

О.В. Зуй, Н.Ф. Кушевская, В.В. Гончарук

БЕЗЭКСТРАКЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛЫХ КОЛИЧЕСТВ ПЕРХЛОРАТА В ВОДАХ

Исследовано определение микроколичеств перхлората и предложены методики анализа вод на его содержание. Определение проводили в виде ионного ассоциата с цетилтриметил-аммонием после сорбции белого осадка на окрашенном бумажном фильтре и измерения диффузного отражения, а также в виде ионного ассоциата с родамином БЖ после его сорбирования на фильтре с измерением интенсивности хемиллюминесценции, возникающей после добавления реагентов CoCl_2 , H_2O_2 , NaHCO_3 . Для предварительного концентрирования и отделения перхлората от мешающих примесей применены стандартные модифицированные сорбенты. Предел обнаружения перхлората составляет соответственно 20 и 0,4 мкг/дм³.

Перхлорат является загрязнителем окружающей среды преимущественно антропогенного происхождения. Соли перхлората, в частности перхлорат аммония, являются составной частью ракетного топлива, перхлорат натрия используется в фармацевтической промышленности. Следы перхлората находят также в местах, где проводили взрывные работы. Со сточными водами аэрокосмической и фармацевтической промышленности перхлорат попадает в подземные воды и источники питьевого водоснабжения [1]. Так как он очень устойчив в окружающей среде, то не разлагается в течение десятилетий и представляет опасность для здоровья человека, оказывая вредное воздействие на щитовидную железу. Из-за сходства в размерах и гидратации перхлорат замещает иодид в тиреоидной железе, что мешает продуцированию тиреоидных гормонов, тем самым препятствуя поглощению иодида тиреоидной железой. Из-за риска здоровью человека перхлорат внесен в перечень веществ, на которые необходимо установить ПДК в питьевой воде. В штате Калифорния (США) законодательно установлен уровень "опасной" концентрации перхлората в питьевой воде, составляющий 18 мкг/дм³ [2]. На основе данных токсикологических исследований Агентство охраны окружающей среды США установило официальную "безопасную дозу" потребления перхлората – 0,0007 мг на 1 кг массы человека в 1 сут, что в пересчете на содержание перхлората в питьевой воде при ее суточном потреблении в 2 дм³ составляет 24,5 мкг/дм³ [3]. ПДК в СССР [4], а затем и в России [5] была установлена на уровне 5 мг/дм³. Токсикологические исследования

перхлората с целью уточнения опасных доз и установления точного значения ПДК еще не закончены и продолжаются [6].

В последние годы наблюдается тенденция к ужесточению требований к качеству питьевой воды, снижению ПДК на все токсические вещества, включая перхлорат. В связи с этим разработана новых высокочувствительных, селективных, простых и недорогих методов определения перхлората, пригодных для мониторинга объектов окружающей среды, является достаточно актуальной.

Для определения малых количеств перхлората известны спектрофотометрические, электрохимические методы, капиллярный электрофорез, ионная хроматография, масс-спектрометрия и др. [1] (табл.1)

Таблица 1. Основные методы определения малых количеств перхлората в водах

Метод	ПрО, мкг/дм ³	Лит. источник
Спектрофотометрический по реакции с кристаллическим фиолетовым с экстракцией бензолом	100	[7]
по реакции с кристаллическим фиолетовым с экстракцией хлорбензолом	11	[8]
Хроматографический с использованием концентрирующей колонки	< 5	[10]
Масс-спектрометрический	0,1 – 5,0	[11]
Люминесцентный	40	[9]
Турбидиметрический	2500	[12]

Примечание. ПрО – предел обнаружения.

Спектрофотометрические методы обладают чувствительностью на уровне 10 – 200 мкг/дм³, однако требуется предварительная жидкостная экстракция аналитической формы с применением токсических органических растворителей [7 – 9]. Использование ионоселективных электродов позволяет выполнять анализ на уровне 50 – 2000 мкг/дм³, но определению мешают I⁻, NO₃⁻; гуминовые вещества природных вод. Капиллярный электрофорез характеризуется чувствительностью определения перхлората 100 мкг/дм³, что недостаточно для анализа объектов окружающей среды [1, 2]. Поэтому в настоящее время наиболее широко используется ионная хроматография; чувствительность на перхлорат с применением концентрирующей колонки соответствует < 5 мкг/дм³ [10].

Однако время удерживания перхлората меняется при изменении его концентрации, а пик перхлората может совпадать с пиком иодида. Для подтверждения правильности анализа необходимо применять другие методы, сравнивая, например, с масс-спектральным, что усложняет и делает более продолжительным анализ.

При помощи масс-спектрометрии с ионизацией электронным ударом (распылением) после 500-кратного концентрирования пробы жидкостной экстракцией метилизобутилкетонем достигнута чувствительность 0,1 – 5,0 мкг/дм³ [11]. Однако трудоемкость и очень высокая стоимость оборудования препятствуют широкому применению этого метода. Известен люминесцентный метод определения перхлората [9], применяемый для определения примесей ClO_4^- в хлорате калия. Он основан на образовании ионного ассоциата (ИА) перхлората с родамином бЖ (РбЖ), экстракции полученного ИА бензолом и измерении люминесценции бензольного экстракта. Чувствительность определения – 0,04 мкг/дм³ перхлората. Безэкстракционный турбидиметрический метод определения перхлоратов в водных растворах основан на образовании в растворе малорастворимого белого соединения – ИА перхлората с цетилтриметиламмоний бромидом (ЦТБ) [12] и измерении мутности раствора. Однако чувствительность определения перхлората недостаточна (2,5 мкг/дм³), кроме того, определению мешают крупные анионы и другие компоненты матрицы природных вод. Таким образом, высокочувствительные, экспрессные и в то же время недорогие методы определения перхлората, которые могли бы быть применены в полевых условиях, в настоящее время отсутствуют, а хемилюминесцентные методы неизвестны вообще, за исключением экстракционно-электрохемилюминесцентного метода [13]. В основе этого метода лежит электрохемилюминесценция комплекса рутения с бипиридилем и перхлоратом с применением очень токсического органического растворителя – нитробензола.

Цель данного исследования – разработка экологически безопасных, не требующих использования токсических реагентов, дополнительно загрязняющих окружающую среду, методов определения ClO_4^- , которые могли бы применяться для анализа природных вод непосредственно в местах отбора проб.

В работе изучены следующие варианты определения перхлората.

Первый вариант. Концентрирование слаборастворимого в воде ионного ассоциата ClO_4^- с противоионом цетилтриметиламмония (ЦТ) на бумажном фильтре, предварительно окрашенном в красный цвет раствором красителя РбЖ. Детектирование основано на измерении диффузного отражения белых пятен, образованных ионным ассоциатом на подложке красного цвета.

Второй вариант. Получение перхлората с катионным красителем РбЖ на бумажном фильтре. Детектирование в этом случае основано на хемилюминесцентной реакции в системе $\text{Co}(\text{II})$ – гидрокарбонат натрия – H_2O_2 в

присутствии комплекса ClO_4^- – Р6Ж. Последний является сенсбилизатором хемилюминесцентной реакции в этой системе.

В обоих случаях для повышения чувствительности определения и устранения влияния компонентов матрицы вод применена предварительная твердофазная экстракция ClO_4^- на патронах с модифицированными сорбентами.

Методика эксперимента. В опытах использовали бумажные фильтры "синяя лента" и "красная лента", децилтриметиламмоний бромид (ДТБ) фирмы "Fluka", ЦТБ, цетилтриметиламмоний гидросульфат (ЦТГ) и люминол фирмы "Aldrich", силикагель L5/40 для хроматографии фирмы "Chemapol", патроны для твердофазной экстракции Strata SDB-L фирмы "Phenomenex" и Supelclean Alumina-N фирмы "Supelco", препараты KClO_4 и родамин 6Ж "ч.д.а.", ацетон "ч.д.а.", цинковую пыль с размером частиц < 10 мкм, уксусную кислоту "х.ч.". Интенсивность диффузного отражения измеряли на приборе PocketSpec (США), а интенсивность хемилюминесценции (ХЛ) фильтров с концентратами – на портативном люминометре TRIATHLER фирмы "HIDEX" (Финляндия). Для фильтрования использовали разборную воронку Бюхнера с эффективной площадью фильтрования 1,1 см², для пропускания растворов через патроны с сорбентами – полипропиленовые шприцы емкостью 20 – 50 см³.

Результаты и их обсуждение. Разработка методов определения перхлората при отсутствии мешающих примесей. *Спектроскопия диффузного отражения.* Опыты показали, что более чувствительным способом измерения концентрации перхлората при использовании реакции образования ионного ассоциата ClO_4^- – ПАВ является не измерение мутности раствора, как описано в [12], а концентрирование белого малорастворимого ассоциата на подложке контрастного цвета, в частности на фильтровальной бумаге, окрашенной родамином 6Ж. Бумагу окрашивали при помощи фильтрования через фильтр диаметром 1,1 см растворов Р6Ж различной концентрации: от $8 \cdot 10^{-5}$ до $4 \cdot 10^{-4}$ М (по 20 см³ каждого раствора). Оптимальным для создания фоновой окраски бумажных фильтров оказалось фильтрование 20 см³ $2,3 \cdot 10^{-4}$ М раствора Р6Ж (рис. 1, кривая 1). Через окрашенные фильтры пропускали растворы, содержащие аналитическую форму – ИА в виде белой мути, и измеряли диффузное отражение фильтров. Зависимость диффузного отражения от концентрации ЦТГ в растворе проходила через максимум; интенсивность белой окраски пятен, получаемых при фильтровании, с возрастанием концентрации ЦТГ вначале повышалась, а затем снижалась (см. рис. 1, кривая 2). Наиболее приемлемой являлась концентрация ЦТГ $6 \cdot 10^{-4}$ М.

Зависимость интенсивности диффузного отражения от рН фильтруемых растворов приведена на рис. 2, из которого видно, что величина диффузного отражения практически не зависит от рН в интервале 2 –

11,5, поэтому растворы не буферировали. Для определения перхлората в интервале 0,5 – 20 мг/дм³ при объеме пробы 20 см³ построен градуировочный график (рис. 3).

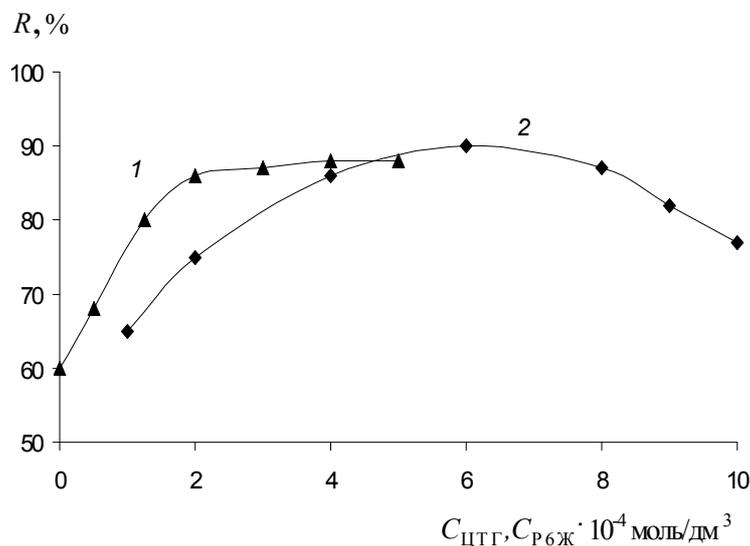


Рис. 1. Зависимость интенсивности диффузного отражения концентратов на бумажных фильтрах от концентрации родамина 6Ж в фильтруемых растворах (1) и от концентрации цетилтриметил-аммоний гидросульфата (2). Объем раствора – 20 см³, $C_{ClO_4^-}$ – 5 мг/дм³

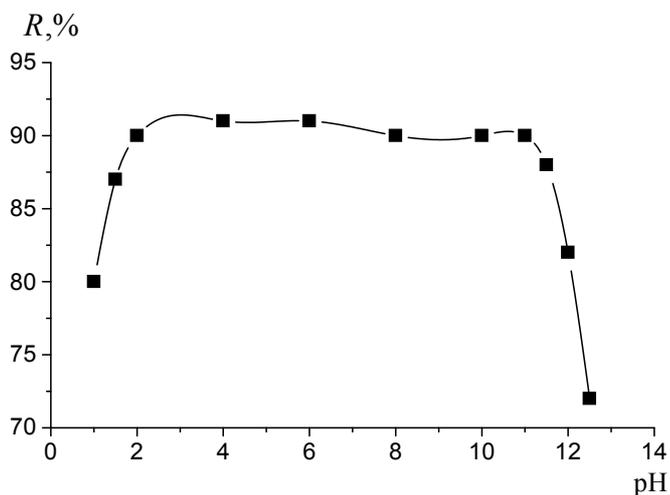


Рис. 2. Зависимость интенсивности диффузного отражения концентратов на бумажных фильтрах от pH фильтруемых растворов. Объем раствора – 20 см³, $C_{ClO_4^-}$ – 5 мг/дм³

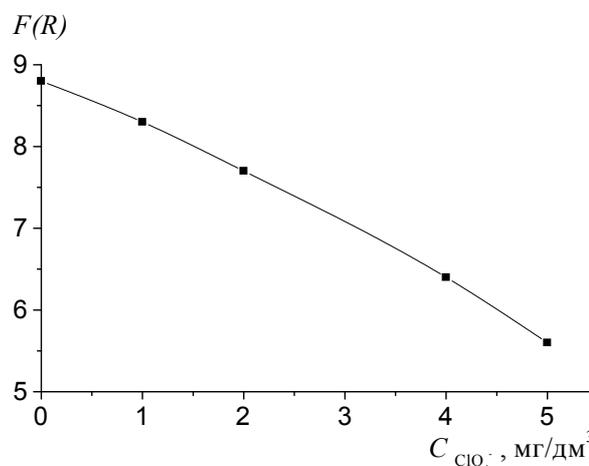


Рис. 3. Градуировочный график для определения перхлората методом диффузного отражения

Хемилюминесцентный метод. Обнаружено, что в системе $\text{Co(II)} - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{NaHCO}_3$ наблюдается хемилюминесценция. Наличие Р6Ж в названной системе усиливает хемилюминесценцию. Последний в данном случае является сенсбилизатором хемилюминесцентной реакции. Для косвенного определения ClO_4^- использован комплекс перхлората с Р6Ж. Найдено, что оптимальными, с точки зрения минимизации холостого опыта, являются концентрации $\text{Co(II)} - 3,3 \cdot 10^{-7}$, гидрокарбоната – 0,42, $\text{H}_2\text{O}_2 - 0,012$ М.

При исследовании возможности хемилюминесцентного определения перхлората использовали концентрирование ионной пары родамин – перхлорат на различных фильтрах. Найдено, что наиболее эффективными являются бумажные фильтры "красная лента" из-за низкого холостого опыта, а из опробованных красителей ряда родаминов (родамин Б, бутилродамин С, Р6Ж) – Р6Ж, образующий наиболее устойчивую ионную пару с перхлоратом. Изучение влияния рН для фильтрования этой ионной пары через бумажный фильтр показало, что в интервале рН 0,5 – 3 сигнал хемилюминесценции ИА на фильтрах остается постоянным, как и сигнал холостого опыта, а при дальнейшем повышении рН оба сигнала возрастают (рис. 4). Таким образом, наиболее оптимальный интервал рН фильтрования – 0,5 – 3. Для фильтрования нами выбрано значение рН 2,3. Создавали его при помощи фосфорной кислоты, которая оказалась предпочтительнее, чем серная, соляная и азотная, так как давала самый низкий холостой опыт. При рН 2,3 изучено влияние концентрации Р6Ж на сорбцию ИА Р6Ж – перхлорат на бумажных фильтрах. Результаты представлены на рис.5 (кривые 1, 2), из которого видно, что наиболее приемлемая концентрация Р6Ж – $6 \cdot 10^{-4}$ М. Таким образом, для образования ионной пары с перхлоратом необхо-

дима повышенная концентрация Р6Ж по сравнению с вышеописанным методом по диффузному отражению.

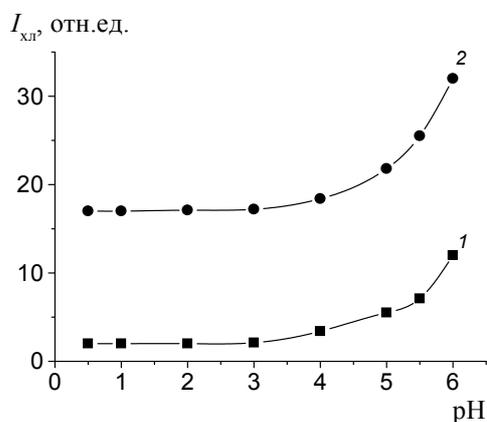


Рис. 4. Зависимость хемилюминесценции концентратов на бумажных фильтрах от pH фильтруемых растворов. Объем фильтруемого раствора – 56 см³; 1 – холостой опыт, 2 – $C_{\text{ClO}_4^-}$ – 100 мкг/дм³

Градуировочный график для определения перхлората хемилюминесцентным методом приведен на рис.5, кривая 3. ПрО перхлората – 10 мкг/дм³; график линеен в интервале 0,01 – 0,1 мг/дм³ ClO₄⁻.

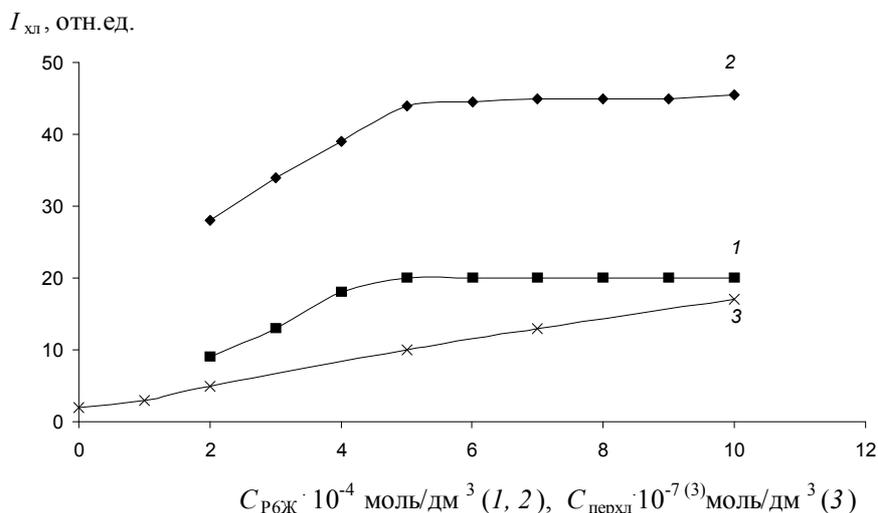


Рис. 5. Зависимость интенсивности хемилюминесценции концентратов на бумажных фильтрах от концентрации родамина 6Ж в фильтруемых растворах (1, 2). Объем фильтруемых растворов – 56 см³; 1 – холостой опыт, 2 – $C_{\text{ClO}_4^-}$ – 100 мкг/дм³, 3 – градуировочный график для определения перхлората хемилюминесцентным методом

Мешающее влияние компонентов матрицы вод и его устранение.

При изучении мешающего влияния было найдено, что определению ClO_4^- обоими методами препятствуют гуминовые вещества, анионные ПАВ, анионы MnO_4^- , CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, I^- и др. Для устранения мешающего влияния этих компонентов, а также для повышения чувствительности предложена предварительная сорбция ClO_4^- на сорбентах, модифицированных избирательным для перхлората ион-парным реагентом – децилтриметиламмонием [11]. В качестве сорбентов были испытаны силикагель L5/40 "для хроматографии" и стиролдвинилбензолный пористый сополимер Strata SDB-L с размером зерен 100 мкм и размером пор 20 нм. Перхлорат концентрировали из водных растворов, пропуская последние через полипропиленовые трубки, заполненные сорбентом. Вначале при помощи ПАВ модифицировали сорбенты в трубках, пропуская $2,5 \cdot 10^{-2}$ М раствор ДТБ, затем шприцем продавливали пробу воды (объемом 100 – 500 см³), содержащую ClO_4^- . Внутренний диаметр трубки составлял 5, толщина слоя сорбента – 14 мм. Элюировали концентрат перхлората в виде ионной пары с децилтриметиламмонием этанолом либо ацетоном. Ацетон оказался более эффективным, так как он лучше проникал в поры сорбента и количественно вымывал ионную пару. Смыть концентрата перхлората с сорбента SDB-L был полным при использовании лишь 1 см³ ацетона, а для смыва с силикагеля требовалось 4 см³ ацетона. Поэтому для дальнейшей работы выбран сорбент SDB-L.

Для устранения мешающего влияния компонентов матрицы использовали последовательное элюирование. Сорбент с концентратом промывали $2,5 \cdot 10^{-3}$ М раствором ДТБ в 15%-ном растворе ацетона в воде [14]. При этом примеси хлората, нитрата, гидрокарбоната, хлорида, бромида, сульфата смывались потоком раствора, а перхлорат оставался на сорбенте. Затем ионную пару перхлората с децилтриметиламмонием элюировали 1 см³ ацетона. При объеме пробы воды 100 см³ такой способ обеспечивал концентрирование в 5 раз, а при объеме пробы 500 см³ – в 25 раз. При использовании детектирования по диффузному отражению интервал линейности градуировки при определении ClO_4^- с концентрированием на SDB-L (объем пробы – 500 см³) составлял 20 – 800 мкг/дм³ и 0,4 – 4,0 мкг/дм³ – при использовании детектирования по хемилюминесценции. Относительная погрешность определения – не более 11 и 15% при использовании соответственно диффузного отражения и хемилюминесценции. Определению ClO_4^- в обоих случаях не мешали 10 000-кратные избытки NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , ClO_3^- и I^- мешали соответственно в количестве 1 и 0,1 мг/дм³. В питьевых водах их содержится значительно меньше.

Анализ поверхностных вод. При анализе поверхностных вод необходимо их предварительно освободить от взвешенных частиц фильтрованием через фильтр с размером пор 0,45 мкм. Для устранения растворенных органи-

ческих веществ пробы воды перед концентрированием на SDB-L пропускали через твердофазный патрон, содержащий нейтральный оксид алюминия. Если пробы характеризовались повышенными количествами гуминовых кислот (заметна коричневая окраска), то некоторая часть окрашенных веществ проходила через оксид алюминия и вызывала ложный сигнал, аналогичный сигналу перхлората. Гуматы устраняли, добавив к ацетоновому концентрату $0,02 \text{ см}^3$ $1,0 \text{ М}$ уксусной кислоты и 50 мг цинковой пыли, на время, необходимое для обесцвечивания, а далее пропускали через шприцевый фильтр-насадку с размером пор $0,45 \text{ мкм}$. Анализ выполняли методом стандартных добавок.

Методики определения перхлората в водах. Пробы воды ($50 - 500 \text{ см}^3$) предварительно освобождали от взвешенных примесей фильтрованием через фильтр с размером пор $0,45 \text{ мкм}$. Для устранения растворенных органических веществ пробу воды пропускали через твердофазный патрон, содержащий нейтральный оксид алюминия.

Твердофазный патрон с сорбентом SDB-L кондиционировали, пропуская через него ацетон, и медленно вытесняли его с помощью пустого шприца. Патрон промывали дистиллированной водой, далее быстро вытесняли воду воздухом. Добавляли $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ М}$ ДТБ и вытесняли его из патрона пустым шприцем. Через патрон фильтровали $50 - 500 \text{ см}^3$ подготовленной пробы, используя шприц. Далее через патрон пропускали воздух. Промывали патрон 5 см^3 $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ М}$ ДТБ в смеси ацетон (15%) – дистиллированная вода (85%). Промывной раствор вытесняли воздухом. Вводили в патрон 1 см^3 ацетона и медленно вытесняли его в стеклянный стаканчик. Для подготовки патрона к концентрированию следующей пробы его трижды промывали ацетоном (по 3 см^3). Затем 1 см^3 ацетонового концентрата досуха высушивали в стаканчике.

Определение с использованием диффузного отражения. Сухой остаток после высушивания ацетонового концентрата смывали 20 см^3 дистиллированной воды и переносили в коническую колбу на 100 см^3 , добавляли 3 см^3 $5,2 \cdot 10^{-3} \text{ М}$ ЦТГ, оставляли на 30 мин для образования белого ионного ассоциата $\text{ClO}_4^- - \text{ЦТ}$.

Окрашенную подложку готовили, фильтруя 20 см^3 $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ М}$ раствора Р6Ж через фильтр "синяя лента" диаметром $1,1 \text{ см}$ с помощью воронки Бюхнера. Далее через окрашенный фильтр пропускали раствор, содержащий образовавшийся белый ионный ассоциат $\text{ClO}_4^- - \text{ЦТ}$, и измеряли интенсивность диффузного отражения [15] белых пятен на красном фоне фильтра. Концентрацию ClO_4^- находили методом добавок.

Определение с использованием хемиллюминесцентного детектирования. Сухой остаток после высушивания ацетонового концентрата переносили в стакан при помощи 50 см^3 бидистиллированной воды и 1 см^3 $0,5 \text{ М}$ H_3PO_4 , приливали 5 см^3 $2 \cdot 10^{-3} \text{ М}$ Р6Ж, встряхивали 5 мин , фильтровали через бумажный фильтр "красная лента", промывали три раза по 10 см^3 биди-

стиллированной воды, затем фильтр переносили в кювету люминометра, прибавляли туда 0,5 см³ HCO₃⁻ (0,8 М), 0,5 см³ H₂O₂ (0,02 М) и регистрировали хемилюминесценцию при дозировании 0,5 см³ 1·10⁻⁶ М Со(II). Концентрацию ClO₄⁻ находили методом добавок.

В данном случае возможно также определение ClO₄⁻ не ХЛ-методом, а фотометрическим методом: дополнительным растворением полученного на фильтре концентрата ClO₄⁻ – Р6Ж в ацетоне и определением светопоглощения окрашенного раствора. Однако ХЛ-метод имеет преимущества по сравнению с фотометрическим:

– ХЛ-детектирование осуществляется непосредственно на поверхности фильтра, не требуется стадия дополнительного растворения концентрата, полученного на фильтре, для последующего фотометрического определения в растворе;

– ХЛ-определение в данном случае в 5 раз более чувствительно по сравнению с фотометрическим методом.

Анализ природных вод разработанными методами. Проанализированы водопроводная, речная (р. Днепр) и подземная воды методом спектроскопии диффузного отражения и ХЛ-методом. Введены добавки ClO₄⁻ – 1; 3 и 40 мкг/дм³. Результаты анализа водопроводной, речной и подземной вод двумя методами на содержание перхлората удовлетворительно совпадали (табл. 2).

Таблица 2. Результаты определения перхлората в водах (n = 5; P = 0,95)

Вода	Введено ClO ₄ ⁻ , мкг/дм ³	Найдено ClO ₄ ⁻ , мкг/дм ³		S _r	
		ХЛ-методом	методом спектроскопии диффузного отражения	ХЛ-методом	методом спектроскопии диффузного отражения
Водопроводная	0	<0,4	< 20	–	–
То же	1,0	1,1±0,1	< 20	0,09	–
" – "	3,0	3,2±0,2	< 20	0,06	–
" – "	40	38±4*	39±4	0,10	0,10
Речная	0	< 0,4	< 20	–	–
То же	1,0	1,2±0,1	< 20	0,08	–
" – "	3,0	3,1±0,2	< 20	0,06	–
" – "	40	39±5*	38±4	0,13	0,11
Подземная	0	< 0,4	< 20	–	–
То же	1,0	1,3±0,2	< 20	0,15	–
" – "	3,0	3,3±0,3	< 20	0,09	–
" – "	40	39±4*	42±3	0,10	0,07

*При анализе пробу разбавляли дистиллированной водой в 10 раз.

Выводы. В результате проведенных исследований разработаны фотометрический (с применением диффузного отражения) и хемилюминесцентный варианты определения перхлората в водах. Разработана методика определения перхлората в питьевых, поверхностных и подземных водах.

Исследования проведены в рамках проекта 3871, финансируемого совместно Украинским научно-технологическим центром и Национальной Академией наук Украины.

Резюме. Досліджено визначення мікрокількостей перхлорату і запропоновані методики його визначення у водах у вигляді іонного асоціату з цетилтриметиламонієм після сорбції білого осаду на забарвленому паперовому фільтрі та вимірювання дифузного відбиття, а також у вигляді іонного асоціату з родаміном 6Ж після його сорбування на фільтрі і вимірювання хемілюмінесценції, яка виникає після додавання реагентів хлориду кобальту (II), пероксиду водню, гідрокарбонату натрію. Для попереднього концентрування і відокремлення перхлорату від заважаючих домішок застосовано стандартні модифіковані сорбенти. Межа визначення перхлорату складає відповідно 20 і 0,4 мкг/дм³.

O.V. Zuy, N.F. Kushchevska, V.V. Goncharuk

EXTRACTION-FREE DETERMINATION OF PERCHLORATE TRACES IN WATER

Summary

Determination of perchlorate traces was studied and procedures of its determination were proposed as ion associate with cetyltrimethylammonium after sorption of white precipitate on colored paper filter and measurement of diffuse reflection as well as ion associate with Rhodamine 6G after its sorption on filter and measurement of intensity of chemiluminescence arising upon addition of reagents cobalt (II) chloride, hydrogen peroxide, sodium hydrocarbonate. For perchlorate preconcentration and separation from interfering species standard modified sorbents were used. Detection limit for perchlorate is 20 and 0.4 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ respectively.

1. *Urbansky E.T.* // Crit. Rev. Anal. Chem. – 2000. – **30**, N 4. – P. 311 – 343.
2. *Urbansky E.T.* // Bioremediation J. – 1998. – **2**, N 2. – P. 81 – 95.
3. *Environmental Protection Agency* // Pollut.Eng. – 2005. – **37**, N 4. – P. 8.
4. СанПиН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 67 с.
5. СанПиН 2.1.4.559-96. Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996. – 111 с.
6. *National Research Council.* Health Implications of Perchlorate Ingestion. – Washington: National Acad. Press, 2005. – 276 p.
7. *Chendrick C.E., Berger B.A.* // Anal. Chem. – 1966. – **38**, N 6. – P. 791 – 793.
8. *Пилипенко А.Т., Гакал Р.К.* // Укр. хим. журн. – 1974. – **40**, № 5. – С. 528 – 533.
9. *Jaya S., Prasada Rao T., Ramakrishna T.V.* // Talanta. – 1983. – **30**, N 5. – P. 363 – 364.
10. *Hautman D.P., Munch D.J., Eaton A.D., Haghani A.W.* Method 314.0. Determination of perchlorate in drinking water using ion chromatography. Revision 1.0. – Cincinnati: Environmental Protection Agency, 1999. – 28 p.
11. *Magnuson M.L., Urbansky E.T., Kelty C.A.* // Anal. Chem. – 2000. – **72**, N1. – P. 25 – 29.
12. *Cyganski A., Kowalczyk P., Krystek J., Ptaszynski B.* // Chem. Anal. (Poland). – 2000. – **45**, N 6. – S.911 – 919.
13. *Xu G., Dong S.* // Electrochem. Commun. – 1999. – **1**. – P. 463 – 466.
14. *Thorne P.G.* // ERDC / CRREL Technical Report. – Hanover: Eng. Res. and Development Center, 2004. – 38 p.
15. *Швоева О.П., Трутнева Л.М., Саввин С.Б.* // Журн. аналит. химии. – 1989. – **44**, № 11. – С.2084 – 2087.

Ин-т коллоид. химии и химии воды
им. А.В. Думанского НАН Украины,
г. Киев

Поступила 07.05.2007