого вода пропускается через угольный (коксовый) фильтр. Фильтр полностью поглощает все высоко активные частицы, находящиеся в воде, и частично разлагает озон до уровня ПДК (0,3 мг/л). Остаточный озон консервирует воду, разливаемую в бутылки, что позволяет долго хранить её без ухудшения качества. Концентрация активного кислорода, длительное время сохраняющаяся в воде, составляет $\sim 0,05$ мг/л. Пролонгированный антимикробный эффект обеспечивается присутствием в воде следов перекиси водорода и коллоидными частицами, несущими электрический заряд, полученный ими при обработке воды холодной плазмой.

Применение кокса вместо обычного древесного угля (например, марки БАУ) связано с тем, что из древесного угля при большом потоке воды вымывается много частиц неизвестного состава. В результате содержание взвеси и мутность воды после фильтра из древесного угля может оказаться больше, чем в исходной воде. Кокс, по сравнению с древесным углем, имеет намного более высокую механическую прочность.

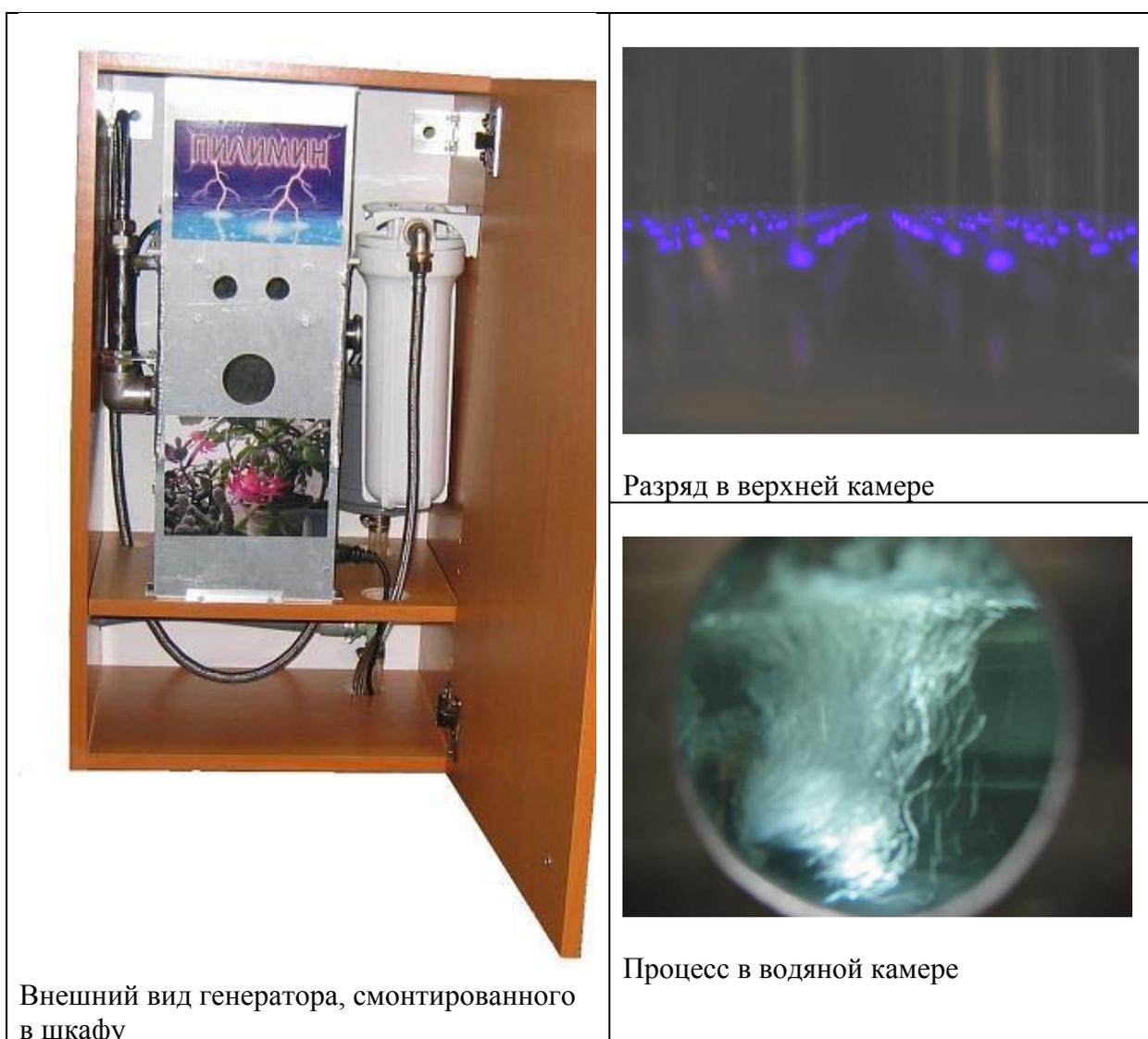
Результаты испытаний генератора БЭР-49-М

Физические принципы и конструктивные особенности, изложенные выше, легли в основу приборов серии «Пилимин» марки БЭР-49-М. Испытывался прибор для очистки воды с генератором холодной плазмы, имеющем 49 разрядных электродов, суммарный ток электрического разряда 4 мА, поток обрабатываемой воды составлял $0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Измерялся выход активных частиц. Для этого использовались дозиметрические жидкости: раствор в дистиллированной воде KI концентрацией 5 г/л и щавелевой кислоты концентрацией 1 г/л, которые пропускались через прибор. Выход окисления иода позволял определить суммарное количество всех окислителей (озона и радикалов), высасываемых из разрядной полости эжектором и контактирующих с жидкостью. Количество молекулярного иода, образовавшегося при окислении, определяли титрованием тиосульфатом натрия. Содержание щавелевой кислоты в исходной и обработанной воде определяли перманганатным методом.

Расходование щавелевой кислоты возможно только в результате окисления гидроксильными радикалами, так как константа скорости реакции окисления озоном очень мала [14]. Таким образом, выход окисления ионов иода определял суммарное количество всех окислителей, а выход окисления щавелевой кислоты определял количество гидроксильных радикалов, извлечённых из разрядной полости. Установлено, что выход озона составляет 120 ± 10 моль/моль электронов (молекул на один прошедший в разрядной цепи электрон), а выход гидроксильных радикалов, уносимых с потоком озона, 15 – 20 моль/моль электронов. Полный выход радикалов в зоне разряда составлял 32 моль/моль электронов [7]. Отсюда эффективность

вывода радикалов из разрядной камеры составляет около 50%. Эти выходы соответствуют образованию озона 0,8 г/ч и гидроксильных радикалов $1,5 \cdot 10^{-3}$ моль/ч при мощности генератора 40 Вт.

При измерении выхода радикалов делали контрольный опыт. В раствор щавелевой кислоты вводили углекислый натрий концентрацией 5 г/л. Ионы CO_3^{2-} с намного более высокой скоростью взаимодействуют с гидроксильными радикалами, чем щавелевая кислота. Поэтому радикалы «перехватываются» ионами CO_3^{2-} и окисление щавелевой кислоты не происходит. Фактически измеренный выход окисления щавелевой кислоты с добавлением Na_2CO_3 составил 0 ± 2 моль/моль электронов. Этот дополнительный эксперимент подтверждает, что частицы, окисляющие щавелевую кислоту – радикалы. Фото прибора марки БЭР-49-М для очистки питьевой воды и насыщения её кислородом, представлено на рис. 8.



Внешний вид генератора, смонтированного в шкафу

Разряд в верхней камере

Процесс в водяной камере

Рисунок 8. Внешний вид генератора холодной плазмы для очистки и получения насыщенной кислородом воды производительностью 250 л/ч, смонтированного в навесном шкафу. В разрядной камере (верхние два маленьких окошка) виден вспышечный коронный электрический разряд на электродах. В нижней водяной камере (нижнее большое окно) видно впрыскивание газо-жидкостной смеси.

Эффективность водоочистного устройства в части некоторых загрязняющих компонентов и результаты анализа водопроводной воды г. Москвы, обработанной прибором Пилимин, приведены в таблицах 1 – 3.

Таблица 1.

Эффективность водоочистного устройства в части некоторых загрязняющих компонентов.

Наименование загрязняющего компонента или показателя качества	Норматив (ПДК) по СанПин 2.1.4.1074	Диапазон концентраций загрязняющих компонентов в очищаемой воде мг/дм ³	Степень очистки, %
Фенол, мг/л	0,001	0,001 – 0,005	более 89%
Хлор остаточный, мг, л свободный	0,3 – 0,5	0,5 – 2,0	(85 ± 10)%
общий	0,8 – 1,2	1,0 – 2,2	(59 ± 10)%
Перманганатная окисляемость, мг О/л	5	5 – 8	(72 ± 10) %
Железо, мг/л	0,3	0,3 – 0,64	(88 ± 8)%
Медь, мг/л	1,0	0,95 – 1,0	более 98%
Мутность, ЕМФ	2,6	15 ± 3	(98 ± 2)%

Таблица 2.

Результаты измерений антимикробных свойств обработки.

Показатель	ПДК	Результат до обработки	Результат после обработки	НД на методы испытаний
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов	КОЕ/мл Не более 100	Обнаружено 300 КОЕ	Не обнаружено	МУК 4.2.1018–01

Таблица 3.

Результаты анализа обработанной прибором Пилимин водопроводной воды г. Москвы.

№	Показатели	Результат измерений	ПДК	Единица измерения
1.	Запах неопред.	1	2	Баллы
2.	Цветность	5,3	20	Градусы
3.	Мутность	< 0,5	2,6	ЕМФ
4.	Водородный показатель	7,53	от 6 до 9	Единицы рН
5.	Перманганатная окисляемость	2,56	5	мг О/л
6.	Общее железо	< 0,1	0,3	мг/л
7.	Аммиак и аммонийные соли	0,23	2	мг/л
8.	Нитраты по нитрат-иону	2,81	45	мг/л
9.	Нитриты по нитрит-иону	0,02	3,3	мг/л
10.	Общая жёсткость	3,1	7	мг–экв/л
11.	Фториды	0,095	1,2	мг/л

12.	Марганец	0,03	0,1	мг/л
13.	Щёлочность	2,25	10	мг-экв/л
14.	Бикарбонаты	137,3	Не норм.	мг/л
15.	Кальций	45,2	Не норм.	мг/л
16.	Хром (Cr ⁶⁺)	<0,01	0,05	мг/л
17.	Свинец	<0,01	0,03	мг/л
18.	Цинк	0,07	5	мг/л
19.	Медь	<0,01	1	мг/л
20.	Связанный остаточный хлор	<0,05	от 0,1 до 1,2	мг/л
21.	Растворённый кислород	14 ^{*)}	Не норм	мг/л

*) – при температуре обрабатываемой воды +7°С и при подаче в камеру только воздуха.

Получение воды, насыщенной кислородом (спортивная вода)

Известно, что вода, насыщенная кислородом, способствует усилению процессов обмена веществ в организме. Приём такой воды снимает усталость, повышает работоспособность. Применение кислородной воды спортсменами повышает выносливость, положительно влияет на спортивные результаты. Кислород не является допингом, и не относится к числу веществ, запрещённых к употреблению.

Обычная технология получения насыщенной кислородом воды достаточно сложная. Приготовленная вода разливается в бутылки и доставляется потребителям. Нами на базе генераторов холодной плазмы серии «Пилимин» создана технология получения воды, насыщенной кислородом и его активными формами, непосредственно у потребителя. Концентрация растворённого кислорода от 9 до 70 мг/л в зависимости конкретных условий производства. Воду можно пить непосредственно из выходной трубки установки, либо заливать в ёмкости разного объёма. В закрытых бутылках вода сохраняет повышенное содержание кислорода не менее месяца, хотя лучше всего использовать воду в течение суток.

Обработанная вода, кроме молекулярного кислорода, содержит его активные формы, что улучшает усвоение кислорода организмом. В насыщенной кислородом воде полезно купаться, так как дыхание через кожу играет важную роль. Предполагается производство воды, насыщенной кислородом, на месте её потребления (в спортивном комплексе) с помощью приборов серии «Пилимин».

Источником воды является водопровод. Водопроводная вода, получаемая очисткой речной на городских станциях водоподготовки, по своему составу наиболее благоприятна для жителей данной местности. Используемая нами технология очистки и обеззараживания воды, её насыщения кислородом, является природной. Она основана на природных материалах и процессах, аналогичных атмосферным. Солевой состав воды полностью сохраняется.

Рассмотрим механизм получения оксигенизированной (оксигенированной, кислородной) воды. В обычной воде на воздухе

концентрация растворённого кислорода составляет при комнатной температуре 5 – 7 мг/л. В приборах Пилимин вода смешивается с газом, высасываемым из разрядной камеры, в соотношении 1:1 и насыщается кислородом до предела его растворимости при данной температуре и парциальном давлении. На воздухе и при комнатной температуре предельная концентрация кислорода в воде составит 9 мг/л. При температуре воды 3 – 5 °С предельная концентрация растворённого кислорода составит 12 – 14 мг/л. При работе на воздухе (парциальное давление кислорода 0,21 атм) мы получаем концентрацию растворённого кислорода, определяемую температурой воды. Т.е. летом при температуре воды около 20 °С получаем 9 мг/л, а зимой при температуре воды 3 – 5 °С, получим 12 – 14 мг/л.

Если подавать в камеру генератора чистый кислород и его парциальное давление будет 1 атм, т.е. в 5 раз больше, то получим концентрацию растворённого кислорода также в 5 раз больше, т.е. летом порядка 45 мг/л, а зимой 60 – 70 мг/л. Для обеспечения режима предельного насыщения кислородом, его расход составит 5 – 10 л/ч.

Здесь приводились данные только по молекулярному кислороду, роль которого для дыхания невелика, поскольку кислород человек получает из воздуха. Наибольший интерес представляют активные формы кислорода, которые стимулируют усвоение кислорода клетками. Известно, что человек может погибнуть от удушья даже в том случае, если ему дали кислородную подушку. И только активные формы кислорода могут его в этом случае спасти.

Кислородная вода производится на заводах, удалённых от потребителя. В частности, вода ОКСИ производится в Краснодаре. Доставка в крупные города занимает много времени. За это время концентрация кислорода сильно падает. Согласно данным авторов воды ОКСИ [15], сразу после изготовления она содержит кислорода от 29 до 34 мг/л, а через 30 дней остаётся от 8 до 16 мг/л. Столько же кислорода содержит вода Пилимин сразу после приготовления и в течение первых суток даже при обработке воды на воздухе при парциальном давлении кислорода 0,21 атм. Содержание активных форм кислорода в воде ОКСИ падает намного быстрее. Поэтому свежеприготовленная вода Пилимин намного полезнее и эффективнее, чем привозная. Устройств, позволяющих получать кислородную воду на месте потребления, кроме приборов Пилимин, нет.

«Кислородный коктейль», получаемый путём введения в воду кислорода из баллона, отличается от кислородной воды, получаемой прибором Пилимин, так как при введении кислорода из баллона газообразный кислород мгновенно улетучивается из воды. Вода вспенивается, оказавшись в стакане с открытой поверхностью. Для удержания пены в воду добавляется яичный белок. В «кислородном коктейле» совсем нет активных форм кислорода, которые в кислородной воде играют решающую роль.

Растворённый кислород, насыщающий воду при обычных технологиях (кислородный коктейль), вводится за счёт повышенного давления. Такая

вода, наливаемая в стакан, пенится, и кислород быстро улетучивается. В нашей технологии растворённый кислород улетучивается из стакана медленно. Физические основы такого явления будут рассмотрены далее.

Спортсмены, один раз попробовавшие воду Пилимин, сразу оценивают её свойства, и стараются пить только её. Примеры размещения приборов Пилимин представлены на рисунке 9.

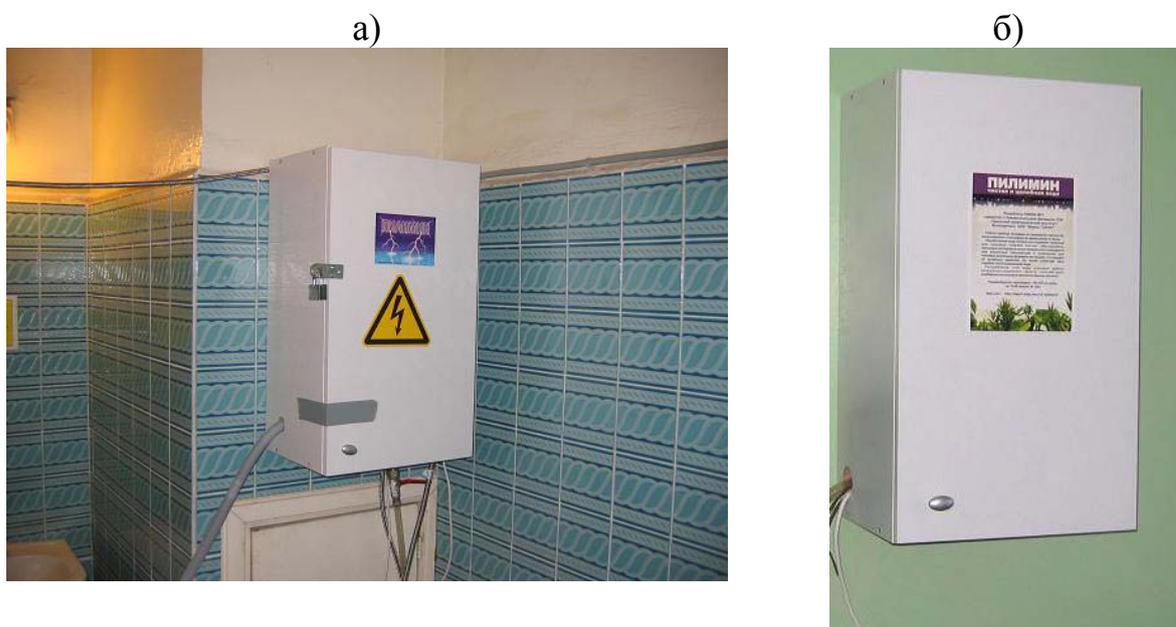


Рисунок 9. Размещение прибора Пилимин: а) в спортивном комплексе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова; б) в общежитии УПИ, г. Нижний Тагил

Оперативный контроль качества питьевой воды

В настоящее время ни для кого не секрет, что питьевая вода по целому ряду причин может оказаться некачественной. Все понимают, что необходимо прилагать какие-то усилия для того, чтобы пить по возможности более чистую воду, а готовую воду - контролировать.

Бизнесмены предлагают большой выбор услуг по улучшению качества питьевой воды. Это различные очистные устройства и готовая к употреблению питьевая вода. Однако не следует забывать, что задача бизнеса – получение прибыли, а не забота о вашем здоровье. И прибыль увеличивается, если технологические приёмы по очистке воды упрощать, сокращать и, вообще, не применять. В очистных приборах при массовом выпуске можно использовать более дешёвые некондиционные детали и материалы. Например, в фильтры можно засыпать недостаточно подготовленный и плохо очищенный фильтрующий материал. Всё это делает актуальной задачу оперативного контроля качества потребляемой вами воды и приобретаемых для её очистки приспособлений. В связи с этим, мы разработали методику оперативного контроля качества питьевой воды, доступную в осуществлении каждому.

В настоящее время известно около 1300 веществ, опасных для здоровья. Предельно допустимые концентрации (ПДК) ряда веществ в воде очень малы, и доходят до единиц и десятков микрограмм на литр. Обнаружение таких малых количеств вещества является сложной и дорогостоящей задачей. Поэтому даже в крупных специализированных лабораториях испытания воды проводятся по сильно ограниченному числу основных параметров (обычно 10 – 25 параметров по выбору заказчика анализа). В воде могут содержаться ядовитые вещества с концентрацией, в десятки раз превышающей ПДК, однако если вы не заказываете найти именно это вещество, то при стандартном анализе оно не будет обнаружено. Например, присутствие цианидов или фенола с концентрацией в 10ПДК не повлияет на результаты стандартного химического анализа воды, если специально не искать цианиды и фенолы.

Нами для анализа воды использована стандартная процедура выпаривания и определения сухого остатка. Взвешивание осадка позволяет определить общее содержание солей в воде. Выпаривание воды может производить каждый у себя дома. Для определённости следует выпаривать одинаковое количество воды. В своих опытах, результаты которых будут ниже, мы выпаривали всегда 0,5 литра воды. Для выпаривания нужна только колба из химического стекла (чтобы склянка не лопнула при нагреве и кипячении). Колбу можно взять объёмом 250 мл и по мере выпаривания добавлять в неё оставшуюся воду.

Количество осадка позволяет оценить общее содержание солей. Увеличение веса колбы после выпаривания 0,5 л воды в пределах 50 – 500 мг является нормой. Количество солей можно оценивать на глаз, сравнивая полученный осадок с фотографиями, приведёнными ниже. Если солей очень

мало, дно колбы едва покрывается лёгким белым налётом. Если солей очень много, осадок толстый, и при кипении в конце выпаривания, когда в колбе остаётся слой жидкости около 1 см, раздаются хлопки, связанные с тем, что осадок откалывается от дна колбы.

Соли, не вредные для здоровья, при выпаривании дают белый осадок. Любое окрашивание свидетельствует о наличии опасных примесей. Опасные примеси дают, как правило, чёрный или коричневый оттенок. Бледно-коричневый оттенок означает, что вредных примесей не много. Приводимые далее фото дают возможность оценить степень загрязнения. Однако уверенность в качестве воды даёт только белый осадок. Если есть заметное окрашивание, нужно принять меры для более детального анализа воды.

Разница в характере воды хорошо видна на стадии, когда её осталось немного. На рис. 10 слева представлена колба 1, в которой находилась водопроводная вода, справа цифрой 2 обозначена колба, в которой выпаривалась дистиллированная вода.

Когда осадок уже получен, можно определить, являются ли загрязняющие вещества органическими или неорганическими соединениями. Для этого колбу нужно нагреть до температуры выше 100 °С, т.е. поставить колбу на огонь или на горячую конфорку и выдержать 1 – 2 минуты. Органические соединения начнут разлагаться. Осадок начнёт чернеть. Появится запах гари. По запаху можно даже догадаться, что это было за вещество. После прокаливания органических соединений и их полного выгорания осадок остаётся белым. Если осадок – неорганические соли, то в процессе прокаливания запах не появляется и окрашивание осадка, как правило, остаётся, хотя цвет может немного измениться.

Рассмотрим теперь примеры осадка, образующегося после выпаривания 0,5 л воды разного вида. Это поможет вам ориентироваться при проверке своей воды.

Водопроводная вода. На станциях водоподготовки вода чистая. Однако, проходя трубы, которые, как правило, сильно загрязнены, вода сама загрязняется. Типичный пример остатка от выпаривания почти всей водопроводной воды представлен на рис. 10 (колба 1), высушенный осадок – на рис. 11 (колба 1). Окрашивание остатка воды и осадка свидетельствует о наличии вредных примесей. Анализ показал, что вода содержала железо в количестве, превышающем ПДК (0,4 мг/л). Для сравнения на рис. 11 (колба 2) приведён осадок от выпаривания воды целебного источника.



Рисунок 10. Остаток от выпаривания 0,5 л воды на конечной стадии. Объём колбы 250 мл.
1 – вода водопроводная; 2 – вода дистиллированная.

Дистиллированная вода, полученная в стеклянном дистилляторе и хранившаяся не более суток после выпаривания, не оставляет ничего. Из рис. 10 (колба 2) видно, что после выпаривания почти всей пробы воды (0,5 л) её цвет и прозрачность остаются такими же, как в исходной воде. Вода из металлического дистиллятора, хранившаяся в стеклянном сосуде больше недели, оставляет небольшой белый налёт на дне колбы.



Рисунок 11. Осадок от выпаривания 0,5 л воды: 1 – водопроводная вода; 2 – родниковая вода целебного Шиловского источника, г. Нижний Тагил.

Родниковая вода. Если родник бьёт из толщи земли, осадок получается почти белый (см. рис. 12, колба 1). Наблюдается небольшое окрашивание осадка в колбе 1, свидетельствующее о некотором загрязнении. Детальный химический анализ показывает, что такое загрязнение не опасно, обусловлено содержанием железа 0,1 мг/л, что в три раза ниже уровня ПДК. Распределение осадка по поверхности стекла характеризует солевой состав: при наличии гидрокарбонатов вся поверхность колбы остаётся покрытой белым налётом. Если гидрокарбонатов нет – осадок лежит на дне.

Встречаются родники, выходящие из земли в поле (см. рис. 13, колба 1). Осадок такой воды часто бывает окрашен в коричневый цвет, как видно из рисунка 13. Это свидетельствует о наличии загрязнений. Анализ показывает, что вода в колбе 1 содержала железо 0,3 мг/л (на уровне ПДК).

Колодезная вода. Вода из хорошо очищенных колодцев даёт только белый осадок (рис.12 и 13, колбы 2). Весной во время таяния снегов и половодья в колодец может попадать вода с поверхности. Тогда осадок будет окрашен в коричневый цвет. Поэтому весной после половодья колодец нужно обязательно прочистить, вычерпать всю воду.

Речная вода. Всегда оставляет коричневый осадок, свидетельствующий о её загрязнении (рис. 14, колба 1). В данном случае вода загрязнена органическими соединениями и имеет химическое поглощение кислорода (ХПК) около 40 мг О/л, что превышает ПДК.

Вода из артезианских скважин. Осадок всегда белый, если нет железа (рис.14, колба 2). При наличии железа осадок будет красно-бурый. В данной пробе железа нет. Вода из скважин может содержать избыточное количество солей кальция и гидрокарбонатов. При закипании такая вода становится белой. В процессе кипячения в колбе раздаются резкие хлопки и колба начинает подпрыгивать. Хлопки связаны с тем, что карбонаты и соли кальция оседают на горячее дно, при кипении куски осадка с грохотом отрываются от стекла и колба подпрыгивает. Воду, содержащую избыток солей и примеси железа, можно пить после того, как довести до кипения, дать отстояться сутки и для питья слить сверху слой прозрачной воды.



Рисунок 12. Осадок от выпаривания 0,5 л родниковой воды (колба 1) и колодезной воды с малым содержанием солей (колба 2).



Рисунок 13. Осадок от выпаривания воды из родника, бьющего в поле (колба 1), и колодезной воды с нормальным содержанием солей (колба 2).

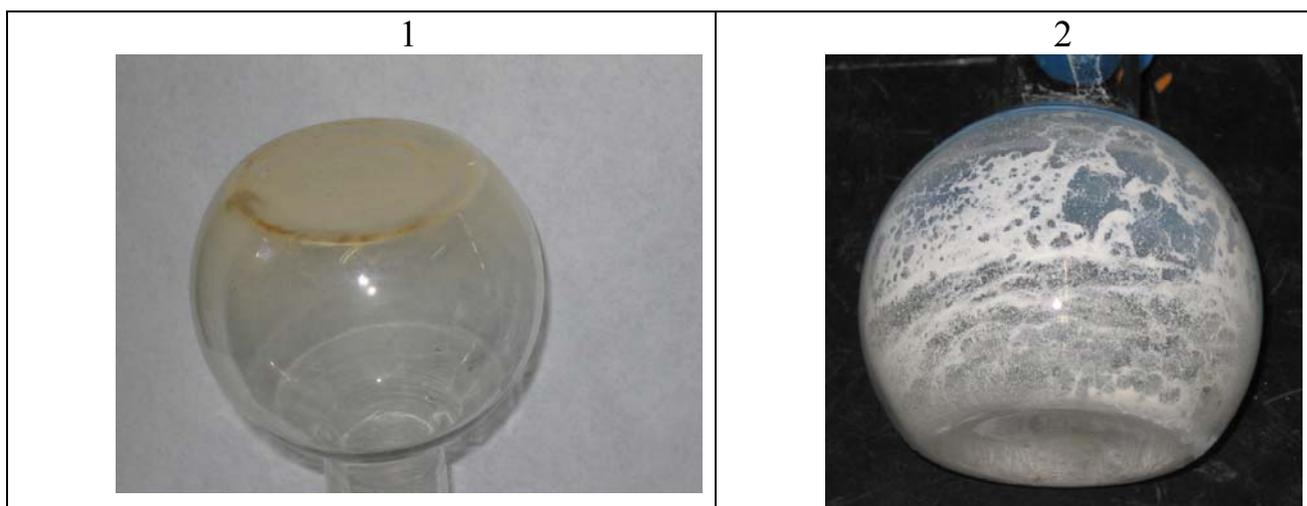


Рисунок 14. Осадок после выпаривания 0,5 л воды: речная (колба 1), из артезианской скважины (колба 2).

Очистка воды с применением высокоэффективных фильтров

Такой способ очистки широко используется при промышленном получении воды, разливаемой в бутылки. Источником воды является, как правило, артезианская скважина. Вода из скважины практически с гарантией не содержит загрязнений, характерных для поверхностных вод, обусловленных остатками органических веществ. Однако артезианская вода может содержать техногенные загрязнения, обусловленные захоронением промышленных отходов в подземные полости.

Непосредственно из скважины вода определяется составом минералов, через которые она проходит, и часто оказывается непригодной для питья из-за большого содержания солей кальция, железа, сероводорода и других

неорганических соединений. Поэтому такая вода перед разливом в бутылки подвергается тщательной многоступенчатой очистке, включающей отстаивание, фильтрование обратным осмосом, озонирование. Вода становится чистой, в ней не остаётся практически ничего. Однако вряд ли такую воду следует считать полезной, так как организму требуются соли, а в очищенной воде их практически нет. Напомним, что согласно СанПиН, питьевая вода должна содержать соли от 0,1 до 1,0 г/л. Вода, полученная обратным осмосом, этому условию не удовлетворяет. В то же время, природная питьевая вода, на которой выросли люди, содержит довольно много солей.

Пример воды, обработанной обратным осмосом, приведён на рис. 15. Колба 1 – вода, очищенная по природной технологии прибором серии Пилимин с сохранением солевого состава, колба 2 – вода, прошедшая сложную многоступенчатую очистку, включающую обратный осмос, и разливаемая под торговой маркой «Королевская вода». Согласно результатам анализа, помещённым на сайте производителя [16], в этой воде почти ничего нет. Осадка действительно практически не видно, и содержание солей намного меньше, чем в природной воде (не более 30 мг/л). В отличие от неё, вода, полученная по природной технологии в генераторе холодной плазмы серии Пилимин [17], полностью сохраняет солевой состав.



Рисунок 15. Осадок от выпаривания 0,5 л воды: полученной по природной технологии с сохранением солевого состава на установке серии Пилимин (колба 1), Королевская вода (колба 2).

Влияние питьевой воды, обработанной установками серии «Пилимин», на здоровье человека и рекомендации по её употреблению

Основными факторами, положительно влияющими на здоровье, являются:

- повышенная концентрация кислорода;
- наличие легко усваиваемых активных форм кислорода;
- пониженное значение окислительно–восстановительного потенциала у отстоявшейся воды;
- удаление из воды сильно токсичных веществ (например, фенолов), которые могут содержаться в воде в малых количествах.

Многочисленными потребителями воды наблюдались следующие положительные реакции, возникающие при регулярном приеме обработанной сырой воды, а также использования этой воды для приготовления пищи (в первую очередь, чая, кофе, компота):

- улучшение работы желудочно-кишечного тракта, печени и почек;
- повышение работоспособности;
- усиление действия уже принимаемых лекарственных препаратов;
- применение воды во время застолья и на следующее утро значительно уменьшает похмельный синдром.

Вода содержит легко усваиваемые активные формы кислорода, после её приема активизируются процессы в организме, в первую очередь в желудке. Поэтому не следует пить эту воду на пустой желудок. После приема воды на пустой желудок не позднее, чем через полчаса, следует что-нибудь съесть. Спокойно можно пить воду после еды. Рекомендованное специалистами количество выпиваемой воды – до 2,5 литров в день.

Положительный эффект от приема воды ощущается в первую очередь на органах, которые непосредственно контактируют с водой. Вода нормализует процессы в желудке независимо от того, какой характер отклонений наблюдался у потребителя. Устраняется изжога, несмотря на то, что значение рН кислородной воды при обработке не меняется, остаётся нейтральным. Если после приема пищи в желудке ощущается дискомфорт, достаточно запить плохо воспринимаемую пищу водой, и вы сразу забудете о своих проблемах.

Вода хорошо промывает печень и почки. При длительном приеме воды нормализуются многие проблемы с этими органами.

От простуды хорошо помогает полоскание водой горла. При насморке следует закапать в ноздрю полную пипетку и высморкаться. Повторять эту процедуру с обеими ноздрями до полного очищения носа. По мере того, как нос будет очищаться, нужно добиваться, чтобы вода из носа попадала в носоглотку. При этом возникает ощущение сильной горечи во рту. По окончании полоскания носа нужно прополоскать горло этой же водой, горечь исчезнет. Полоскание носа и горла позволяет вылечить гайморит.

По мнению медиков, ресурс каждого отдельного органа человека составляет сотни лет. В частности, врачи Боткинской больницы оценивают ресурс печени в 600 лет. Почему же мы живём намного меньше? С одной стороны, этих органов много. Вероятность «безаварийной» работы каждого органа в любой отрезок времени $P_i(t)$ всегда меньше единицы. Сбой всегда, в принципе, возможен, $P_i(t) < 1$. Вероятность «исправной» работы всего организма будет определяться произведением вероятностей работы каждого органа, каждой системы: $\prod_{i=1}^n P_i(t)$. Для простоты предположим, что вероятности нормальной работы всех органов одинаковы. Тогда $\prod_{i=1}^n P_i(t) = P^n(t)$.

Пусть, к примеру, органов, или функциональных систем, будет 100. Если вероятность нормальной работы каждой системы за сто лет будет равна 0,99, то $P^n(t) = 0,99^{100} = 0,36$, то есть продолжительность жизни составит 36 лет. А если $P(t) = 0,98$, то $0,98^{100} = 0,13$, то есть продолжительность жизни будет всего 13 лет. Из этого иллюстративного расчёта следует, что даже очень маленькое изменение вероятности нормального функционирования органов, всего на 0,01 (на 1%) может приводить к сокращению (или увеличению) продолжительности жизни всего организма в разы. А так как человек – это мешок с водой, то регулярное потребление только здоровой воды, которое не приведёт к заметным наблюдаемым результатам для каждого отдельного органа, в целом будет иметь очень большое значение.

Сколько в организме функциональных единиц, повреждение которых приведёт к гибели организма, сосчитать трудно. К смерти может привести заражение крови в маленьком пальчике. Но трудно оспорить то, что даже маленькое увеличение вероятности исправной работы каждого органа приведёт к значительному увеличению срока функционирования всего организма. И нужно принять все меры, чтобы вероятность повреждения органов уменьшилась. Одним из сильных источников поддержания здоровья является вода, так как человек на 70% состоит из воды.

Технология применения приборов ПИЛИМИН в разных условиях

Схема подключения прибора в режиме очистки водопроводной воды

Схема представлена на рисунке 16.

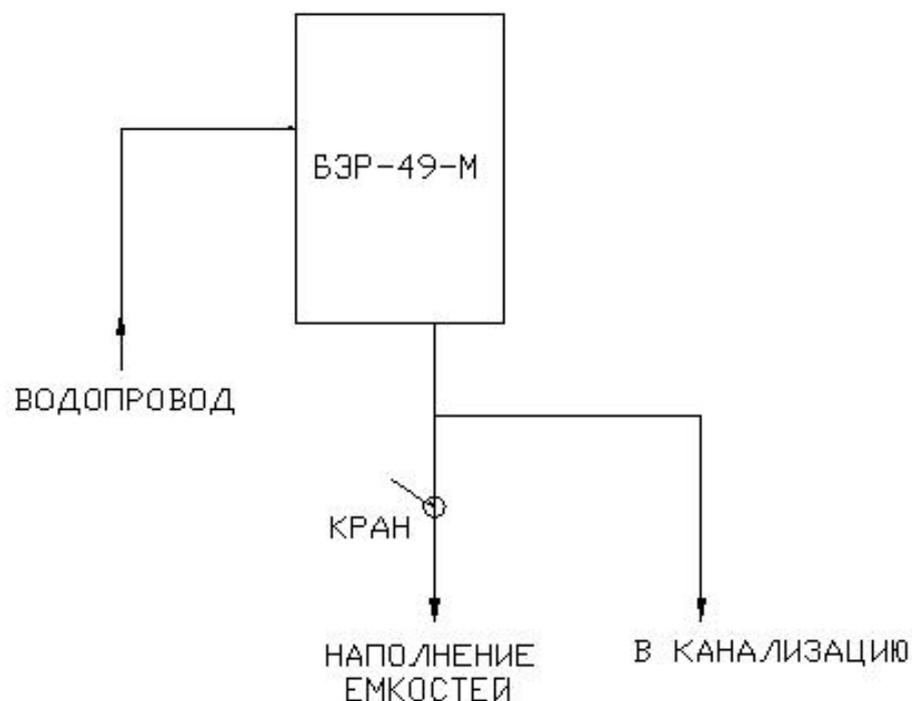


Рисунок 16. Схема подключения прибора. Прибор подключается аналогично стиральной машине.

Вода из водопроводной сети подается на вход генератора через песчаный фильтр. С выхода прибора (после коксового фильтра) вода поступает на тройник. Отвод в горизонтальном направлении через шланг от стиральной машины соединяется с канализацией. В прямую трубу включается кран. Набор воды потребителем осуществляется через трубу, идущую вниз.

Когда кран закрыт, вода из прибора поступает в канализацию. Кран остаётся закрытым 15 – 20 минут после включения, пока осуществляется установление рабочего режима. Когда прибор готов, кран можно открывать и наполнять приготовленные заранее ёмкости для создания запаса воды.

Включение прибора для очистки заранее набранной воды

Схема представлена на рисунке 17.

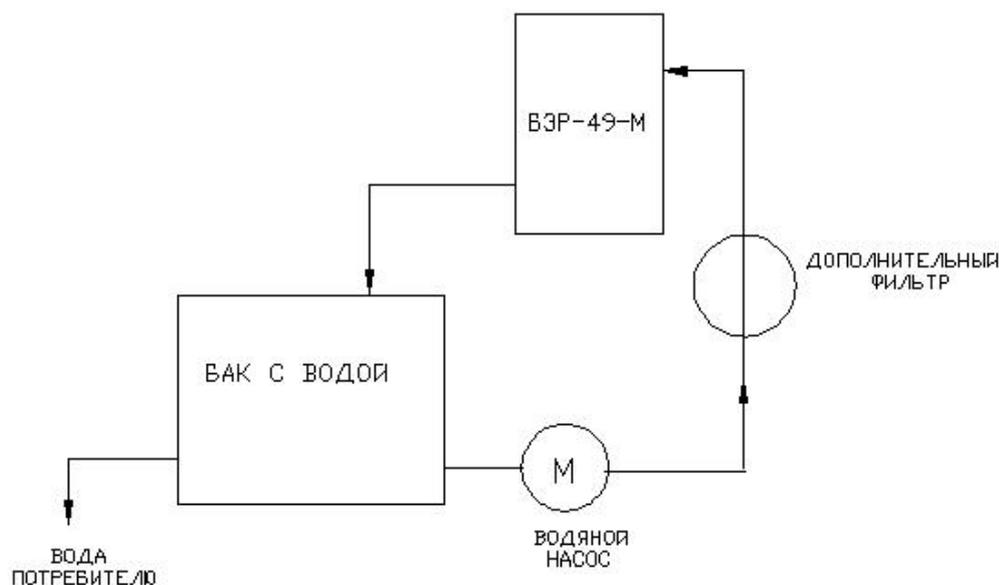


Рисунок 17. Включение прибора для очистки воды, залитой в бак.

Воду в бак можно набрать, например, из колодца. Насос подаёт воду на вход прибора. Если вода сильно загрязнена (степень загрязнения более чем в 3 раза превышает ПДК) необходимо применять дополнительные фильтры, рассчитанные на поглощение именно тех примесей, для которых имеет место сильное превышение ПДК.

Например, если концентрация железа больше 1 мг/л, то необходимо применять каталитический фильтр. Если в воде большой избыток солей жёсткости, необходимо добавить умягчающий фильтр. Необходимость применения дополнительных фильтров обусловлена тем, что в приборе ПИЛИМИН не предусмотрено накопление большого количества извлечённых примесей и их автоматическое удаление. Внешние фильтры можно прочищать механически, заменять по мере исчерпывания ресурса работы, либо использовать автоматически промываемые фильтры.

Обработанная вода сливается самотёком обратно в бак. Первые 15 – 20 минут в генераторе устанавливается рабочий режим, и очистка малоэффективна, реальная очистка начинается по истечении этого времени. В зависимости от степени загрязнения воды для её очистки необходимо пропустить полный объём воды в баке через прибор от одного до трёх раз. В процессе обработки вода нагревается, и это накладывает ограничение на кратность обработки воды, так как температура обрабатываемой воды должна быть не выше 25 °С.

Очищенная вода хранится в баке с негерметично закрытой верхней крышкой не более недели. Потребитель наливает воду из бака через кран. Для семьи из двух человек достаточно заготавливать 60 – 70 литров на неделю.

Очистка воды плавательных бассейнов

Качество воды плавательных бассейнов должно удовлетворять требованиям санитарных норм [18]. Чтобы выполнить регламент этого документа, необходимо либо постоянно заменять воду, т.е. организовать проточную систему подачи воды питьевого качества из водопровода, либо создать циркуляционную систему с устройствами очистки и обеззараживания воды. Полный водообмен в такой системе должен осуществляться не более, чем за 8 часов, т.е. производительность циркуляционного устройства должна быть 1/8 объема бассейна в час. Перекачивание воды осуществляется насосами соответствующей производительности.

Устройство циркуляции должно осуществлять, как минимум, следующие основные функции: коагуляция взвеси воды, фильтрация, обеззараживание и коррекция рН. Степень обеззараживания никогда не равна 100%, часть бактерий все равно остаётся. Кроме того, с пловцов постоянно смываются новые бактерии. Поэтому при всех способах дезинфекции вода после обработки должна содержать вещества, подавляющие размножение бактерий. В процессе эксплуатации накапливаются растворимые в воде вещества, которые не могут быть удалены применённой системой очистки. Поэтому в бассейнах, особенно больших, (более 500 м³) рекомендовано постоянно добавлять свежую воду питьевого качества.

Для улучшения отделения взвешенных веществ в воду, поступающую в контур очистки, вводится коагулянт. Затем вода проходит песчаный и, при необходимости, угольный фильтры. Коррекция рН после обработки осуществляется введением химических реактивов (обычно, кислоты). Основной проблемой является разложение загрязнений и дезинфекция воды. Наиболее широко распространёнными методами обеззараживания воды в России являются обработка бактерицидными (УФ) лучами, хлорирование, озонирование.

Дальнейшим развитием технологии очистки воды плавательных бассейнов является обработка холодной плазмой вспышечного коронного электрического разряда, в котором вырабатывается озono-гидроксильная смесь [19, 20]. Обеззараживание и частичное разложение примесей осуществляется озоном, полное разложение примесей – гидроксильными радикалами. Принцип циркуляции воды при обработке озono-гидроксильной смесью показан на рисунке 18.

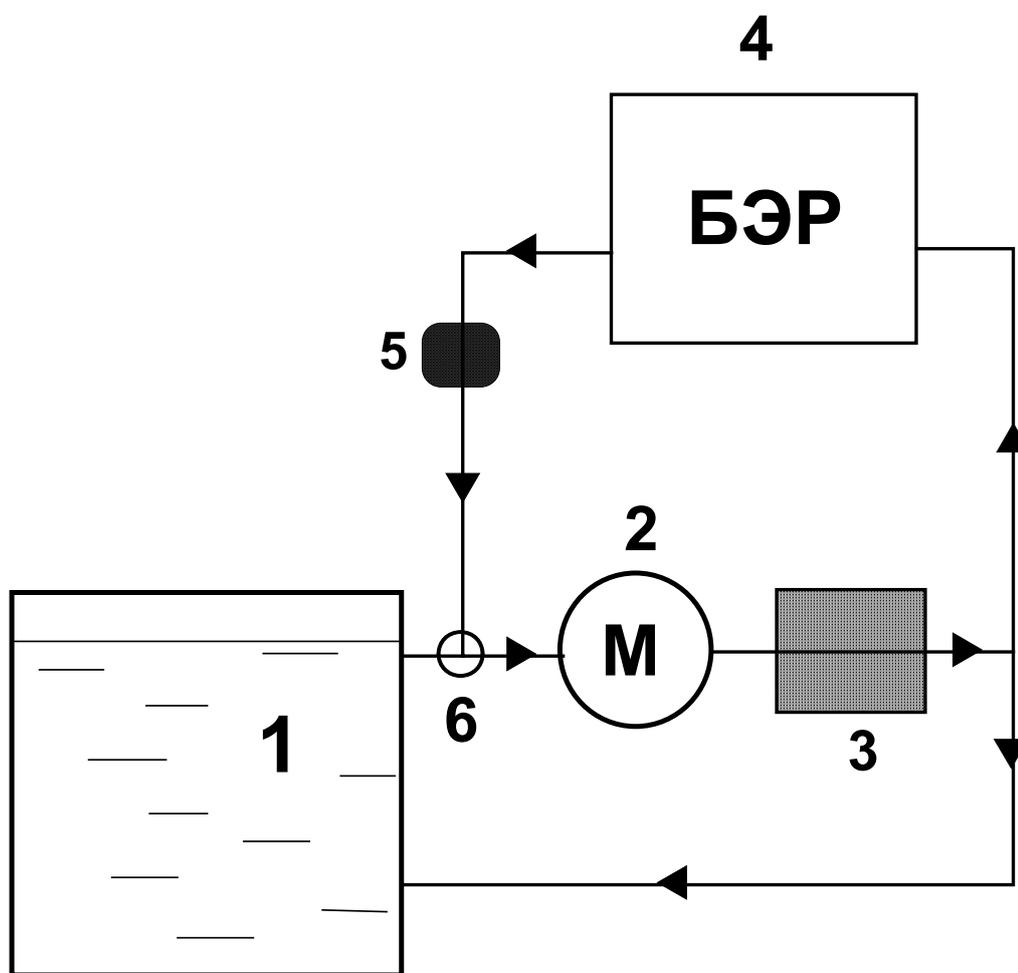


Рисунок 18. Циркуляция воды при обработке озono-гидроксильной смесью. 1 – бассейн; 2 – насос; 3 – песчаный фильтр; 4 – генератор озono-гидроксильной смеси; 5 – угольный фильтр; 6 – точка слива обработанной воды.

Основной контур очистки воды состоит из насоса и механического (песчаного) фильтра. Поток воды в этом контуре должен быть больше 1/8 объема бассейна в час на величину потока воды через контур генератора озono-гидроксильной смеси. Часть воды из основного контура ответвляется в контур генератора. Давление воды на отрезке от фильтра 3 до бассейна 1 при длине трубы 5 – 10 метров может составлять не менее 0,5 атм. Этого давления достаточно для нормальной работы эжектора генератора. Поток воды в контуре генератора может быть 5 – 10% от основного потока и его величина не имеет принципиального значения.

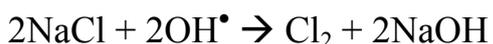
Поток проходит через генератор и подвергается обработке озонem и гидроксильными радикалами. Озono-гидроксильная смесь контактирует с водой в эжекторе-кавитаторе. Кавитация усиливает действие основных факторов электрического разряда. Внутри полости генератора создается концентрация озона в воде до 1,5 мг/л, время удержания воды в полости не менее 2 минут. Вода, насыщенная озонem, уносится из генератора и после угольного фильтра 5 смешивается с основным потоком в точке 6. Точка 6 находится вблизи узла забора воды из бассейна. В угольном фильтре

поглощаются свободные радикалы и осуществляются химические реакции, приводящие к выпадению в осадок карбонатов тяжелых металлов. Для дезинфекции воды основной активной частицей будет озон (также как и при озонировании). Дезинфицирующий эффект усиливает кавитация. Дополнительно дезинфекция усиливается электрическим зарядом, создающимся в воде и концентрирующимся на микроскопических частицах взвеси, имеющейся в воде, а также образованием в электрическом разряде перекиси водорода. Разложение примесей в воде будет осуществляться озоном и радикалами OH^\bullet .

Радикалы OH^\bullet , в отличие от озона, являются универсальным окислителем, они взаимодействуют со многими веществами примерно в миллион раз быстрее, чем озон. Конечным продуктом взаимодействия с органическими веществами является углекислый газ и вода. Выход озона на единицу затрачиваемой энергии в генераторе холодной плазмы примерно тот же, что и в современных озонаторах, однако кроме озона здесь образуются радикалы OH^\bullet (примерно 1/6 часть от выхода озона), которые при тех же энергетических затратах намного повышают эффективность очистки воды. Озонированная вода, смешиваясь с основным потоком, осуществляет её дезинфекцию. Пролонгированное дезинфицирующее действие может осуществляться двумя способами.

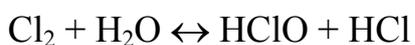
1. В обработанной озono-гидроксильной смеси воде создается остаточная концентрация активного кислорода на уровне 0,05 – 0,1 мг/л, которая может сохраняться больше суток. Основной составляющей активной формы кислорода является перекись водорода.

2. Поддержание концентрации активного хлора. Идея метода заключается в том, что ионы хлора, находящиеся в воде, (например, в составе поваренной соли) окисляются гидроксильными радикалами.

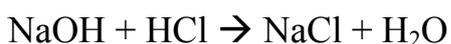


Следует подчеркнуть, что окисление ионов хлора озоном в принципе возможно, но реакция протекает очень медленно.

В генераторе часть образующегося газообразного хлора выделяется из воды, а часть гидролизуется.



Соляная кислота нейтрализуется щёлочью – продуктом первой реакции окисления хлора:



В этом процессе молярная концентрация ионов гипохлорита может достигать 1/6 от молярной концентрации озона (пропорционально соотношению выходов озона и гидроксильных радикалов при вспышечном коронном электрическом разряде). Нарбатываемые таким образом ионы гипохлорита обеспечивают подавление размножения бактерий в объеме бассейна.

Применение генератора озono-гидроксильной смеси для очистки воды плавательного бассейна позволяет получить следующие преимущества.

- Улучшение качества воды за счет более полного окисления примесей (по сравнению как с хлорированием, так и с озонированием).
- Отсутствие раздражающего запаха хлора (хотя хлор в виде NaCl все равно нужно добавлять, однако его расход очень маленький).
- Получение воды с пониженным окислительно-восстановительным потенциалом.

Испытания установки мощностью 40 Вт в бассейне объемом 40 м³ дали следующие результаты. В новый бассейн была залита вода из скважины, вода мутная. На первом этапе очистка воды осуществлялась только с помощью песчаного фильтра. В воду добавили 200 г реагента, содержащего активный хлор (таблетки АКВАТАБС). После осветления воды был включен генератор озono-гидроксильной смеси. Никакие реактивы в воду больше не добавлялись. Система очистки воды, представленная на рисунке 18, включалась на 7 – 10 часов в сутки. Поток воды через контур генератора (см. рисунок) составлял 0,6 м³/ч. При работе генератора вода сохранялась чистой и прозрачной. Когда генератор выключили на трое суток, работал по 10 часов в сутки только насос и песчаный фильтр, вода покрылась окрашенной пленкой. После включения генератора пленка исчезла.

Исходная вода имела рН = 7,15, содержание железа 2 мг/л. После обработки в течение месяца по 7 – 10 часов в сутки значение рН стало 8,45, окислительно-восстановительный потенциал +70 мВ, содержание железа – меньше 0,3 мг/л.

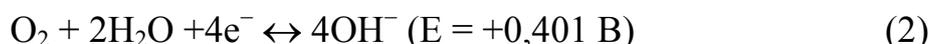
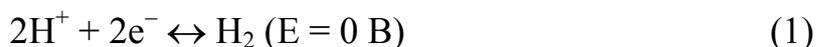
Добавление в бассейн объемом 1000 м³ всего 0,5 м³ свежей водопроводной воды, обработанной прибором Пилимин, по мнению пловцов, улучшает качество воды. Вода становится приятнее.

Глава II. Приготовление питьевой воды с отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом путём насыщения её водородом

Вводная часть

Вода с отрицательным окислительно–восстановительным потенциалом (ОВП) и обладающая восстановительными свойствами обычно называется «активированной». Основной технологией получения такой воды является электролиз. Принято считать, что процессы, приводящие к снижению ОВП, происходят в области границы с поверхностью электрода, где возможны большие напряженности электрического поля. Исследованию механизмов активации воды при электролизе посвящен ряд работ [1–4].

В процессе электролиза на катоде образуется атомарный водород, быстро превращающийся в молекулярный. Аналогично, на аноде образуется атомарный кислород, быстро соединяющийся в молекулы. Водород и кислород в отсутствии других соединений являются соответственно восстановителем и окислителем. Согласно уравнению Нернста, потенциал системы определяется соотношением концентраций восстановителя и окислителя. Потенциал, создаваемый водородом и кислородом, определяются равновесиями [5]:



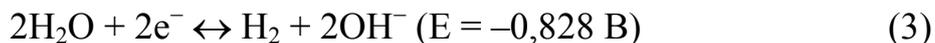
Потенциалы получены в нормальных условиях при давлении газов 1 атм, концентрации ионов 1 моль/л, т.е. равновесие (1) получено при рН = 0, а равновесие (2) при рН = 14.

Равновесие (1) в общем случае является электродным, этот процесс протекает на поверхности платины, используемой для измерения ОВП, так как платина является катализатором превращения $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$.

Известно, что сам по себе молекулярный водород является малоактивным веществом. В газообразном состоянии он может длительное время храниться в замкнутом объёме без заметных изменений. При комнатной температуре водород инертен. Гремучая смесь водорода с кислородом может некоторое время находиться без изменений, пока не будет толчка к началу цепной реакции. Водород становится активным только при более высоких температурах, когда связь между атомами ослабевает. Если смешать водород с кислородом и оставить их в стеклянном сосуде при комнатной температуре, то даже через несколько лет в нём нельзя будет обнаружить следов воды. Через несколько дней образуется немного воды, если температура сосуда будет 300 °С, и только при 500 °С водород полностью соединится с кислородом за несколько часов. Реакцию можно ускорить введением катализатора (порошок платины).

В растворе молекулярный водород нейтрален, если в молекулярной форме он не может непосредственно вступать в реакцию с веществами, растворёнными в воде. С этой точки зрения потенциал, измеряемый платиновым электродом, может не иметь прямого отношения к окислительно–восстановительным процессам, протекающим в конкретном растворе.

С участием молекулярного водорода в растворе может осуществляться другое равновесие (при $pH = 14$):



Это равновесие не предполагает разложение молекулярного водорода на атомы, поэтому оно может влиять на процессы в растворе, а не только на потенциал платинового электрода. Следует отметить, что если мы формально пересчитаем потенциал для равновесия (1) на случай, когда $pH = 14$, то получим практически то же значение E , что и для равновесия (3).

Водород быстро диффундирует в растворе, и если в газовой фазе над поверхностью воды его нет, водород должен мгновенно выделиться из раствора. Поэтому возможность активации воды молекулярным водородом отвергалась.

Когда в растворе одновременно присутствуют водород и кислород, результирующий потенциал будет определяться отношением их концентраций и величиной pH .

Интерес к активации водорода возник в связи с тем, что были обнаружены необычные свойства «живой» и «мёртвой» воды, католита и анолита, образующейся при электролизе [4]. Активные свойства воды сохранялись часами, а в закрытой посуде – и более. Величина окислительно–восстановительного потенциала воды (ОВП), достигаемая в католите при электролизе, оказалась ниже той величины, которую можно ожидать исходя из образования на катоде водорода (восстановителя) [2 – 4]. Причины активации усматривались в образовании при электролизе радикалов различной природы, несмотря на то, что эти радикалы имеют очень малое время жизни (не более секунды). В работе [6] рассматривалась активация воды при введении в неё молекулярного водорода. Обнаружено достижение низких значений ОВП, близких к значениям, достижимым при электролизе, однако на установление потенциала требовалось время (сутки и более). В работе [7] исследовались причины медленного установления потенциала в воде, насыщенной водородом и анализировался механизм активации водорода, растворённого в воде.

Изменение ОВП в католите при электролизе ΔOVP можно представить в виде суммы трёх слагаемых:

$$\Delta OVP = \Delta E(H_2) + \Delta E(pH) + \Delta E(X),$$

где $\Delta E(H_2)$ – изменение ОВП вследствие образования на катоде водорода и его растворения в воде. Растворение водорода не влияет на величину pH [1];

$\Delta E(\text{pH})$ – изменение ОВП вследствие изменения pH раствора. Изменение происходит на ~ 59 мВ при $\Delta \text{pH} = 1$. При увеличении pH ОВП уменьшается;

$\Delta E(\text{X})$ – изменение ОВП из-за образования на катоде при электролизе новых химических соединений. Величина и знак $\Delta E(\text{X})$ зависит от вида конкретного соединения, синтезирующегося при электролизе.

В данной главе проводится обзор результатов по установлению потенциала в воде, насыщенной водородом, полученных авторами работы к настоящему времени, и обсуждаются возможные технологии, основанные на использовании наблюдаемых явлений. Рассматривается вопрос о причинах удержания низкого потенциала в течение длительного времени после открывания сосуда.

Получение воды с отрицательным ОВП

Методика эксперимента

Особенности измерения величины ОВП в области отрицательных значений

При измерении ОВП в области отрицательных значений существует проблема, связанная с отсутствием надежно установленных и признанных электрохимиками эталонов. Любой раствор, приготовленный на воздухе, быстро поглощает кислород воздуха. Поглощение кислорода ведет к быстрому и неконтролируемому увеличению ОВП в сторону положительных значений. Эталоны ОВП существуют для положительных значений, где поглощение кислорода из воздуха не играет существенной роли.

Удобные в работе портативные коммерческие приборы (карандаши) изготовлены на основе электродов, секреты производства которых не раскрываются. Калибровка таких приборов по стандартным растворам красной и желтой кровяной соли в области положительных ОВП не дает никакой гарантии на правильность показаний при отрицательных ОВП. Использование платиновых электродов и стандартных электродов сравнения (например, хлор-серебряных), на первый взгляд гарантирует правильный результат.

Однако здесь большое значение имеет чистота платинового электрода. Измеряемой величиной является разность потенциалов между двумя электродами. Входное сопротивление измерительной цепи велико, но не бесконечно, оно составляет обычно $10^{10} - 10^{12}$ Ом. При ЭДС = 0,1 В ток измерительной цепи составит $\sim 10^{-13}$ А или 10^{-13} кулон в секунду. Напомним, что заряд электрона равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ кулон. Т.е. в цепи при $R = 10^{12}$ Ом протекает в секунду $\sim 10^6$ электронов. Пусть наша «батарейка», один из электродов которой состоит из примесей, осевших на платине, может давать ток примерно 1 час. За это время в цепи пройдет около 10^{10} электронов. Отсюда следует, что количество примесей было не менее $10^{10} / 6,03 \cdot 10^{23} \approx 10^{-13}$ моль. Т.е. маленькая примесь способна в течение

длительного времени влиять на показания прибора, измеряющего потенциал. Притом, чем более совершенен прибор, чем больше его входное сопротивление, тем меньшее количество примесей может влиять на результаты измерений. Поэтому, если нам предстоит измерять отрицательные значения потенциала, то калибровка прибора по стандартному раствору красной и жёлтой кровяной соли никак не характеризует состояние электродов и правильность измерений.

В ходе экспериментов нами принимались меры по поддержанию чистоты платинового электрода. В конце каждого рабочего дня платиновый электрод помещали в разбавленный раствор ОСЧ соляной кислоты (1:5), использовалась дважды дистиллированная вода. Утром перед измерениями электрод промывали дважды дистиллированной водой. Тем не менее, нельзя доказать, что такая процедура гарантированно обеспечивала чистоту электрода, так как отсутствует принятый репер для отрицательных значений ОВП. Например, эталонный раствор для положительного ОВП давал одни и те же показания даже в том случае, если измеряемый потенциал оказывался порядка +100 мВ вместо –200 мВ, получаемых после промывания электрода соляной кислотой и водой.

Процедура получения воды, насыщенной водородом, и измерения ОВП

Водород получался в электролитической ячейке с никелевыми электродами. Электролит – 30% водный раствор КОН. Ток электролизера 5 А. Производительность по молекулярному водороду 2,1 л/ч. Сначала бутылка заполнялась исследуемым водным раствором доверху. Горлышко бутылки закрывали пробкой. Затем бутылку вверх дном опускали в ванну с водой 3 (см. рис. 19). Под водой пробку открывали, и через трубку в бутылку вводился водород из электролитической ячейки. Какая-либо очистка водорода не проводилась. Растворимость водорода составляет 1,78 мл в 100 мл воды при 20 °С. В объеме 0,5 л растворится 8,9 мл водорода, поэтому для получения воды, насыщенной водородом, в пол-литровую бутылку следует вводить не менее 9 мл водорода. Бутылку заправляли таким образом, чтобы над поверхностью воды оставался пузырёк газа не менее 10 мл. После введения требуемого количества водорода бутылку снова под водой закрывали пробкой. Заполненную водородом бутылку извлекали из ванны, держали вверх дном либо на боку, но ни в коем случае не переворачивали вверх горлышком.

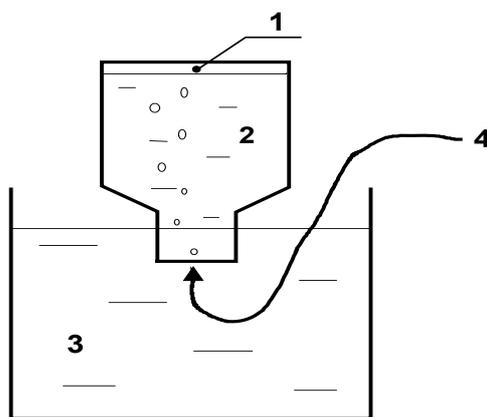


Рисунок 19. Заполнение бутылки с водой водородом. 1 – заполненная водородом полость; 2 – бутылка с водным раствором; 3 – ванна с водой; 4 – подача водорода.

После выдержки в таком положении в течение заданного времени пробку открывали, в специальный сосуд для измерения ОВП заливали примерно 250 мл испытуемой жидкости. Окислительно-восстановительный потенциал измеряли хлор-серебряным и платиновым электродами. В процессе измерений, при погружении электродов в исследуемый раствор, показания измерительного прибора сначала уменьшались, достигали минимума, потом увеличивались. Время достижения минимального отсчета составляло для разных растворов от 1 до 30 минут. Увеличение отсчёта потенциала происходило намного медленнее, чем его уменьшение. Учитывалось, что собственный потенциал хлор-серебряного электрода относительно нормального водородного элемента (н.в.э.) согласно данным завода-изготовителя составлял + 201 мВ для 3М раствора KCl при 20°C. За величину потенциала принимался минимальный отсчет милливольтметра. Отсюда на основе соотношения $ОВП = E \text{ (мВ)} + 201 \text{ мВ}$, где E – потенциал, непосредственно измеренный прибором, получали значение ОВП (потенциал относительно н.в.э.). Концентрация кислорода, растворённого в воде, определялась электродом Кларка. Все измерения проводились прибором Эксперт-001 фирмы «Эконикс». Использовались стандартные хлор-серебряный и платиновый электроды.

Для экспериментов по установлению потенциала использовали бутылки разного типа: а) пластиковые из-под питьевой воды объемом 0,5 л; б) стеклянные бутылки емкостью 0,5 л с закручивающимися металлическим пробками, имеющими тонкий пластиковый уплотнитель; в) стеклянные бутылки емкостью 1 л с полиэтиленовыми пробками; г) бутылки из фторопласта емкостью 1л. Во всех экспериментах использовалась вода, очищенная холодной плазмой на установке БЭР-49-М серии «Пилимин» [8]. Обработанная на этой установке вода очищалась от хлора, ионов тяжелых металлов, органики. Органические примеси разлагались до углекислого газа и воды. Исходное значение ОВП через сутки после очистки (к началу заправки проб жидкости водородом) составляло + (150 ÷ 250) мВ, pH = 7,3 ÷ 7,4. Перманганатная окисляемость воды составляла не более 1 мг О/л. Вода при обработке дезинфицировалась. Разливаемая в посуду вода содержала

примерно 0,3 мг/л озона, что обеспечивало дезинфекцию посуды и находящихся в ней химических реактивов. В контрольных опытах использовалась дважды дистиллированная вода.

Сначала в бутылки вводилось вещество, раствор которого предполагалось исследовать. Затем бутылки доверху заливались водой непосредственно с выхода установки БЭР-49-М. Заправка водородом производилась на следующие сутки после наполнения бутылки водой для того, чтобы озон, содержащийся в очищенной воде, успевал полностью распасться. После заправки водородом в бутылках оставался газовый пузырь, заполненный водородом.

Результаты экспериментов

Свойства воды, насыщенной водородом, и хранящейся в закрытых сосудах

Зависимость ОВП от времени выдержки бутылки с момента заполнения водородом до откупоривания для пластиковых и стеклянных бутылей представлена на рисунках 20, 21. Сначала бутылки заполняли водопроводной водой, очищенной на установке БЭР-49-М без каких-либо добавок. Через сутки после разлива воды в бутылки вводили водород. Количество водорода составляло 40 – 50 мл и контролировалось по величине газового пузырька над поверхностью воды, который занимал не менее 40 см³. Минимальное время выдержки бутылки с водородом составляло 2 минуты. За это время успевало установиться значение ОВП на уровне – (200 ÷ 250) мВ. В течение часа ОВП уменьшалось примерно до – 400 мВ. Это значение практически не менялось в течение 4 ÷ 5 часов. Затем через 12 ÷ 15 часов после введения водорода ОВП достигало значения около – 600 мВ. Характер изменения ОВП от исходного до – 600 мВ в первые 15 суток примерно одинаков для пластиковых и стеклянных бутылей. При хранении более 15 дней между пластиковыми и стеклянными бутылками проявляются отчетливые различия. В стеклянных бутылках ОВП сохранялся на уровне минус 600 мВ за ~ 3 месяца наблюдения (см. рис. 21). При хранении от 3 до 6 месяцев в отдельных пробах наблюдалось повышение ОВП, связанное с утечкой водорода через некачественную пробку. В пластиковой бутылке через 15 дней ОВП начинает возрастать, наблюдается сильный разброс экспериментальных точек, и через месяц ОВП достигает значения 0 ÷ 50 мВ. Пузырь газа в стеклянной бутылке с металлической пробкой за все время наблюдений остается неизменным. В пластиковой бутылке пузырь газа (водорода) постепенно уменьшается, бутылка сжимается. Изменение формы бутылки показано на рисунке 22. Когда пузырь водорода в пластиковой бутылке практически исчезает, ОВП возрастает примерно до нуля. Аналогично меняется ОВП во фторопластовой бутылке. Там пузырек водорода тоже постепенно уменьшается, бутылка сдавливается. В стеклянных бутылках объемом 1 л, закрытых полиэтиленовой пробкой, при хранении с водородом более 2 недель наблюдается сильный разброс ОВП, почти от 0 до минус (400 ÷ 500) мВ, что свидетельствует о возможной утечке водорода через полиэтиленовую пробку.

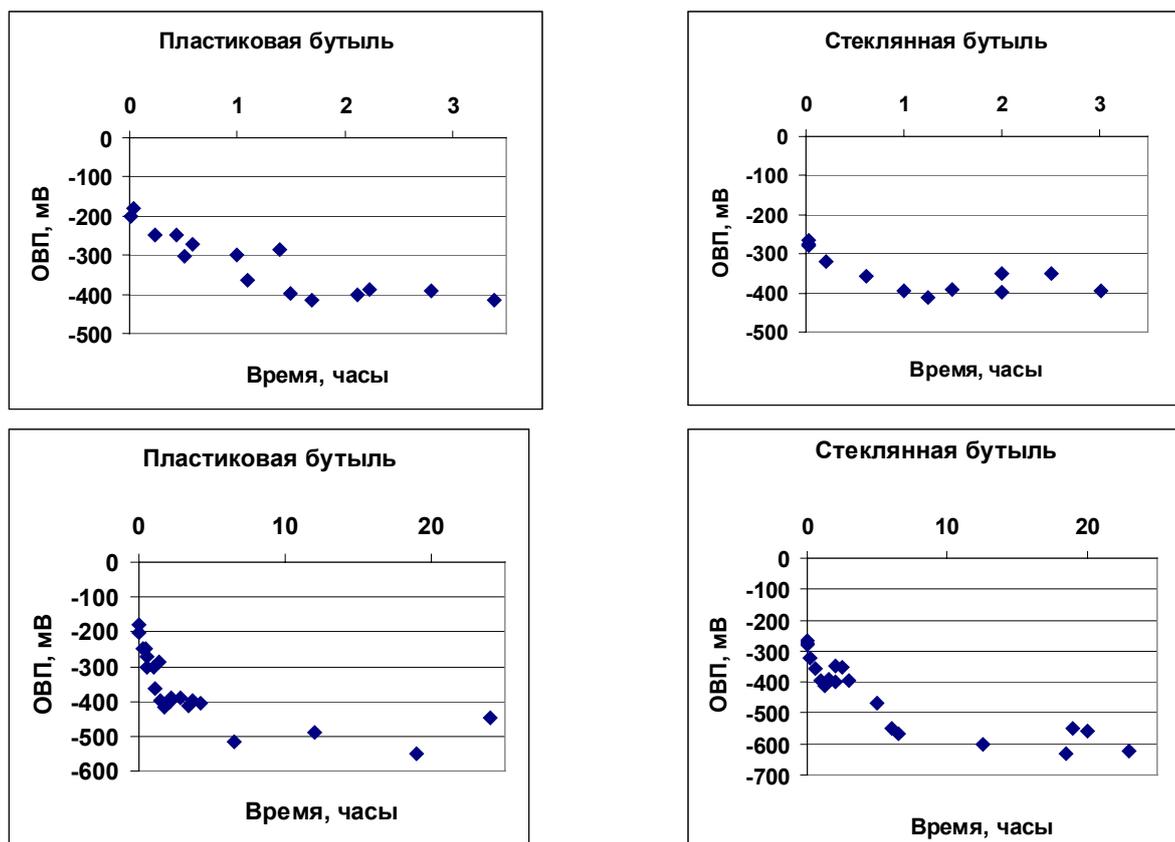


Рисунок 20. Установление ОВП в первые часы после введения водорода. Жидкость – вода, очищенная установкой БЭР–49–М. Количество вводимого водорода $40 \div 50$ мл. Слева – пластиковая бутылка, справа – стеклянная. Объем бутылки 0,5 л. Слева – пластиковые бутылки, справа – стеклянные бутылки с закручивающимися металлическими пробками. Первая точка на всех графиках получена при времени выдержки бутылки с водородом 2 минуты.

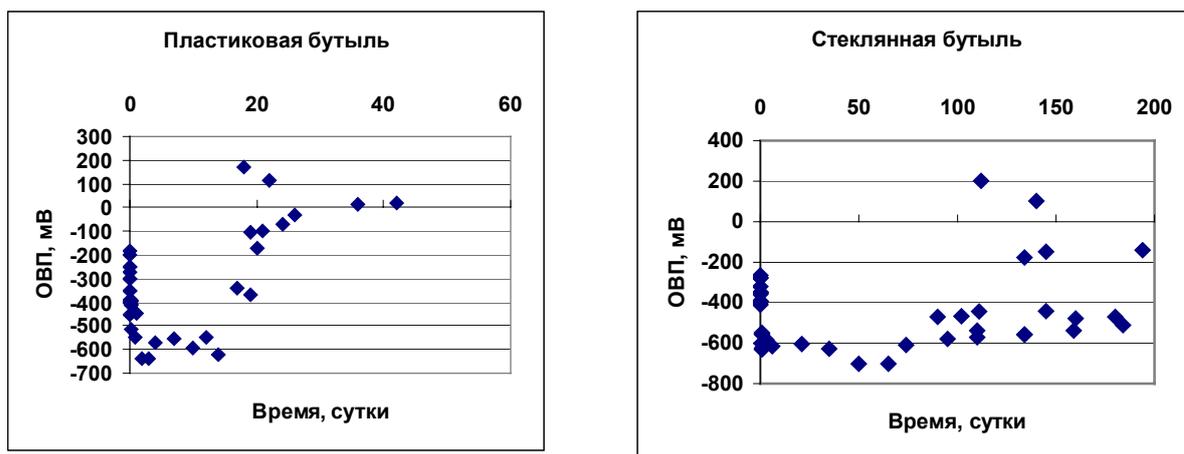


Рисунок 21. Сохранение величины ОВП в закрытой бутылки за длительное время после заправки водородом. Жидкость – вода, очищенная установкой БЭР–49–М. Слева – пластиковые бутылки, справа – стеклянные бутылки с закручивающимися металлическими пробками. Объем бутылей 0,5 л. Первая точка получена через 2 минуты после введения водорода. Газовый пузырёк в стеклянной бутылки остаётся всё время наблюдения 40 – 50 мл, а в пластиковой бутылки через неделю пузырёк начинает уменьшаться.

Значение рН воды при выдержке с водородом не меняется и остается равным $7,3 \div 7,4$ как в исходной воде до заполнения бутылей водородом. Также при насыщении водородом никак не менялась электропроводность всех исследованных растворов.

Обнаруженное увеличение ОВП в пластиковых бутылках через 15 дней после заправки водородом можно объяснить утечкой водорода. Водород легко диффундирует через пластмассу. Азот и кислород, содержащиеся в атмосферном воздухе, диффундируют обратно намного медленнее, поэтому после утечки водорода бутылка оказывается сдавленной (см. рис. 22). В стеклянных бутылках, закрытых металлическими пробками с тонкими пластмассовыми уплотнениями, уменьшение газового пузыря за ~ 3 месяца хранения не наблюдалось. Пузырь водорода во фторопластовой бутылки также постепенно уменьшался, и бутылка сдавливалась. В стеклянных бутылках, закрытых полиэтиленовой пробкой, изменения размера пузыря газа не наблюдалось, однако через пробку могла быть утечка водорода. Давление в стеклянной недеформируемой бутылки при этом сильно падает, и возможен подсос атмосферного воздуха. Из-за этого значение ОВП могло сильно меняться.



Рисунок 22. Бутылки объемом 1,5 л после хранения в течение 20 дней.

1 – бутылка была заправлена водородом;

2 – бутылка заправлена воздухом.

Изменение ОВП в открытых сосудах

Кинетика установления ОВП в открытом сосуде объемом 1 л при пробулькивании водорода через поверхностный слой толщиной $3 \div 4$ мм, представлена на рисунке 23а. Скорость подачи водорода составляла 1 л/ч. Из рисунка видно, что через час после начала продува ОВП достигает значения минус 150 мВ, через $2,5 \div 3$ часа примерно минус 300 мВ. Через сутки продува устанавливается $ОВП = -450$ мВ.

Кинетика возрастания ОВП при хранении насыщенной водородом воды в открытом сосуде объемом 250 мл представлена на рис. 23б. Начальное значение ОВП минус 520 мВ. За 6 часов ОВП возрастает до минус 380 мВ. Далее в течение трех суток ОВП возрастает до минус 100 мВ.

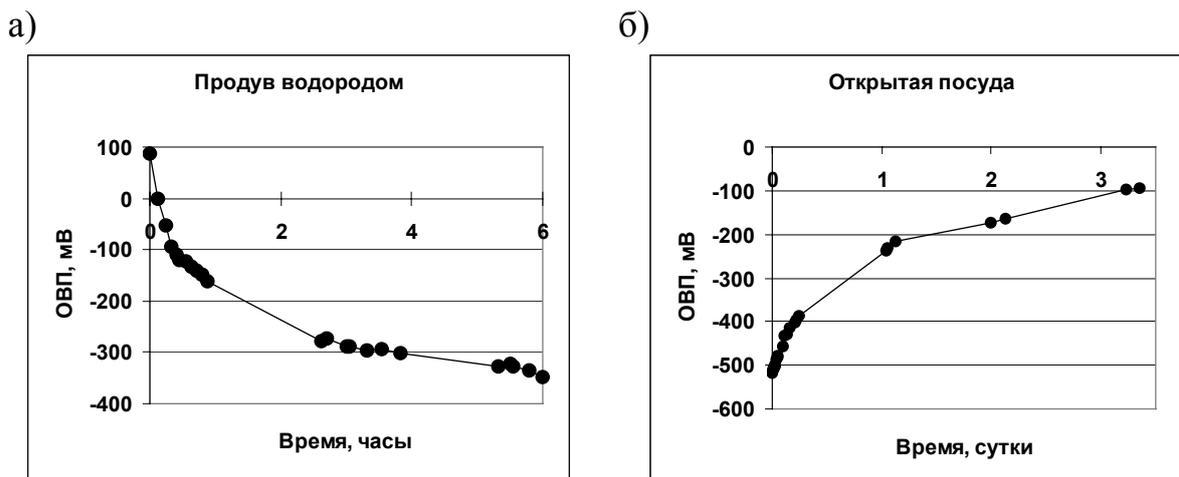


Рисунок 23. Изменения ОВП в открытой посуде.

- а) Уменьшение ОВП при продуве водородом через верхний слой воды, полный объем воды 1 л. Скорость продува водородом 1 л/ч. Через 24 часа ОВП становится равным минус 450 мВ.
- б) Увеличение ОВП, насыщенной водородом, при хранении в открытой посуде объемом жидкости 250 мл.

Зависимость ОВП от объема водорода в бутылки

Зависимость ОВП воды, очищенной на установке БЭР-49-М, от объема водорода, вводимого в стеклянную бутылку 0,5 л, через сутки после введения водорода представлена на рис. 24а. Объем водорода от 9 до 63 мл. Из рисунка видно, что с увеличением объема водорода ОВП уменьшается от минус 400 до минус 600 мВ. При введении 120 мл водорода через сутки ОВП достигало минус 790 мВ. После измерения ОВП жидкость выливали обратно в бутылку, пробка закрывалась. Закрытая бутылка лежала на боку сутки, после чего процедуру измерения ОВП повторяли. Зависимость ОВП воды, первоначально насыщенной разными объемами водорода, от времени хранения после первого откупоривания бутылки представлена на рис. 24б. Из этого рисунка видно, что значения ОВП при хранении воды в откупоренных после заправки водородом бутылках увеличивались, через трое суток они составляли от минус 50 до минус 150 мВ, через 5 суток 30 ÷ 50 мВ.

Зависимость ОВП от состава водного раствора и концентрации соли

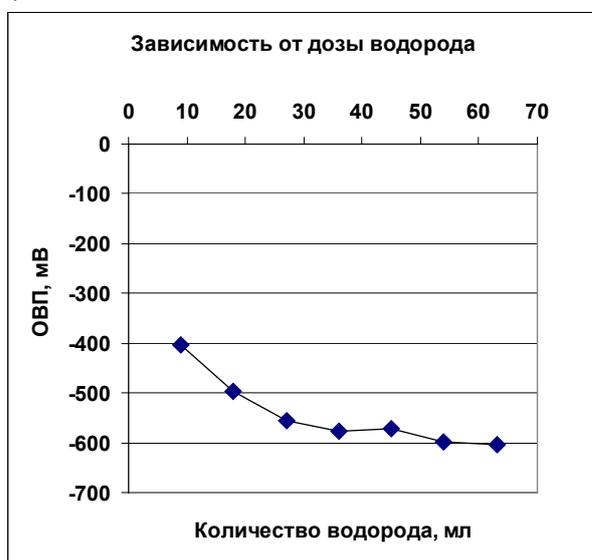
В опыте, аналогичном описанному выше, исследовалась зависимость ОВП водного раствора от концентрации соли. В качестве соли использовался серноокислый аммоний. Выбор соли обусловлен тем, что ни анион, ни катион не могут изменяться при взаимодействии с водородом. Объем вводимого водорода составлял 40 ÷ 50 мл, концентрация соли от 1 до 64 г/л. Образцы растворов готовили следующим способом. В стеклянные бутылки вместимостью 0,5 л засыпали навеску серноокислого аммония. Затем бутылки заправляли водой, очищенной на установке БЭР-49-М. На следующие сутки

после заливки воды вводился водород. Через сутки после введения водорода бутылки открывали и производили первое измерение ОВП.

Полученная зависимость ОВП от концентрации серноокислого аммония представлена на рис. 25а. Сравнивая с ОВП чистой воды, измеренной в аналогичных условиях (минус 580 мВ, см. рис. 21) видим, что при концентрации соли 1 г/л значение ОВП (минус 570 мВ) примерно такое же, как в чистой воде. При увеличении концентрации соли до 2 г/л и более ОВП увеличивается до минус 500 мВ и практически не зависит от концентрации серноокислого аммония. Также, как в случае с водородом без добавок соли, после измерения ОВП раствор заливали обратно в бутылку, закрывали пробку. Закрытая бутылка лежала на боку сутки, после чего процедуру измерения ОВП повторяли (рис. 25б). Также, как в чистой воде с водородом, наблюдалось увеличение ОВП практически до нуля за четыре дня.

Зависимость ОВП при откупоривании бутылей через сутки после введения водорода от вида жидкости представлена на рис. 26. Цифрами обозначены: 1 – дистиллированная вода; 2 – вода, очищенная на установке БЭР-49-М, без каких-либо добавок; 3 – раствор NaCl; 4 – раствор NH₄SO₄; 5 – раствор Na₂CO₃; 6 – раствор KCl; 7 – раствор KI; 8 – раствор резорцина. Использовались химически чистые реактивы, концентрация всех добавок была 1 г/л. Из рисунка 26 видно, что при открывании бутылки через сутки после введения водорода ОВП практически не зависит от вида жидкости и составляет минус (600 ÷ 670) мВ.

а)



б)

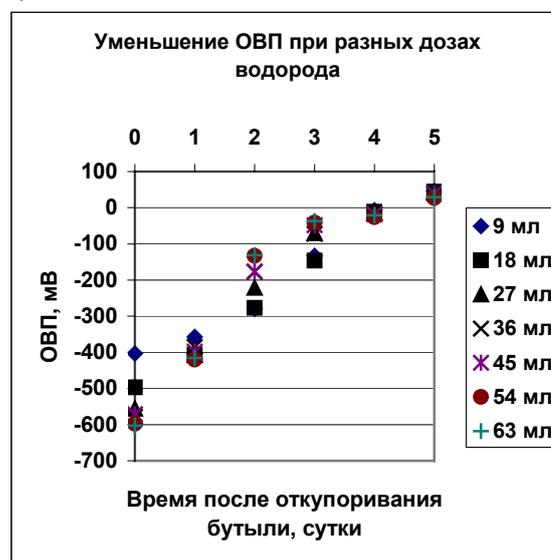


Рисунок 24.

- а) Зависимость ОВП от количества водорода, вводимого в стеклянную бутылку объемом 0,5 л, при откупоривании бутылки через сутки после введения водорода.
- б) Изменения ОВП воды, насыщенной разными объемами водорода (от 9 до 63 мл), при хранении после откупоривания бутылки. Бутылки были заправлены водородом за сутки до начала измерений. Бутылки открывали при измерении ОВП, затем их снова закрывали.

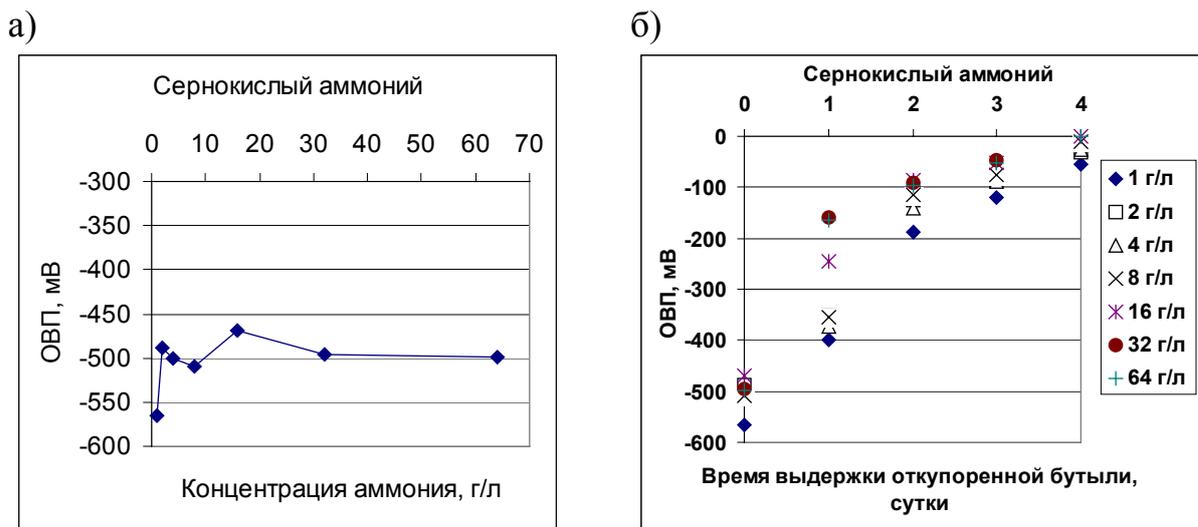


Рисунок 25.

- а) Зависимость ОВП от концентрации сернокислого аммония через сутки после заправки бутылей водородом и сразу после откупоривания бутыли.
- б) Зависимость ОВП водного раствора сернокислого аммония от времени после откупоривания бутыли (сутки) при концентрациях сернокислого аммония от 1 до 64 г/л. Бутыли открывали при измерении ОВП, затем их снова закрывали.

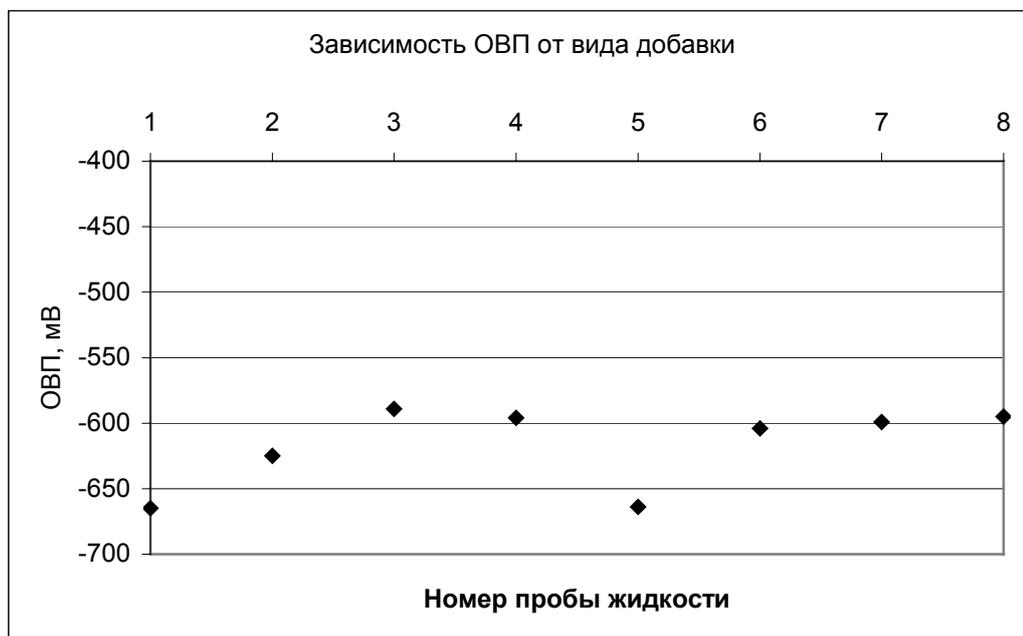


Рисунок 26. Зависимость ОВП через сутки после введения водорода от вида жидкости. Концентрация всех добавок 1 г/л. 1 – дистиллированная вода, 2 – вода, очищенная на установке БЭР-49-М, 3 – NaCl; 4 – NH₄SO₄, 5 – Na₂CO₃, 6 – KCl, 7 – KI, 8 – резорцин.

Зависимость ОВП от времени хранения после первого открывания бутыли для тех же жидкостей, что и на рис. 26, представлена на рис. 27. Для всех жидкостей, кроме раствора углекислого натрия, ОВП увеличивается до значений 0 ÷ минус 50 мВ. В растворе углекислого натрия ОВП

увеличивается до величины примерно минус 200 мВ, равной значению ОВП в исходном растворе при концентрации 1 г/л.

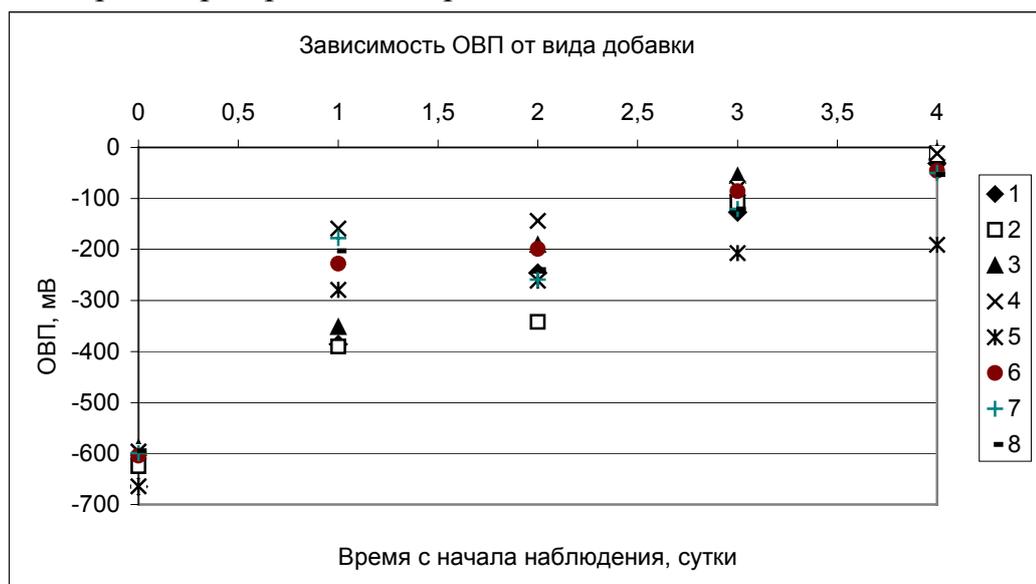


Рисунок 27. Зависимость ОВП при разном времени после откупоривания бутылей и начала наблюдения от вида добавки. Время наблюдения: 0 – начало измерений, 1 – первый день, 2 – второй день, 3 – третий день, 4 – четвертый день.

Вид добавки (концентрация всех добавок 1 г/л): 1 – дистиллированная вода, 2 – вода, очищенная на установке БЭР-49-М, 3 – NaCl; 4 – NH₄SO₄, 5 – Na₂CO₃, 6 – KCl, 7 – KI, 8 – резорцин.

Наблюдение восстановительных реакций в воде, насыщенной водородом

Восстановление молекулярного иода

В пластиковую бутылку объемом 1 л налили 10 мл раствора KI концентрацией 0,1М. Затем бутылку заполнили доверху водой непосредственно с выхода установки БЭР-49-М. Так как эта вода содержит озон (0,3 мг/л), то раствор сразу пожелтел. После этого в бутылку ввели 50 мл водорода. Бутылку положили на бок. Сразу никаких изменений не наблюдалось, однако на следующий день раствор стал бесцветным. Бутылку была открыта, значение ОВП = – 606 мВ.

Восстановление иода описывается реакцией:



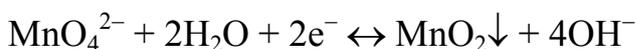
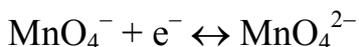
Стандартный потенциал этой реакции $E = + 536$ мВ, поэтому восстановление возможно при ОВП < –536 мВ. В первые часы после введения водорода, как было показано выше, ОВП на уровне минус 300 ÷ 400 мВ, значение потенциала до минус 600 мВ устанавливается примерно через сутки. Поэтому сразу после введения водорода, когда потенциал уменьшился ещё недостаточно, изменений цвета раствора не видно, а через сутки, когда потенциал достигает примерно минус 600 мВ, молекулярный иод восстанавливается и раствор становится бесцветным.

Восстановление марганца в растворе перманганата калия

ОВП раствора перманганата калия концентрацией 1 г/л не менялся при введении водорода и составлял плюс 330 мВ и никаких изменений в растворе при введении водорода не происходило. Исходный раствор имел ОВП = + 330 мВ, после заполнения водородом и выдержки в течение нескольких суток значение ОВП оставалось прежним, цвет раствора не менялся.

Когда взяли бледный раствор марганцовки (концентрация не более 0,01 г/л), ситуация изменилась. При введении в бутылку объемом 0,5 л с розовым раствором марганцовки примерно 150 мл водорода (при этом, как было установлено ранее, через сутки ОВП падало до минус 790 мВ) раствор начал менять цвет. Через сутки раствор стал прозрачным, а на дне бутылки образовался осадок диоксида марганца.

Процесс может идти в две стадии



Стандартный потенциал первой реакции составляет +540 мВ, второй + 580 мВ. Значение ОВП раствора после выпадения осадка составило минус 530 мВ. Таким образом, когда количество введенного водорода было недостаточным для восстановления всего вещества, находящегося в бутылке, ОВП не менялся. Когда водорода хватило с избытком, выпал осадок продуктов восстановления, и значение ОВП осталось отрицательным.

Окисление металлического железа

Наблюдалось влияние водорода на окисление пластинок металлического железа в воде. В бутылки объемом 0,7 л помещали одинаковые железные пластинки размерами 10 x 30 мм толщиной 1 мм и заполняли их очищенной, отстоявшейся одни сутки водой. В одной бутылке оставляли воздушный пузырек примерно 50 мл. Вторую бутылку заполняли полностью и вводили 50 мл водорода. Обе бутылки лежали на боку. Бутылки лежали примерно три месяца. Раз в месяц газовая среда обновлялась, бутылку открывали и снова запускали туда воздух или водород. Следует подчеркнуть, что первоначально налитая в обе бутылки вода содержала кислород. На рисунке 28 приведены фотографии бутылей через три месяца. Разница в цвете осадка, образующегося в бутылках, была видна всегда. В бутылке, заправленной водородом, после первого месяца эксперимента тоже наблюдался красноватый осадок, но его было намного меньше, чем в бутылке с воздухом. После введения свежей порции водорода через месяц хранения осадок стал черным. После введения водорода на третий месяц цвет оставался черным и не менялся. Черный осадок лежал на дне, сама вода выглядела совершенно прозрачной. В бутылке с воздухом красный осадок постепенно увеличивался.

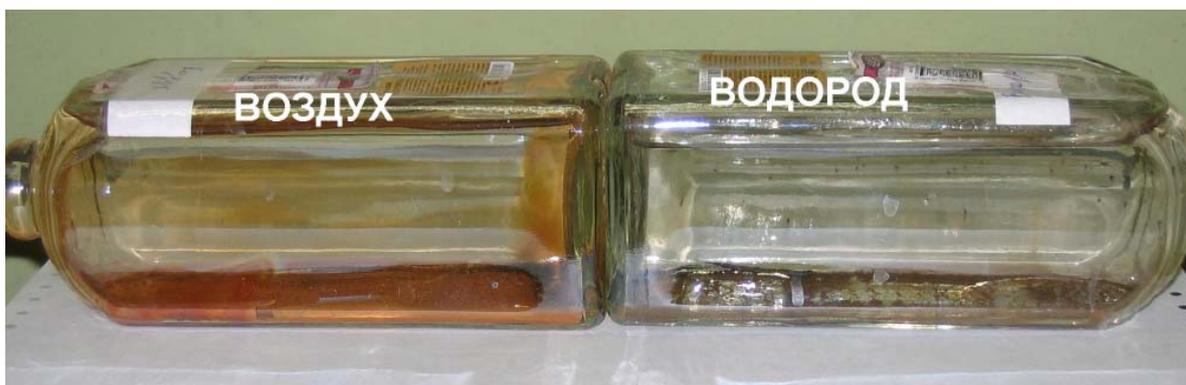


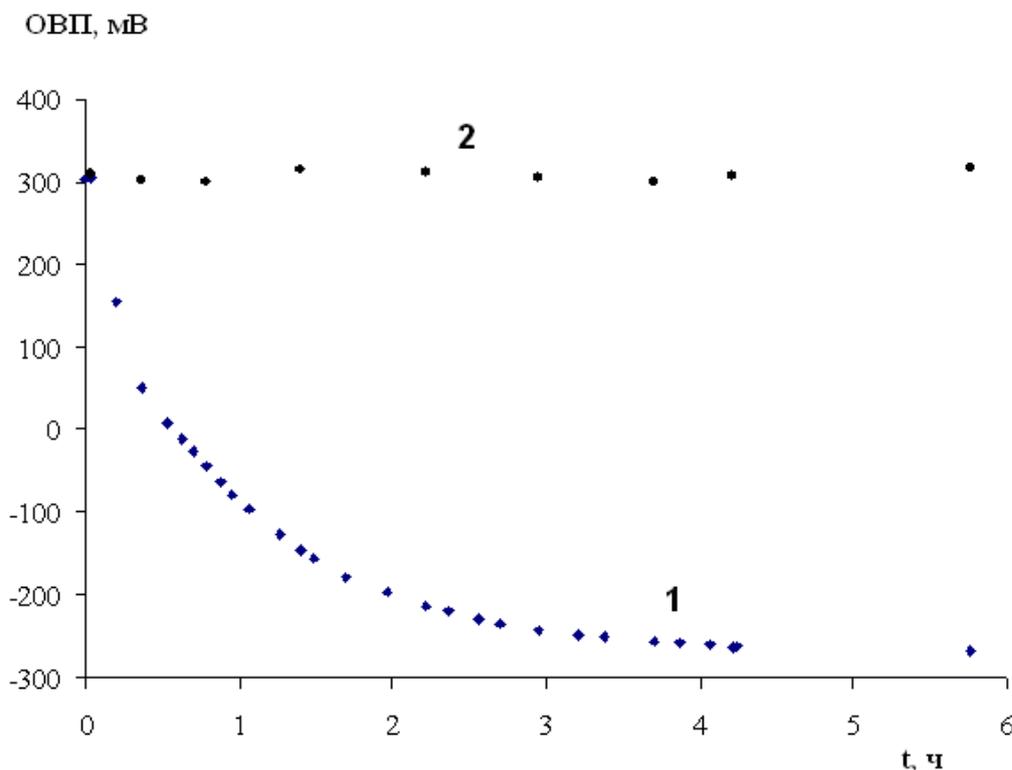
Рисунок 28. Наблюдение окисления металлического железа в воде. Слева – в газовой фазе воздух. Справа – в воду, первоначально содержащую растворенный кислород воздуха, вводился водород. Видно, что продукты окисления разные.

Отсюда видно, что продукты, образующиеся в среде водорода и без него, различаются. Это указывает на химическую активность молекулярного водорода в условиях эксперимента.

Оценка возможности бесконтактной активации воды

В работах, выполненных первооткрывателями активированной воды [4, 9], исследовались изменения ОВП воды, находящейся в стакане, погруженном в католит. Наблюдалось уменьшение ОВП воды, налитой в полиэтиленовый мешок или в тонкостенный пластиковый стакан. Изменения ОВП воды, налитой в стеклянный стакан, не зарегистрированы. Обнаруженное изменение ОВП было названо бесконтактной активацией. Термин «бесконтактная» был использован в связи с тем, что жидкости не могли обмениваться молекулами. Проведенные нами исследования показывают, что результаты этих работ можно объяснить диффузией водорода через тонкую пластмассовую перегородку. Диффузия водорода через стекло намного менее вероятна, поэтому изменения ОВП воды в стеклянном стакане, погруженном в жидкость с меньшим ОВП, не наблюдалось.

Нами исследована возможность изменения ОВП в случае, когда ОВП определяется не водородом, а другим восстановителем. Для этого в стакан из полиэтилена с толщиной стенок 0,3 мм объёмом 150 мл помещали в банку объёмом 330 мл, заполненную специально подготовленной водой.



Ри

Рисунок 29. Зависимость ОВП воды в ПЭ стакане, помещённом в банку с водой. 1 – вода насыщена водородом. Для воды в банке ОВП = –560 мВ. 2 – раствор Na_2SO_3 , ОВП = –490 мВ.

Исходное значение ОВП воды в ПЭ стакане 300 мВ. При погружении в банку с водой, насыщенной водородом, ОВП начал уменьшаться, и примерно через 5 часов достиг стационарного значения – 280 мВ (рис. 29, кривая 1). При этом ОВП в банке, куда погрузили стакан, возрос незначительно, от –560 до –530 мВ. Результат можно объяснить диффузией водорода из банки в пластиковый стакан через стенки, и установлением равновесия между диффундирующим в стакан и улетучивающимся через открытую поверхность водородом.

Отрицательный ОВП в жидкости можно получить, используя реактивы, не содержащие водород. В качестве таких реактивов нами были выбраны: раствор Na_2SO_3 концентрацией 250 г/л и раствор NaOH с $\text{pH} = 14$. В растворе Na_2SO_3 удалось получить ОВП = –490 мВ, а в растворе NaOH ОВП = –400 мВ. При погружении полиэтиленового стакана в эти жидкости никакого изменения ОВП за время до 7 часов не обнаружено. В качестве примера на рис. 29 приведена кривая 2 (раствор Na_2SO_3). Это подтверждает, что основным фактором, определяющим ОВП воды, является химический состав. Когда водород или другой восстановитель из одного раствора в другой не передаётся, никакая бесконтактная активация не происходит.

Зависимость ОВП от места проведения анализа

В этом эксперименте сравнивались пробы одной и той же воды в Москве и в Нижнем Тагиле. В первой серии экспериментов пробы воды из разных источников Нижнего Тагила доставляли в Москву и измеряли ОВП. Пробы той же воды анализировались на месте (в Нижнем Тагиле). Оказалось, что в Нижнем Тагиле ОВП всех проб на $150 \div 200$ мВ меньше, чем в Москве. Аналогичным образом, пробы воды из Москвы доставлялись в Нижний Тагил и анализировались. И в этом случае ОВП московской воды, измеренный в Нижнем Тагиле, оказался на $100 \div 200$ мВ меньше, чем в Москве.

Во второй серии экспериментов ОВП воды измеряли одним и тем же прибором с теми же электродами (платиновым и хлор-серебряным). Оказалось, что ОВП московской воды, измеренный тем же прибором в Нижнем Тагиле, на $100 \div 200$ мВ меньше, чем в Москве. ОВП проб нижнетагильской воды, измеренный на месте московским прибором, совпадал с показаниями нижнетагильского прибора.

В числе причин обнаруженного эффекта можно указать наличие в уральском воздухе молекулярного водорода. Известно, что в районах разломов земной коры из недр в атмосферу выделяется водород, и его концентрация в воздухе этих районов выше, чем в других районах, где разломов коры нет. Таким образом, и в этом случае понижение ОВП воды может быть объяснено наличием в атмосфере газов, обладающих восстановительными свойствами.

Проведенные эксперименты позволяют предположить, что для исследованных процессов основную роль в понижении ОВП жидкости играет газ, обладающий восстановительными свойствами, в первую очередь, водород. Другие явления могут играть роль, но их вклад в понижение ОВП намного меньше.

Оценка механизма активации водорода

Постановка задачи

Для этого исследовалась связь между содержанием кислорода и его активных форм на величину ОВП после введения водорода и влияние ионизирующего излучения радиоактивных источников.

Эксперимент проводился ранней весной, когда температура водопроводной воды составляла $4 \div 5$ °С. Вода насыщалась кислородом до предела растворимости при данной температуре, концентрация кислорода в воде составляла ~ 13 мг/л. Воду наливали в бутылки так, чтобы практически не оставался воздушный пузырёк, и закрывали. В закрытой посуде концентрация кислорода сохранялась длительное время после того, как температура воды повышалась до комнатной.

Содержание активных частиц (окислителей) в воде определялось с помощью раствора КJ по стандартной методике. Концентрация окислителей сразу после обработки холодной плазмой в пересчёте на озон составляла $0,3 \pm 0,02$ мг O_3 /л. После выдержки в закрытом сосуде в течение суток концентрация активных частиц уменьшалась до $0,05 \pm 0,02$ мг O_3 /л. Активные частицы практически полностью пропадали (до уровня меньше предела обнаружимости) после выдержки в закрытой посуде не менее недели.

Для экспериментов использовалась вода четырёх видов:

1) Свежеприготовленная непосредственно с выхода прибора для очистки воды Пилимин, (ОВП = 570 мВ, $[O_3] = 0,3 \pm 0,02$ мг/л, $[O_2] = 13$ мг/л, $T = 4 \div 5$ °С).

2) Отстоявшаяся в закрытой посуде сутки, (ОВП = 250 мВ, $[O_3] = 0,05 \pm 0,02$ мг/л, $[O_2] = 12 \div 13$ мг/л, $T = 20 \div 21$ °С).

3) Отстоявшаяся в закрытой посуде не менее недели (ОВП = 130 \div 150 мВ, $[O_3] < 0,02$ мг/л, $[O_2] = 10 \div 12$ мг/л, $T = 20 \div 21$ °С).

4) Дистиллированная вода, отстоявшаяся в стеклянной 20 л бутылки неделю (ОВП = 360 ± 30 мВ, $[O_2] = 8 \pm 0,5$ мг/л, $T = 20 - 21$ °С). В ней содержание кислорода меньше, активных форм кислорода не должно быть.

Воду разливали в стеклянные бутылки ёмкостью 0,5 л с металлической заворачивающейся пробкой и пластиковой прокладкой. В каждую бутылку вводили водород, образующийся в электролизёре. Для заправки бутылки её горлышко помещали в воду, пробку в воде отворачивали. После введения через фторопластовую трубку водорода бутылку под водой закрывали и оставляли в лежачем положении на боку или вверх дном, чтобы водород не мог улетучиваться через уплотнение пробки. Водород не подвергали какой-либо очистке или сушке. Длина трубки, по которой подавали водород из электролизёра, составляла 50 см, внутренний диаметр трубки 3 мм, скорость подачи водорода 1 л/ч. Заправка проводилась таким образом, чтобы над поверхностью воды образовался пузырёк водорода объёмом 10 ± 1 мл.

После выдержки в заданных условиях бутылки открывали, определяли окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и концентрацию растворенного кислорода. Величина рН во всех экспериментах оставалась постоянной и составляла $\text{pH} = 7,2 \div 7,3$.

Для каждого условия эксперимента готовили 6 бутылок воды (6 проб). Ошибка результатов, приводимая далее в таблицах, характеризует разброс измеряемых величин в разных пробах.

В отдельном опыте бутылки, заправленные водородом, облучали гамма-излучением и нейтронами, после чего измеряли значения ОВП и концентрацию растворённого кислорода. Облучение проводилось гамма-источниками Cs^{137} (энергия гамма-квантов 662 кэВ) с разными активностями и нейтронным $\text{Ra}-\alpha\text{-Be}$ источником. Поток гамма-квантов в бутылки составлял 320 и 480 $(\text{см}^2 \cdot \text{с})^{-1}$. Поток быстрых нейтронов также в районе бутылки составлял 430 $(\text{см}^2 \cdot \text{с})^{-1}$. Ошибка определения потока гамма-квантов и нейтронов не превышала 20%.

Установление ОВП при разных концентрациях растворённого кислорода

Результаты измерений характеристик воды, приготовленной в перечисленных выше (1 – 4) условиях, представлены в таблице 4. В не заправленной водородом воде (1) содержание растворённого кислорода уменьшается за 40 суток от 13 до 7,9 мг/л, потенциал уменьшается от 570 до 120 ÷ 150 мВ. В воде, заправленной сразу (2), содержание кислорода уменьшается сильно, через 40 суток кислорода почти не остаётся, ОВП падает до –350 мВ. В отстоявшейся воде (3) концентрация растворённого кислорода также уменьшается, но при большом времени выдержки (11 – 40 суток) кислорода в растворе остаётся больше. ОВП сразу заправленной водородом воды уменьшается медленнее, чем в отстоявшейся воде, хотя достигает примерно тех же значений. В отстоявшейся дистиллированной воде (4), отличающейся тем, что в ней меньше концентрация растворённого кислорода, и при её обработке нет стадий, когда могут образовываться активные частицы, уже через 1 час (0,041 суток) ОВП уменьшился до –170 мВ, хотя концентрация растворённого кислорода ещё не изменилась. В ней отчётливо проявляется тенденция более быстрого уменьшения ОВП и достижения более низких значений потенциала. Обращает на себя внимание тот факт, что в обработанной холодной плазмой воде (3) после длительного отстаивания (40 суток) концентрация растворённого кислорода в воде почти такая же, как и в дистиллированной (4), хотя потенциал намного меньше. За 5 часов (0,21 суток) в первых трёх видах воды уменьшение потенциала составило 250 – 350 мВ, в то время как в дистиллированной воде (4), в которой исходно кислорода было меньше всего, потенциал уменьшился на ~700 мВ.

Изменения потенциала воды, заправленной водородом, под действием источников ионизирующего излучения представлены в таблице 5. Исходная вода относилась к категории (3) – долго отстаивавшаяся вода, в которой

должны были распасться активные формы кислорода. После заправки водородом во всех бутылках происходило уменьшение ОВП и $[O_2]$, поэтому сравнивали ОВП в облучённой и необлучённой бутылках, приготовленных одновременно в одинаковых условиях. При использовании источника малой интенсивности влияние излучения не было обнаружено: изменение ОВП по сравнению с необлучённой водой не наблюдалось, концентрация кислорода не изменилась. Для гамма-источника, имеющего в 1,5 раза большую интенсивность, изменения ОВП и $[O_2]$ после облучения по сравнению с необлучённой водой стали заметны: после облучения ОВП уменьшился на 80 мВ, а концентрация кислорода уменьшилась на 1 мг/л. При облучении нейтронами эффект стал более заметен: за то же время (30 мин) ОВП уменьшился на 240 мВ по сравнению с необлучённой водой, концентрация растворённого кислорода уменьшилась на 2,6 мг/л по сравнению с контрольным необлучённым образцом.

Таблица 4.

Значения концентрации растворённого кислорода $[O_2]$ (мг/л) и окислительно-восстановительного потенциала ОВП (мВ) для разных партий воды: 1) Без водорода – вода непосредственно с выхода установки для очистки воды через разные промежутки времени. Вода разливалась в стеклянные бутылки с закручивающимися пробками, пробки после заправки воды закрывали. 2) Заправлена сразу – водород вводили сразу после заполнения бутылки свежеработанной водой с выхода установки. 3) Отстоявшаяся – бутылки заправляли водой сразу из установки и выдерживали в закрытом виде сутки. После этого вводили водород. 4) Дистиллированная – дистиллированная вода хранилась в стеклянной бутылки 20 л неделю, после этого воду заливали в бутылки 0,5 л и заправляли водородом.

t, сутки	1) Без водорода		2) Заправлена сразу		3) Отстоявшаяся		4) Дистиллированная	
	$[O_2]$, мг/л	ОВП, мВ	$[O_2]$, мг/л	ОВП, мВ	$[O_2]$, мг/л	ОВП, мВ	$[O_2]$, мг/л	ОВП, мВ
0	$13 \pm 0,5$	570 ± 50	$13 \pm 0,5$	570 ± 50	11 ± 1	220 ± 20	$8 \pm 0,5$	360 ± 30
0,041	$12 \pm 0,5$	490 ± 20	$10,2 \pm 0,5$	140 ± 40	$10,6 \pm 1$	80 ± 20	$8 \pm 0,5$	-170 ± 40
0,21	$11,2 \pm 0,4$	370 ± 15	$9,6 \pm 0,3$	50 ± 20	$10,1 \pm 1$	-110 ± 30	$5,1 \pm 0,4$	-360 ± 50
0,75	$10,2 \pm 0,4$	245 ± 20	$6,4 \pm 0,3$	-120 ± 20	$6,9 \pm 1$	-200 ± 60	$4,7 \pm 0,4$	-390 ± 60
1,83	$10,8 \pm 0,4$	210 ± 20	$5,4 \pm 0,3$	-140 ± 20	$6,1 \pm 1$	-250 ± 50	$4,0 \pm 0,4$	-380 ± 60
3	$10 \pm 0,4$	110 ± 20	$5 \pm 0,5$	-200 ± 20	$5,1 \pm 0,5$	-270 ± 50	$3,5 \pm 0,4$	-400 ± 50
7	$9,7 \pm 0,4$	135 ± 15	$4 \pm 0,7$	-250 ± 50	$4 \pm 0,7$	-320 ± 50	$1,7 \pm 0,3$	-390 ± 50
11	$8,7 \pm 0,4$	155 ± 15	$2,1 \pm 0,7$	-260 ± 40	$2,8 \pm 0,5$	-280 ± 50	$1,4 \pm 0,2$	-340 ± 30
17	$8,2 \pm 0,4$	155 ± 15	$0,75 \pm 0,2$	-350 ± 50	$2,9 \pm 0,5$	-300 ± 50	$1,2 \pm 0,2$	-350 ± 40
40	$7,9 \pm 0,4$	120 ± 15	$0,2 \pm 0,1$	-350 ± 40	$0,9 \pm 0,2$	-340 ± 30	$1,5 \pm 0,2$	-270 ± 40

Таблица 5.

Изменение характеристик воды при активации излучением радиоактивных источников

Источник	Δt мин	ОВП(необл) мВ	ОВП(обл) мВ	$[O_2]$ (необл) мг/л	$[O_2]$ (обл) мг/л
Cs^{137} , фотоны $I = 320 \text{ (см}^2 \cdot \text{с)}^{-1}$	30	-40 ± 30	-45 ± 30	$9,6 \pm 1$	$9,6 \pm 1$
	60	-60 ± 30	-55 ± 30	10 ± 1	10 ± 1
Cs^{137} , фотоны $I = 480 \text{ (см}^2 \cdot \text{с)}^{-1}$	30	$+2 \pm 20$	-80 ± 30	$10,4 \pm 1$	$9,4 \pm 1$
Ra- α -Be, нейтроны $I = 430 \text{ (см}^2 \cdot \text{с)}^{-1}$	15	-140 ± 30	-280 ± 50	$5,3 \pm 0,7$	$4,1 \pm 0,5$
	30	-10 ± 30	-250 ± 40	$8,2 \pm 0,6$	$5,6 \pm 0,6$

Большая разница ОВП и $[O_2]$ в отдельных сериях контрольных необлучённых образцов обусловлена разницей во времени доставки образцов к месту облучения и обратно при работе с радиоактивными источниками

разного типа. Проводилось облучение отстоявшейся воды без добавок водорода источником Co^{60} с интенсивностью, в три раза большей, чем при облучении воды с водородом. Никаких изменений ОВП и концентрации кислорода, растворённого в воде, за 29 дней облучения не было обнаружено.

Обсуждение

Растворимость водорода составляет 1,78 мл в 100 мл воды при 20°C. Водород вводился в бутылку до насыщения (образования газового пузырька), поэтому концентрация растворённого в воде водорода равна $7,9 \cdot 10^{-4}$ моль/л или $\sim 4 \cdot 10^{-4}$ моль в бутылки 0,5 л. Содержание водорода в газовом пузырьке объёмом 10 мл $\sim 4,5 \cdot 10^{-4}$ моль. Таким образом, всего в бутылки содержится $\sim 8 \cdot 10^{-4}$ моль водорода.

Наибольшая концентрация кислорода в воде, полученная в данном эксперименте, составляла 13 мг/л, что соответствует мольной концентрации $\sim 4 \cdot 10^{-4}$ моль/л или $2 \cdot 10^{-4}$ моль в бутылки 0,5 л.

При наличии в воде растворённого водорода и кислорода суммарный ОВП будет определяться равновесиями (2) и (3).

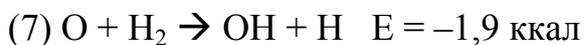
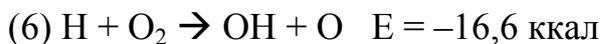
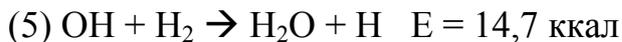
Когда в системе устанавливаются равновесия (2) и (3), исходные вещества не расходуются и концентрации веществ в процессе установления стационарного состояния не меняются. Поэтому величина рН воды, насыщенной водородом и кислородом, не меняется.

В отличие от этой ситуации, при электролизе на электродах образуется кислород и водород, которые удаляются из жидкости. Этот процесс необратимый, поэтому величина рН в районе электродов, откуда выделялся кислород и водород, (анолит и католит) меняется. Окислительно-восстановительный потенциал системы определяется величиной рН, стандартным потенциалом red-ox системы и соотношением концентраций окислителя и восстановителя. Поскольку при введении водорода и кислорода рН воды не меняется, а при электролизе меняется (в католите рН увеличивается), то вполне естественно, что при электролизе уменьшение ОВП католита будет сильнее (на величину $58\text{мВ} \cdot \Delta\text{pH}$), чем этого следует ожидать исходя только из образования водорода на катоде, что и наблюдалось экспериментально [1, 4].

Наличие в системе кислорода, особенно его активных форм, препятствует снижению ОВП. При расходовании кислорода на окисление водорода при избытке водорода относительное содержание кислорода в жидкости уменьшается, и ОВП всё больше определяется водородом, т.е. тоже уменьшается.

При насыщении воды водородом и кислородом и установлении равновесия потенциал раствора будет определяться суммой потенциалов равновесий φ_3^0 (рН=7) + φ_2^0 , которая близка к нулю. С понижением концентрации кислорода ОВП раствора будет уменьшаться. Содержание кислорода уменьшается при его расходовании на окисление водорода. Реакция горения водорода и кислорода в газовой фазе описана в работе [10].

В жидкой фазе при малой концентрации реагентов ограничимся следующими реакциями:



Стадия инициирования (4) требует расхода энергии, поэтому она протекает медленно. В газовой фазе самопроизвольное горение не происходит, так как нет источника энергии. В жидкой фазе источником энергии для инициирования этой реакции может быть космическое излучение. Вероятность ионизации среды возрастает с увеличением плотности вещества, через которое проходит излучение (она пропорциональна $e^{\rho x}$, где ρ – плотность вещества, x – длина пути, проходимого частицей). Поэтому в газе вероятность инициирования мала, а в жидкости она примерно на три порядка больше. Роль ионизирующего излучения высокой энергии подтверждается экспериментом по облучению воды, насыщенной водородом, радиоактивными источниками.

Стадии (6,7,8) тоже требуют затрат энергии, поэтому при малой интенсивности воздействия излучением (космическое излучение, слабый радиоактивный источник) процесс ограничивается реакциями (4) и (5). С повышением интенсивности излучения появляется заметная вероятность того, что рядом с первой частицей, где осуществилась стадия инициирования (4), пройдёт вторая частица и потеряет энергию, которая может быть израсходована на инициирование реакций продолжения цепи (6,7,8). Тогда начинается цепной процесс, и скорость окисления намного возрастает. Активные формы кислорода, которые могут быть в растворе, могут останавливать цепной процесс, так как их взаимодействие с радикалами H и O, обеспечивающими продолжение цепи, не требует затрат энергии, и константы скорости реакций намного порядков больше, чем для тех же продуктов, но с нейтральными молекулами.

Отсутствие каких-либо изменений в облучённой воде, не содержащей водорода, связано с протеканием в облучённой воде обратных реакций [11].

Наблюдавшаяся нами значительная разница ОВП воды, обработанной генератором холодной плазмы, и отстоявшейся дистиллированной при одинаковой концентрации кислорода может быть обусловлена разницей в структуре воды. Поскольку вода является полярной жидкостью и её молекулы имеют дипольный момент, диполи могут притягиваться и «прилипать» друг к другу, образуя группы молекул (кластеры). Свойства кластеров будут отличаться от свойств одиночных молекул. Это явление хотя и возможно, но не поддается точному научному описанию [12].

Таким образом, можно говорить о том, что медленное установление потенциала при наличии в воде растворённого кислорода и водорода обусловлено расходом кислорода в реакции с водородом. Если количество растворённого водорода больше, чем нужно на реакцию с кислородом, то после расходования всего кислорода в воде остаётся водород, который определяет величину окислительно–восстановительного потенциала. Следует подчеркнуть, что если вода насыщена водородом и кислородом до предела растворимости, водорода всегда хватит на полное расходование кислорода, и отрицательный ОВП будет получен.

В случае электролиза растворённый кислород мгновенно реагирует на катоде с атомарным водородом, и концентрация кислорода в католите равна нулю. Образование ионов OH^- в католите повышает величину pH, поэтому при электролизе ОВП католита будет всегда меньше, чем просто при насыщении водородом, и эта разница может быть порядка 400 мВ, если электролизу подвергалась нейтральная вода ($\text{pH} = 7$).

Наблюдение восстановительных реакций в водных растворах, насыщенных водородом, в частности, восстановление молекулярного иода, марганца, соединений железа показывает, что измеряемая величина потенциала обусловлена не только электродными процессами на платине, но реальными свойствами раствора. На восстановление соединений, находящихся в растворе, расходуется водород. Процесс восстановления прекращается после полного расходования водорода, если его недостаточно для восстановления всех веществ, и ОВП раствора не меняется. Когда концентрация водорода с гарантией превышает стехиометрически необходимое для восстановления количество, водород остаётся, и потенциал раствора снижается.

Обнаружена зависимость ОВП одного и того же вида воды от места, где проводятся измерения. С точки зрения химии, это может быть связано с разным содержанием водорода в атмосфере над различными в геологическом отношении местностями.

Релаксация окислительно–восстановительного потенциала жидкости

Постановка задачи

Как было показано выше, отрицательные значения ОВП воды определяются наличием в ней восстановителя – растворённого водорода. При насыщении воды водородом значение ОВП, определяемое соотношением концентраций растворённого водорода и кислорода, устанавливается за 1 – 2 минуты. При сохранении насыщенной водородом воды в герметично закрытой стеклянной посуде, последующее медленное уменьшение ОВП определяется расходом кислорода в реакции с водородом (при избытке водорода), инициируемым внешними факторами, в частности, космическим излучением. Время медленного уменьшения ОВП до минимального значения достигает нескольких суток. В закрытой посуде время сохранения отрицательного значения ОВП определяется скоростью утечки водорода. Хорошая герметизация посуды обеспечивает сохранение достигнутой величины ОВП не менее года.

Если бутылку с водой, насыщенной водородом, открыть, и воду вылить в стакан, то водород, растворённый в воде, должен быстро диффундировать из воды, так как в воздухе над поверхностью воды водорода нет. Значение ОВП должно быстро возрасти за 1 – 2 минуты, т.е. за то же время, за которое ОВП достиг отрицательного значения при насыщении воды водородом. Однако этого не происходит. В наших экспериментах время возрастания ОВП до положительных значений составляет от нескольких часов до нескольких суток в зависимости от свойств воды. Данный раздел посвящён анализу условий, определяющих время релаксации ОВП.

Экспериментальная часть

Приготовление проб. Образцы воды разливались в стеклянные бутылки объёмом 0,5 л, жидкость наливали по горлышко. Затем из бутылки с помощью пипетки отбирали 25 мл воды, чтобы освободить место для водорода. Дальнейшую обработку проводили в разливочном полуавтомате. Сначала создавали разрежение минус 0,9 атм, чтобы практически убрать воздух, затем подавали водород из баллона. Создавали давление 4 атм и закупоривали стандартной пробкой. Некоторые образцы закупоривали при атмосферном давлении водорода. Степень герметичности пробок была хорошей, поэтому бутылки оставляли храниться горлышком вверх.

Использовали следующие жидкости:

- обычная водопроводная (из водопроводной сети г. Челябинск), рН = 8,5;
- тёмное пиво;
- газированная углекислым газом вода (Бон Аква);
- 0,1% раствор крахмала в водопроводной воде;
- хорошо очищенный в заводских условиях 40% водный раствор этилового спирта;

– деионизованная вода, пропущенная через фильтр с порами размером не более 0,1 микрона.

Измерения. Измерения проводили следующим образом. Бутыль с испытываемым раствором открывали, её содержимое выливали в стакан. ОВП измеряли платиновым и хлор–серебряным электродами. В перерыве между измерениями хлор–серебряный электрод держали в 3М растворе KCl, платиновый – в 3,5 М растворе соляной кислоты. При введении электродов в жидкость показания милливольтметра сначала уменьшались, достигая минимума, затем увеличивались. На графиках приводятся либо минимальные значения ОВП во время наблюдения, либо потенциал в данный момент времени. Условия отсчёта показаний даны в пояснениях к рисункам.

Результаты экспериментов

Водопроводная вода. При откупоривании бутылки образование пузырьков в объёме жидкости не наблюдалось. Половина содержимого была вылита в сосуд, вторая половина осталась в бутылки. Когда воду наливали в стакан, выделение газа из объёма жидкости также не наблюдалось, однако на стенке стакана появились пузырьки газа (см. рис. 30, левый стакан). В бутылки, где осталась вторая половина воды, пузырьки на стенке не появились. Для сравнения на рисунке справа помещён такой же стакан, но с обычной водой. Наблюдения за водой и измерения ОВП продолжались три дня. Через сутки количество пузырьков уменьшилось, на третьи сутки они совсем исчезли. На рис. 31 приведено фото стакана с водой, насыщенной водородом также при давлении 4 атм, но из работы [13]. Видно, что там при разливе в стакан имеет место интенсивное выделение пузырьков газа в объёме воды.

Измерения ОВП в первом стакане проводились ежедневно по 5 – 6 часов. Через сутки оставшуюся в бутылки воду вылили во второй стакан. Образование пузырьков газа на стенке сосуда уже не наблюдалось. Значение ОВП в вылитой из бутылки воде оказалось +180 мВ, в то время, как в первом стакане отрицательное значение ОВП сохранялось до исчезновения пузырьков газа на стенках. Результаты измерений ОВП в первом и втором стакане приведены на рис. 32.

Пробы воды рассматривали под микроскопом. Для этого воду наливали в кювету диаметром 20 мм и высотой 10 мм. Освещение кюветы осуществлялось снизу и сбоку. Фотографии проб приведены на рис. 33. Видно, что во всех пробах в воде наблюдаются пузырьки газа диаметром 10 – 100 микрон. Эти пузырьки удерживаются и не всплывают. На рис 33г пузырьки газа прилипли к частичкам взвеси. Причиной удержания пузырьков газа в остальных случаях может быть прилипание к большим кластерам воды. Когда ОВП возрастает до положительных значений, пузырьков в жидкости не видно.

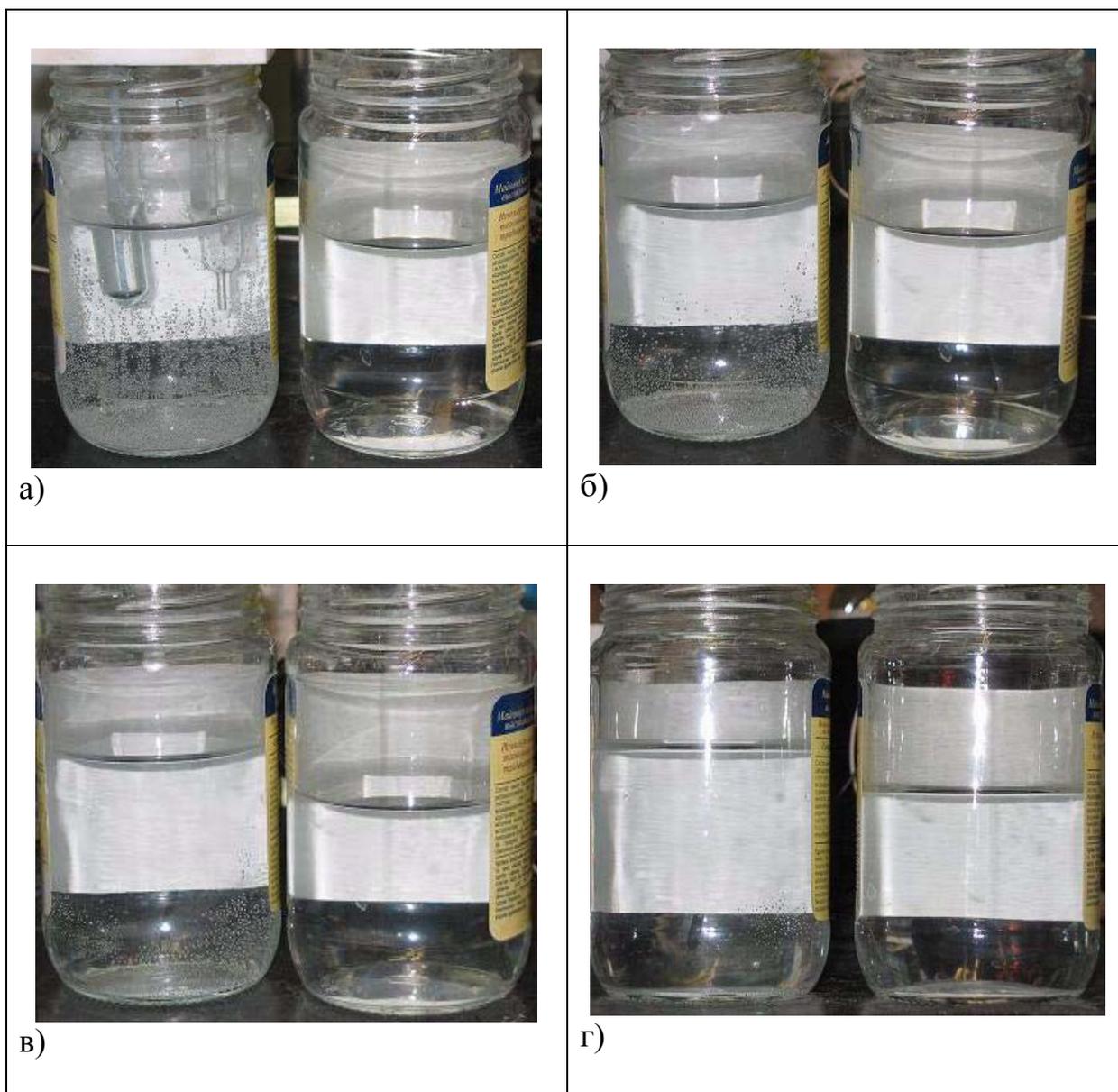


Рис. 30. Фото стаканов с испытываемыми жидкостями. Левый стакан – водопроводная вода, насыщенная водородом при давлении 4 атм после предварительного разрежения – 0,9 атм. Правый стакан – обычная вода. а) Сразу после разлива воды из откупоренной бутылки; б) на следующий день; в) через два дня; г) через три дня. Видно, что через три дня пузырьков в левом стакане не осталось.



The white bubbles that can be seen here are hydrogen.

Рис. 31. Вода, насыщенная водородом при давлении 4 атм сразу после разлива в стакан.
Данные работы [13]. <http://www.h4o.co.jp/e/story/index.php>

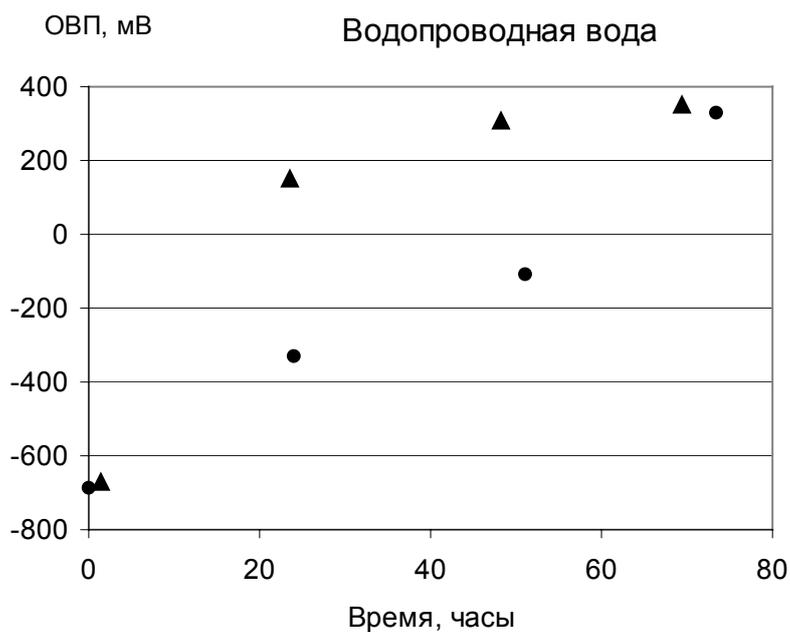


Рис. 32. Измерения ОВП водопроводной воды, насыщенной водородом при давлении 4 атм. Точки относятся к измерениям в стакане, при наполнении которого появились газовые пузырьки; треугольники – пузырьков на стенках нет. Каждая точка – минимальное значение потенциала, полученного во время сеанса измерений.

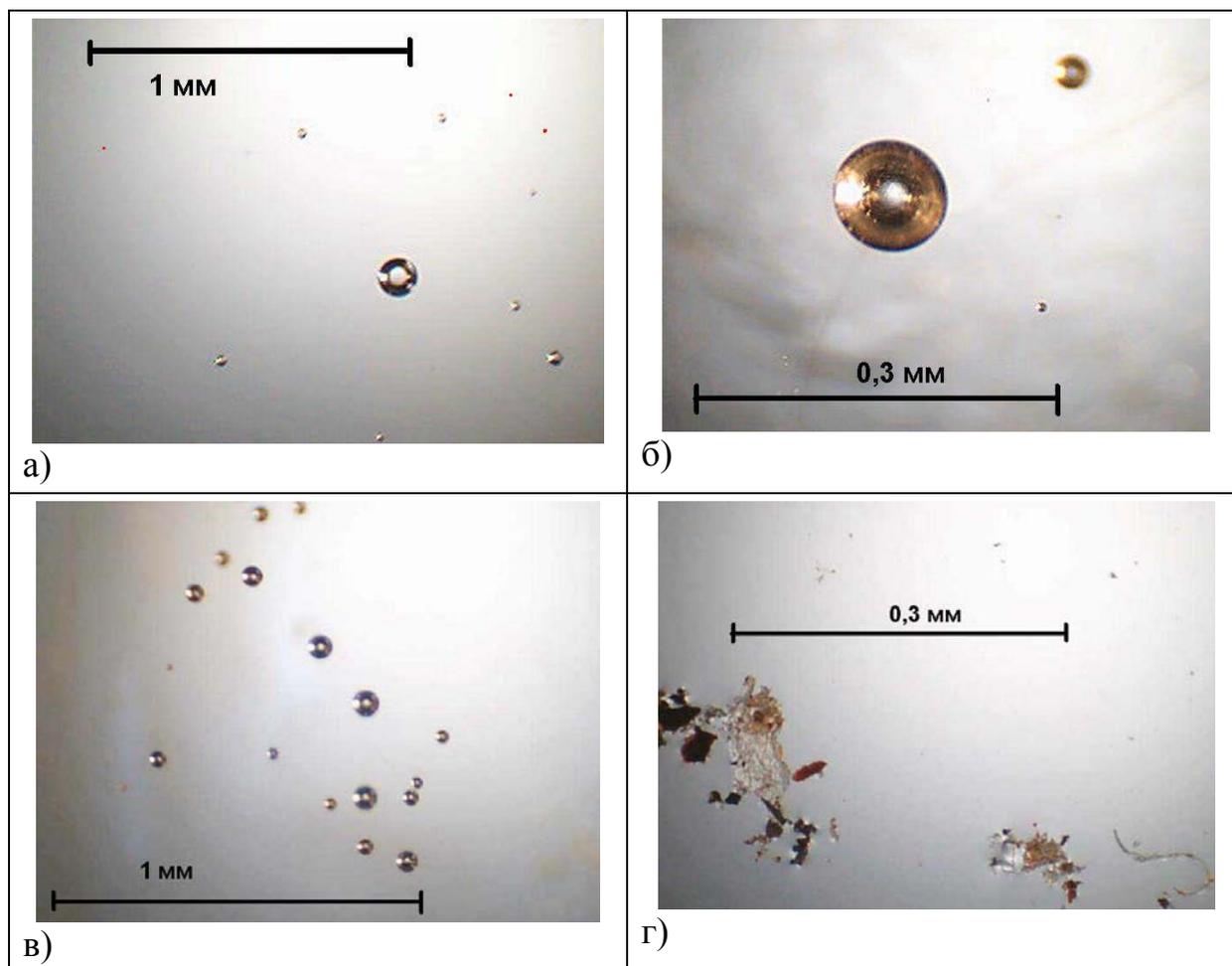


Рис. 33. Пробы воды, насыщенной водородом. Условия наблюдения – см. текст. ОВП всех проб в пределах минус (300 – 400) мВ. Масштаб указан на каждом фото.

а) Водопроводная; б) дистиллированная; в) деионизованная отфильтрованная; г) водопроводная с частичками взвеси. Пузырьки водорода удерживаются внутри воды и не всплывают.

Чистая отфильтрованная вода и 40% водный раствор этилового спирта. При открывании водки и отфильтрованной воды в бутылки наблюдается образование пузырьков. Вылитая в стакан жидкость становится белёсой от мелких пузырьков газа. Стакан выглядит так же, как на рис. 31. Пузырьки газа быстро поднимаются на поверхность и лопаются. На стенках прилипание пузырьков не наблюдается. Минимальное значение потенциала установилось за 1 минуту, затем ОВП увеличивался, и через сутки его значение стало таким же, как у исходной жидкости до насыщения водородом. Зависимость ОВП водки от времени измерений показано на рис. 34. Здесь приводятся непосредственно измеренные значения потенциала в данный момент времени. Деионизованная вода, пропущенная через фильтр с порами не более 0,1 микрона, ведёт себя также.

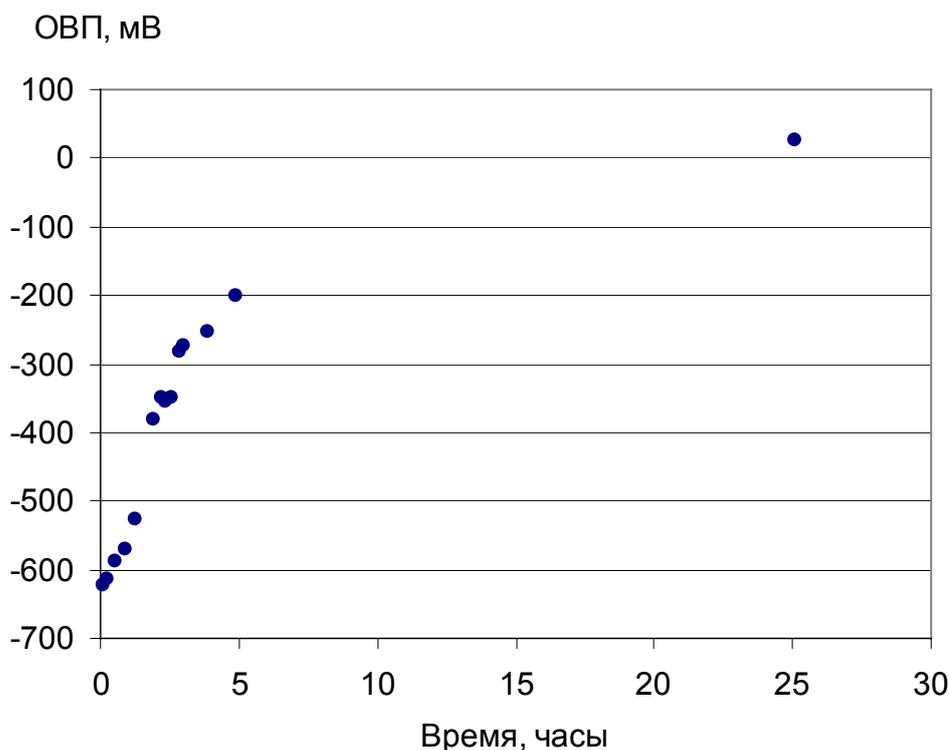
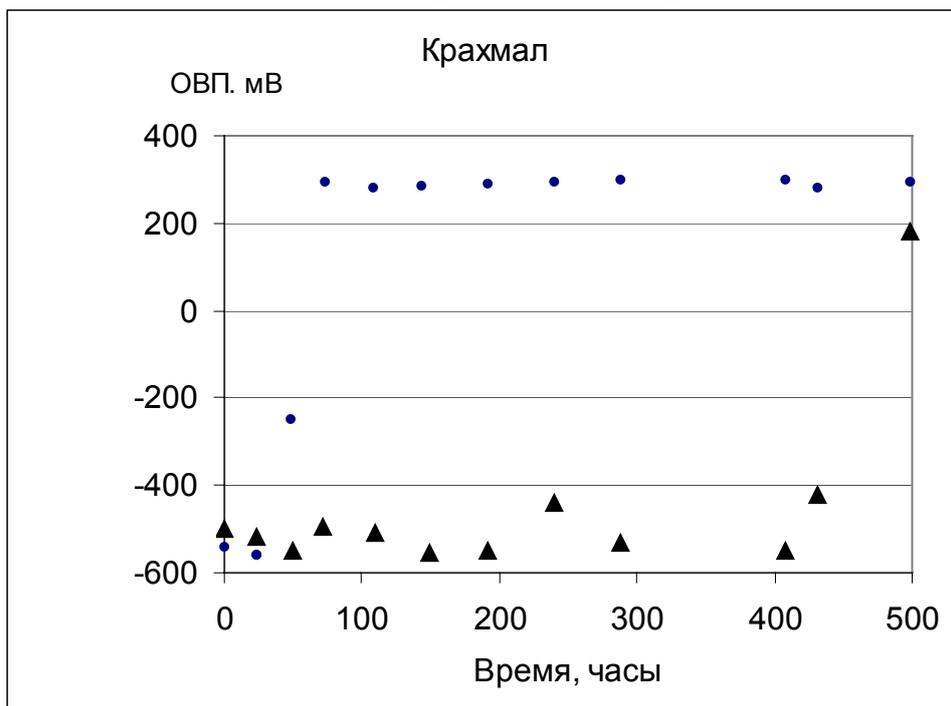


Рис. 34. Зависимость ОВП 40% водного раствора этилового спирта от времени измерений. ОВП получен на основе значений потенциала, непосредственно отсчитываемого милливольтметром в данный момент времени.

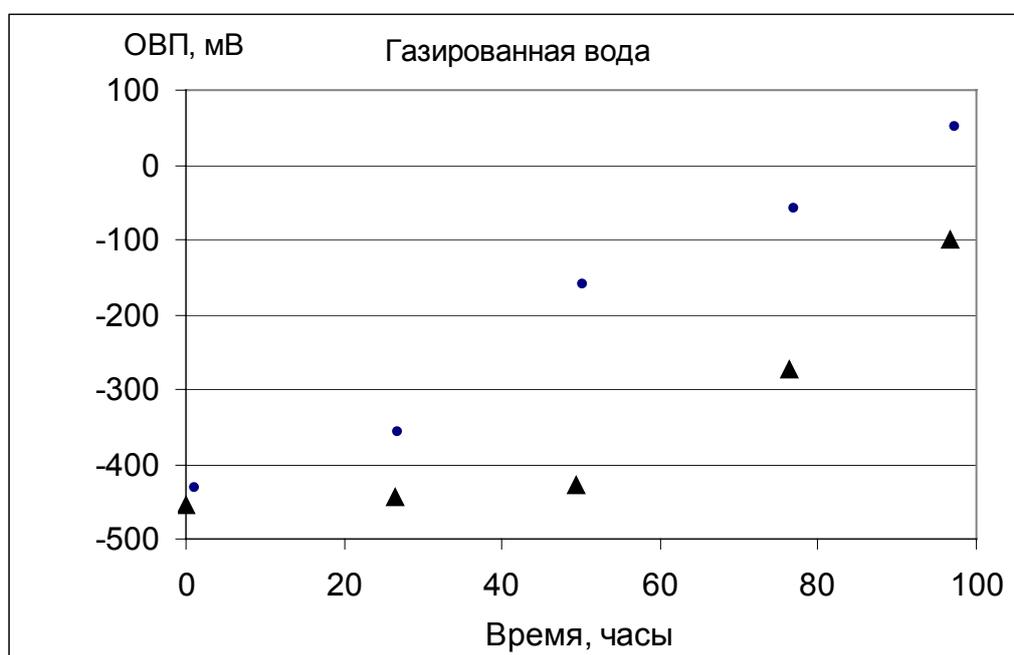
Раствор крахмала и газированная вода. Раствор крахмала в водопроводной воде концентрацией 0,1% заправляли водородом в стеклянной посуде при атмосферном давлении. Газированную воду Бон Аква переливали в стеклянную бутылку 0,5 л и заправляли водородом под давлением 4 атм. В обоих случаях в бутылках оставляли объём газа (водорода) 25 мл. После выдержки в закрытом состоянии в течение 30 дней каждую бутылку открывали и жидкость разливали в два стакана. В первом стакане измерения ОВП проводили по 5 – 6 часов в день, во втором – только до установления равновесия (получения минимального отсчёта ОВП), т.е. в течение 10 – 15 минут. Для обоих случаев за результат принималось минимальное значение потенциала, достигнутое во время наблюдений.

Эти данные представлены на рис. 35. Видно, что для газированной воды отрицательные значения ОВП в открытом стакане сохранялись примерно 90 часов, причём в стакане, где проводились длительные измерения, ОВП уменьшался быстрее, чем в другом стакане, где измерения проводили кратковременно. Для крахмала разница изменений ОВП для кратковременных и длительных измерений ещё более заметна. При длительных измерениях ОВП достиг положительных значений примерно через 70 часов, а при кратковременных измерениях отрицательные значения сохранялись до 450 часов. Увеличение ОВП в стакане, где платиновый электрод находился длительное время, сопровождалось уменьшением рН раствора. Значения рН измерялись в обоих стаканах в конце измерений. для газированной воды в первом стакане, где платиновый электрод находился

длительное время, $pH = 6,4$, а во втором стакане, где измерения проводились кратковременно, $pH = 7,2$. Для раствора крахмала через трое суток, когда ОВП в первом стакане увеличился до положительных значений, $pH = 3,5$, а во втором стакане, где ОВП остался отрицательным, $pH = 3,54$.



а)



б)

Рис. 35. Зависимость от времени ОВП испытываемых жидкостей: а) 0,1% раствор крахмала, б) газированная вода. Точки – регулярные измерения по 5 – 6 часов в день; треугольники – кратковременные измерения до установления равновесия (10 – 15 минут в день). Каждая точка – минимальные показания милливольтметра во время сеанса наблюдений.

Протекание процесса каталитического разложения водорода подтверждается данными рисунка 35, где, при длительном нахождении платинового электрода в растворе, потенциал увеличивался быстрее. К тому же наблюдалось уменьшение рН в этом стакане по сравнению со стаканом той же жидкости, где электрод находился кратковременно.

Тот факт, что для пива на следующий день после измерений потенциал оказывался много меньше того, при котором измерения были прерваны вчера (рис. 36), можно объяснить загрязнением электрода. Пиво имеет сложный состав, и каждое вещество, входящее в его состав, может оседать на электроде и устанавливать равновесие, давая вклад в потенциал. Делались контрольные эксперименты. По окончании сеанса измерений в пиве платиновый электрод промывали в соляной кислоте 10 минут. Затем ополоснутый дистиллированной водой электрод вводили обратно в раствор. Всякий раз потенциал оказывался ниже того значения, при котором измерения были прерваны.

Причины медленного увеличения ОВП в открытом стакане

При насыщении воды водородом ОВП уменьшается на 400 мВ за 2 минуты. Так как это связано с растворением водорода в воде, то обратный процесс, т.е. увеличение ОВП на сотни милливольт при заливании воды в открытый стакан, должен произойти за то же время. Водород – очень подвижный газ, и он должен быстро диффундировать из раствора. Однако минимальное время увеличения ОВП на 400 мВ, зафиксированное для водки и чистой отфильтрованной воды, составляет 5 часов (см. рис. 34). Для других жидкостей это время больше. Например, в неочищенной водопроводной воде это время порядка 40 часов.

Медленное увеличение ОВП в открытом стакане может быть связано с накоплением водорода выше предела растворимости в воде в виде пузырьков, которые показаны на рис. 33. Пузырьки образуются при взбалтывании и перемешивании жидкости в бутылки, которое неизбежно происходит после заправки бутылки водородом и её перемещении.

Оценим время всплывания пузырька газа из воды под действием архимедовой силы. Согласно формуле Стокса [14], скорость всплывания газового пузырька в воде при условии ламинарного обтекания водой этого пузырька определяется соотношением:

$$V = 2,2 \cdot 10^6 \cdot R^2$$

где R – радиус пузырька, в метрах;

V – скорость всплывания, метры в секунду.

Пузырёк диаметром 10 микрон всплывёт со дна стакана высотой 10 см за 1800 сек (0,5 часа), а диаметром 100 микрон – за 18 секунд. Отсюда понятно, что если на пузырёк действует только архимедова сила, видимые глазом пузырьки всплывают быстро, как следует из рис. 31. Пузырьки диаметром меньше 10 микрон, плохо заметные на рис. 33, могут всплывать часы. Они определяют динамику роста ОВП, представленную на рисунке 34.

Пузырёк диаметром 10 микрон всплывёт из кюветы глубиной 10 мм, в которой фотографировались пузырьки на рис. 33, за 180 сек (3 минуты). Более крупные пузырьки всплывут быстрее. Пузырьки на рис. 33 оставались неподвижными за время наблюдения порядка 30 минут. Отсюда следует, что на пузырьки действует иная сила, кроме архимедовой.

Возможной причиной длительного удержания пузырьков в жидкости может быть прилипание пузырьков к поверхности микроскопических частичек взвеси, находящихся в воде. Эти пузырьки, постепенно уменьшаясь, поддерживают концентрацию водорода в воде, несмотря на утечку водорода через открытую поверхность. Пузырьки могут прилипать к большим кластерам воды. В воде, очищенной от частичек взвеси, время увеличения потенциала на 400 мВ намного меньше, чем в воде сложного состава. В очищенной воде время увеличения ОВП на 400 мВ составляет 5 часов, в то время как в водопроводной воде – порядка 40 часов. Аналогичная ситуация имеет место, когда пузырьки водорода образуются на поверхности стакана. Здесь отрицательные значения ОВП сохраняются до тех пор, пока на стенке стакана есть пузырьки. Когда вода очень чистая, пузырьки водорода выделяются быстро (см. рис. 31), и ОВП возрастает быстрее.

Большое время сохранения ОВП в крахмале (рис. 35а) по сравнению с остальными случаями обусловлено вязкостью крахмала.

Основные результаты главы II

- При введении в воду молекулярного водорода в воде устанавливается отрицательный окислительно-восстановительный потенциал, величина которого может достигать – (500 ÷ 700) мВ. Величина рН раствора при этом не меняется. Электропроводность воды также не меняется. Время установления потенциала при введении водорода – не менее суток. В случае электролиза ОВП католита может быть меньше из-за увеличения рН раствора. Эта разница может достигать 400 мВ для исходно нейтральной воды.
- Наличие в растворе солей влияет на ОВП в том случае, если эта соль сама участвует в окислительно-восстановительных реакциях. Нейтральная соль на ОВП практически не влияет.
- Кислород, растворённый в воде, препятствует установлению отрицательного ОВП. Кислород расходуется в реакции с водородом, эта реакция может инициироваться космическим излучением. Минимальное значение ОВП достигается после полного расходования кислорода. Расходование водорода на реакцию с кислородом снижает парциальное давление водорода в пузырьке газа над поверхностью воды в сосуде, что влияет на минимально достижимое значение ОВП в данной пробе.
- Наблюдаемое значение ОВП не связано только с процессами на измерительных электродах, а подтверждается протеканием восстановительных реакций в растворе. Водород расходуется на

восстановление веществ, поэтому его содержание в пробе должно быть больше стехиометрически необходимого, для того, чтобы изменение ОВП при введении водорода было заметным.

- В эксперименте проявлялся в первую очередь химический механизм установления ОВП.
- Результаты экспериментов могут быть использованы для создания технологии производства воды с отрицательным ОВП.
- Разница в эффектах, создаваемых водородом из электролизёра и водородом из баллона не обнаружена.
- Кинетика увеличения ОВП воды, насыщенной водородом и вылитой в открытый стакан, определяется наличием в воде пузырьков газа. Пузырьки могут прилипать к частичкам взвеси, к стенке стакана, и, вероятно, к большим кластерам воды. Когда пузырьки исчезают, ОВП возрастает до положительных значений. Аналогичная ситуация может иметь место при насыщении воды кислородом. Если в жидкости после обработки остаются пузырьки кислорода, то его концентрация в воде может превышать концентрацию при данной температуре, достижимую на воздухе.
- Причина повышенной активности электролизной воды заключается в том, что электрохимические параметры обработанной воды оказываются за пределами области термодинамической устойчивости. Вода самопроизвольно разлагается.

ВЫВОДЫ

Возможности практического применения процесса насыщения жидкости водородом

Полученные результаты были использованы для создания технологии производства воды с отрицательным ОВП, патенты РФ [15, 16].

В одном случае вода в большом баке продувается водородом достаточно длительное время, после чего разливается в бутылки.

В другом случае водород всасывается в поток воды эжектором, водогазовая смесь выбрасывается в промежуточную ёмкость, где избыток водорода отделяется от воды и засасывается обратно в эжектор для смешивания с новыми порциями воды. Из промежуточной ёмкости вода поступает на разлив. Унос водорода, растворённого в воде, компенсируется введением в промежуточную ёмкость свежего водорода. При производительности разливочной линии 500 л/ч скорость подачи водорода составляет примерно 10 л/ч.

Для длительного хранения вода разливается в стеклянные бутылки объёмом 0,5 л, закрывающиеся металлической пробкой с пластиковой прокладкой. Бутылки хранятся на боку либо вверх дном. Гарантийный срок хранения – 6 месяцев. Насыщенную водородом воду можно разливать в бутылки 19 л. В такой бутылки, установленной на офисном кулере, вода сохраняет отрицательный потенциал в течение недели.

Если прокладка под пробку высококачественная, и закупорка производится плотно, то стеклянная бутылка может храниться в любом положении до года.

В промышленных экспериментах использовался водород из баллона. С использованием этого газа повторялись некоторые точки, полученные с электролизным водородом. Во всех случаях достигались одинаковые значения ОВП.

Напитки, насыщенные водородом (пиво, фруктовая вода, газированная вода, сок) сохраняют отрицательное значение ОВП значительно дольше, чем чистая вода. Даже в открытом состоянии напитки сохраняют ОВП несколько дней и не портятся, их вкус не ухудшается. Поэтому водород можно использовать как экологически чистый и абсолютно безвредный консервант в пищевой промышленности. Решением Фармакологического комитета бывшего СССР от 22 февраля 1988 года было узаконено применение водорода.

Производство экологически чистых антиоксидантов

В живых организмах постоянно происходят окислительно-восстановительные реакции. Выработка энергии, необходимой для функционирования организмов, обеспечивается окислительными реакциями. Образование новых соединений, необходимых организму, рост и замена клеток происходит с участием восстановительных реакций. Поэтому

окислительно-восстановительный потенциал крови живого человека составляет минус 70 мВ. В настоящее время биологами твёрдо установлено, что клетка в процессе жизнедеятельности сама вырабатывает как окислители, так и восстановители [17]. Факторы внешней среды могут нарушать естественный баланс между окислителями и восстановителями. Из-за этого в организме могут происходить различные нарушения. Существует много теорий старения организма. Часть теорий причиной старения считают действие окислителей. Для компенсации негативных условий внешней среды, согласно существующим сейчас представлениям, в организм нужно специально вводить антиоксиданты. Антиоксидантами могут быть натуральные продукты, например, свежие яблоки, огурцы, либо искусственно приготовленные пищевые добавки. Пищевые добавки – антиоксиданты – получают из натуральных продуктов (концентраты), либо синтезом искусственных веществ. Введение в организм концентратов даже натуральных продуктов может иметь нежелательные последствия, так как приём концентрированных антиоксидантов равносителен потреблению такого количества продукта, которое просто невозможно съесть. Отрицательные последствия приёма большого количества химических соединений – антиоксидантов пока неизвестны, однако полностью исключить возможность нежелательных явлений нельзя.

Выше было показано, что насыщение жидких продуктов питания водородом приводит к тому, что обычные продукты приобретают свойства антиоксидантов (их ОВП становится отрицательным). Никаких медицинских запретов на содержание водорода в пищевых продуктах нет. Этот вопрос специально исследовался, и было установлено, что каких-либо ограничений на использование водорода в пищевых продуктах вводить не нужно. Водород является частью воды, а человек не менее, чем на 70% состоит из воды. Поэтому использование водорода для получения жидкостей с восстановительными свойствами является экологически чистым методом получения антиоксидантов, так как при этом никакие новые химические вещества в пищу не добавляются, а состав продуктов остаётся неизменным. Нами установлено, что напитки, насыщенные водородом, лучше хранятся, так как отрицательный ОВП подавляет размножение некоторых бактерий. Ограничением на применение водорода может служить возможность протекания в растворе нежелательных реакций с водородом, например, образование сероводорода.

Технология производства продуктов с антиокислительными свойствами на основе добавления водорода должна быть детально исследована, и для использования такой технологии имеются хорошие перспективы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше время характеризуется тем, что практически по всем вопросам мы не располагаем полной информацией. Реклама, которая должна была бы сообщать о свойствах товара, показывает только некоторые стороны, умалчивая остальные. Наши знания об окружающем мире и о нас самих должны ещё сильно пополняться. А принимать решения, и что-либо делать мы должны уже сейчас. Как же тут быть? Авторы тоже не обладают всей полнотой информации, и не могут дать однозначный и точный совет. В отличие от рекламы, которая даёт однозначный и точный совет: покупайте нашу продукцию.

Разбираться во всём придётся вам самим. И самим принимать решение. И, главное, самим за него отвечать. Правда, отвечать всё равно всегда приходится самому, кто бы совет ни дал. Вы, ваше здоровье, по сути, есть объект вашего бизнеса, для вас – самого большого. Независимо от ваших успехов в остальных областях, будь вы миллиардер или нищий российский научный работник.

Аналогия с обычным бизнесом здесь полная. Вы, и только вы, принимаете решение, как вам поддерживать здоровье. Вы вкладываете свои средства (деньги). И полностью сами отвечаете за результат. Хотя небольшое отличие от обычного бизнеса всё же есть: здоровье нельзя по дешёвке купить в Китае и выгодно перепродать. Всё производить и потреблять придётся на месте. Остаётся пожелать вам успехов в поддержании своего здоровья на желательном для вас уровне. И надеемся, что наша книжка вам в этом вопросе немного поможет.

Литература к разделу введение

1. СанПиН 2.1.4.1116–02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в ёмкости. Контроль качества.
2. Леонов Б.И., Прилуцкий В.И., Бахир В.М. Физико-химические аспекты биологического действия электрохимически активированной воды. – М.: ВНИИИМТ, 1999. – с. 244.
3. Неумывакин И.П. Перекись водорода. Мифы и реальность. Санкт–Петербург.: ООО «Издательство «ДИЛЯ». 2005. 140 с.
4. Малахов Г. П. Сайт <http://www.genesha.ru/articles/123>
5. Добош Д.. Электрохимические константы. М.:Мир. 1980. С. 240.
6. Скорчелетти В.В.. Теоретическая электрохимия. Л.: ГХИ. 1959. С. 325, 326.
7. Сайт Penta Water. http://en.wikipedia.org/wiki/Penta_Water
8. Маленков Г.Г. Структура воды. //Физическая химия. Современные проблемы. Под ред. Колотыркина Я.М. – М.: Химия. 1984. С. 41 – 46.
9. Маленков Г.Г. Структура и динамика жидкой воды. //Журнал структурной химии. Т. 47. 2006. С. S5 – S35.
10. Волошин В.П., Желиговская Е.А., Маленков Г.Г., Наберухин Ю.И., Тытик Д.Л. Структуры сеток водородных связей и динамика молекул воды в конденсированных водных системах. // Российский химический журнал. Т. 45. №3. 2001. С. 31 – 37.
11. Смирнов А.Н., Лапшин В.Б., Балышев А.В., Лебедев И.М., Сыроешкин А.В. Супранадмолекулярные комплексы воды. // Электронный журнал «Исследовано в России». 2004. 038. С. 1141–1150.
<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/038.pdf>
12. Hulthe G. et al. Water clusters studied by electrospray mass spectrometry. //J. Chromatography A, 777 (1997). P. 155 – 165.
13. Зенин С.В. Биологические и энергоинформационные свойства воды. Сайт <http://www.bookpage.ru/2001.html>

Литература к главе I

1. Ф. Батмангхелидж. Вы не больны, у вас жажда. Мн.: Изд. ООО «Попурри». 2006. 320 с.
2. Ф. Батмангхелидж. Вода исцеляет, лекарства убивают. Мн.: Изд. ООО «Попурри». 2005. 352 с.
3. Ф. Батмангхелидж. Вода для здоровья. Мн. Изд. ООО «Попурри». 2006. 288 с.
4. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
5. Пискарев И.М., Пискарев В.И. Способ очистки воды. Патент РФ на изобретение № 2130898 от 27 мая 1999 г.
6. Аристова Н.А., Беркутов Н.А., Корчаков С.А., Пискарев И.М. Способ очистки воды и устройство для его осуществления. Патент РФ на изобретение № 2251533 от 10 мая 2005 г.
7. Аристова Н.А., Пискарев И.М. Вспышечный коронный электрический разряд как источник химически активных частиц. //Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Серия Б. Т. XI–5. Под ред. Ю.А.Лебедева, Н.А.Платэ, В.Е.Фортова. М.: ЯНУС–К. 2006. С. 310 – 344. Интернет:
<http://depni.sinp.msu.ru/~piskarev/science/plasma.pdf>
8. Лунин В.В., Попович М.П., Ткаченко С.Н. Физическая химия озона. М.: Издательство МГУ. 1998. с. 474.

9. Аристова Н.А., Пискарев И.М. //Журнал физической химии. Т. 77. № 5. 2003 г. С. 813 – 816.
10. Пискарев И.М., Волков Л.С., Туголуков С.Н., Аристова Н.А., Волков В.Л., Мартенс Е.Э. Устройство для очистки воды. Патент РФ на полезную модель № 72968.
11. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука. 1987. С. 511.
12. Акишев Ю.С., Кочетов И.В., Лобойко А.И., Напартович А.П. //Физика плазмы. 2002. Т. 28. №12. С. 1136.
13. Аристова Н.А., Пискарев И.М. Очистка воды от ионов меди при озонировании методом осаждения. //Вода: химия и экология. 2008. № 5. С. 34 – 37.
14. Hoigne J., Bader H. // Water Res. 1983/ V. 17. P. 185.
15. Зыков Е.Д., Зыкова Т.Н. Кондиционированная питьевая вода высшей категории качества. Патент РФ на изобретение № 2286952, публикация 11 октября 2006 г.
16. Сайт <http://www.kingwater.ru>
17. Сайт консультационного инженерного центра по проблемам очистки промышленных сточных вод: <http://depni.sinp.msu.ru/~piskarev>
18. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды в плавательных бассейнах. СанПиН 2.1.2.568–96.
19. Аристова Н.А., Пискарев И.М. Новый подход к задаче очистки и обеззараживания питьевой воды на основе генератора озono–гидроксильной смеси. С.О.К. №9. 2005. С. 26 – 28.
20. Аристова Н.А., Воронец Ю.В., Пискарев И.М., Ушканов В.А. Способ очистки воды плавательных бассейнов. Патент РФ на изобретение № 2352529. Зарегистрирован 20 апреля 2009 г.

Литература к главе II

1. Петрушанко И.Ю., Лобышев В.И. Неравновесное состояние электрохимически активированной воды и её биологическая активность.// Биофизика. – 2001. – Т. 46 – Вып. 3. – С. 389–401.
2. Петрушанко И.Ю., Лобышев В.И. Физико–химические свойства водных растворов, полученных в мембранном электролизере.// Биофизика. – 2004. – Т. 49. – Вып. 1. – С. 22–31.
3. Клосс А.И. Электрон–радикальная диссоциация и механизм активации воды.// ДАН СССР. – 1988. – Т. 303. – №6. С. 1403 – 1407.
4. Леонов Б.И., Прилуцкий В.И., Бахир В.М. Физико-химические аспекты биологического действия электрохимически активированной воды. – М.: ВНИИИМТ, 1999. – с. 244.
5. Добош Д. Электрохимические константы. – М.: Мир. 1980. – С. 230.
6. Пискарев И.М., Ушканов В.А., Лихачев П.П., Мысливец Т.С.//Электронный журнал «Исследовано в России», 023, С. 230 – 239, 2007. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/023.pdf>
7. Аристова Н.А., Пискарев И.М. Активация молекулярного водорода, растворенного в воде. // «Вода: химия и экология» №1 (2009), с.27–32.
8. Аристова Н.А., Пискарев И.М. Новый подход к задаче очистки и обеззараживания питьевой воды на основе генератора озono–гидроксильной смеси.//С.О.К. (Сантехника. Отопление. Кондиционирование.) № 9. 2005 г. С. 26 – 28. Сайт <http://depni.sinp.msu.ru/~piskarev>
9. Широносков В.Г. Резонанс в физике, химии и биологии. Ижевск. Издательский дом «Удмуртский университет». 2000/01. С. 92.
10. Кондратьев В.Н., Никитин Е.Е. Кинетика и механизм газофазных реакций. М.: «Наука». 1974. С. 420.
11. Пикаев А.К. Современная радиационная химия. Радиолит газы и жидкостей. М.: «Наука». 1986 г. С. 439.

12. Маленков Г.Г. //Журнал структурной химии. 2006. Т. 47. С. S5–S35.
13. <http://www.h4o.co.jp/e/story/index.php>
14. Гегузин Я.Е. Пузыри. М.: Наука. Главная редакция физико–математической литературы. С. 90.
15. Пискарев И.М., Туголуков С.Н., Милявский М.А., Волков Л.С. Патент на полезную модель № 71331. Устройство для получения жидкой среды с отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом путём насыщения её водородом. Зарегистрирован 10 марта 2008 г.
16. Пискарев И.М., Туголуков С.Н., Милявский М.А., Волков Л.С. Патент на полезную модель № 71332. Устройство для получения жидкой среды с отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом путём насыщения её водородом. Зарегистрирован 10 марта 2008 г.
17. Воейков В.Л. Регуляторные функции активных форм кислорода в крови и в водных модельных системах. Дис. ... д-ра биологических наук. М., 2003. 28

Научное издание

АРИСТОВА Наталья Алексеевна
ПИСКАРЕВ Игорь Михайлович

**Физико-химические методы получения экологически чистой
активированной питьевой воды**

Редактор *А. В. Кочурина*

Подписано в печать 31.01.2011. Формат 60×90 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Ризография.
Усл. печ. л. 4,75. Уч.-изд. л. 5,24. Тираж 100 экз. Заказ № 1724

Редакционно-издательский отдел
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
Нижнетагильский технологический институт (филиал)
622031, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59

Отпечатано в РИО НТИ (ф) УрФУ



1944