

УДК 543.422.7 : 543.34

ОПТИЧЕСКИЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ ОТВЕРЖЕННОГО ЖЕЛАТИНОВОГО ГЕЛЯ ДЛЯ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУЛЬФАТОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

© 2010 Е. А. Решетняк, В. Е. Асмолов, Н. Н. Немец, Н. А. Никитина

Показана возможность применения нитроортанилового С (нитхромазо), иммобилизованного в отвержденном желатиновом геле, в качестве реагента для косвенного фотометрического определения сульфатов в водах. Методика определения основана на взаимодействии прозрачного чувствительного элемента синего цвета с избытком бария, оставшимся в 5%-ном водно-этанольном растворе при рН 1.5 после реакции с ионами SO_4^{2-} . Градуировочная зависимость линейна в интервале концентраций сульфат-ионов 1.5-9 мг/л, предел определения — 0.97 мг/л.

Ключевые слова: сульфат-ионы, косвенное фотометрическое определение, нитхромазо, отвержденный желатиновый гель, оптический сенсор.

Содержание сульфат-ионов в водах разной природы является одним из важных показателей их качества. Наиболее распространенными методами определения высоких и средних содержания сульфатов являются гравиметрический, титриметрический и турбидиметрический методы [1-5]. Для контроля малых концентраций SO_4^{2-} обычно используют косвенное фотометрическое определение, основанное на разрушении сульфат-ионами окрашенного комплекса бария с органическим реагентом и образовании BaSO_4 , что приводит к изменению окраски раствора. В качестве органических реагентов применяют бисазозамещенные хромотроповой кислоты: арсеназо III; ортаниловые А, Б, С, К, НМ; нитроортаниловые А, Б, К, С (нитхромазо); карбоксиарсеназо и др. Реагенты образуют с барием комплексы состава 1 : 1 в водно-ацетоновых растворах при рН водной фазы от 1 до 4 [6, 7].

Реагенты сохраняют свои свойства и после иммобилизации на сорбентах, например, на волокнистых ионообменных материалах, на этом основано сорбционно-спектроскопическое определение сульфатов [8]. Цветная реакция бария с арсеназо III, ортаниловым Б или ортаниловым К идет на твердой фазе, приготовленной в виде диска. Эффект изменения окраски диска после взаимодействия с ионами SO_4^{2-} фиксируется с помощью прибора или визуально. Такие тканевые материалы, наполненные ионообменником, разработчики назвали непрозрачными оптическими химическими сенсорами [9].

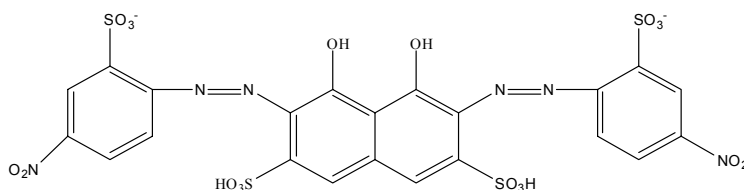
В ряде случаев в практике анализа более удобными могут быть прозрачные оптические химические сенсоры на основе полимеров. Иммобилизация реагента может проводиться путем его ковалентного связывания с материалом матрицы либо за счет физической сорбции. В результате ковалентной иммобилизации были получены чувствительные элементы на основе триацетилцеллюлозной пленки и на основе полистирола [9]. На гидролизованную поверхность триацетилцеллюлозной пленки прививали кислотнo-основные индикаторы посредством ацилирующего реагента (цианурхлорида). Из гранулированного полистирола путем прессования получали оптически прозрачные матрицы, на поверхности которых «собирали» реагенты — последовательно выполняли процедуры нитрования, восстановления, диазотирования и азосочетания с органическими реагентами класса моноазохромотроповой кислоты [9]. Однако подобные оптические сенсоры не нашли широкого применения, что связано с определенными трудностями выполнения процедуры химической иммобилизации соединений.

Одним из перспективных оптически прозрачных материалов является отвержденный желатиновый гель, нанесенный на подложку, изготовленную из прозрачного полимера, например, из эфиров целлюлозы. Наличие в желатине (биополимере) фрагментов аминокислот позволяет не только регулировать степень гидрофильности матрицы и ее набухание в воде, но также исключить возможность ее бактериальной деградации и существенно расширить круг способов иммобилизации органических реагентов [9]. Желатин — типичный амфолит, изоэлектрическая точка щелочного желатина находится в интервале рН 4.8-5.1. При рН < 5 суммарный сеточный заряд желатиновой матрицы положительный, а при рН > 5 — отрицательный.

За последние 10 лет появилось немало публикаций, авторы которых использовали для изготовления чувствительных элементов готовые желатиновые слои черно-белой фотографической

пленки. Чтобы отвержденный желатиновый гель был бесцветным и прозрачным, из него полностью удаляли галогениды серебра, последовательно обрабатывая фотопленку растворами $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (или цитрата натрия), $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Затем в подготовленную пленку вводили кислотнo-основные [10, 11] или металлоиндикаторы [9, 11-16], первичные ароматические амины [17-18]; синтезировали в желатиновом слое азокрасители для дальнейшего определения нитритов [19]. Было установлено, что желатиновая матрица в чувствительных элементах имеет пористую структуру и высокую степень гидратации: 1 дм³ желатинового геля может удерживать до 38 моль воды, ассоциация или агрегация иммобилизованных реагентов в фазе геля отсутствует, на 1 моль реагента может приходиться более 100 моль воды [16]. Концентрация иммобилизованного реагента в объеме геля может быть в десятки раз больше его концентрации в исходном растворе [10, 16]. В результате высокой «оводнённости» желатинового геля можно ожидать, что поведение реагента в пленке будет подобным его поведению в водных растворах. Однако, выбирая оптимальные условия иммобилизации реагентов, необходимо учитывать их заряд и гидрофобность.

Представляет интерес изучение особенностей протекания цветной реакции ионов бария с органическим реагентом в среде отвержденного желатинового геля с целью разработки более простой, удобной, экологически безопасной методики фотометрического определения малых содержаний сульфат-ионов в водах. Для исследования выбран один из наиболее чувствительных металлоиндикаторов группы бисазозамещенных хромотроповой кислоты — нитроортаниловый С или нитхромазо (бис-[2,7-(4-нитро-2-сульфо-1-азобензол)]-1,8-диоксинафталин-3,6-дисульфокислота):



Экспериментальная часть

Использовали реактивы квалификации х.ч. или ч.д.а. Исходные растворы 0.1 моль/л BaCl_2 , 0.05 моль/л Na_2SO_4 , 0.1% ($1.28 \cdot 10^{-3}$ моль/л) нитхромазо и 1 моль/л NaF готовили, растворяя точные навески в дистиллированной воде. Рабочие растворы готовили разбавлением исходных. Нужную кислотность создавали добавками раствора 0.1 моль/л HCl . Ацетон и этанол применяли без дополнительной очистки.

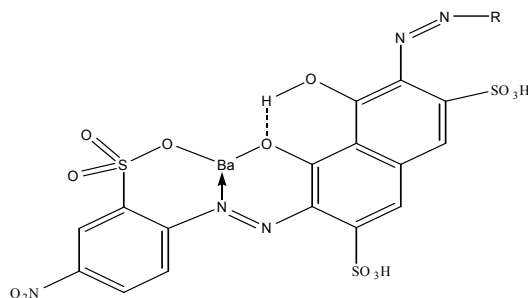
В случае стандартного фотометрического определения SO_4^{2-} градуировочные растворы готовили в мерных колбах вместимостью 25 мл, последовательно смешивая 15 мл ацетона, 0.8 мл раствора 0.1 моль/л HCl , 0.6 мл раствора $1.0 \cdot 10^{-3}$ моль/л BaCl_2 , 0.5 мл раствора реагента с массовой долей 0.1%, от 1.7 до 6.0 мл раствора $1.0 \cdot 10^{-4}$ моль/л Na_2SO_4 и разбавляя водой до метки. Объемная доля ацетона составляла 60%, pH — 2.5. Раствор сравнения содержал все компоненты за исключением Na_2SO_4 . Начальные концентрации нитхромазо (R) и Ba^{2+} в растворах были равными ($2.5 \cdot 10^{-5}$ моль/л), следовательно, такой же была концентрация комплекса BaR в растворе сравнения, а в градуировочных растворах $c(\text{BaR})$ постепенно снижалась от $2.5 \cdot 10^{-5}$ до $1.0 \cdot 10^{-6}$ моль/л.

Для изготовления чувствительных элементов использовали фотографическую пленку для офсетной печати фирмы AGFA с толщиной желатинового слоя ~ 20 мкм [20], из которого полностью удаляли галогениды серебра. Образцы пленок размером 2.5×3.5 см были бесцветными и прозрачными. Триацетилцеллюлозная основа покрыта щелочным желатином, это мы установили, оценив значение pH изоэлектрической точки желатина 4.75 ± 0.06 [21]. Извлечение реагента в желатиновую матрицу проводили из солянокислого раствора с молярной концентрацией нитхромазо $1.0 \cdot 10^{-4}$ моль/л (0.008%) и pH 1.5. Пленки погружали в раствор на 30 мин, затем извлекали из раствора, промывали дистиллированной водой и сушили на воздухе. Равномерно окрашенные в синий цвет образцы хранили при комнатной температуре в темном закрытом месте.

Спектрофотометрические измерения проводили на фотометре КФК-3, используя односантиметровые кюветы. При фотометрировании пленок их закрепляли в держателе непосредственно в кюветном отделении прибора.

Результаты и их обсуждение

Строение продукта взаимодействия ионов бария с нитхромазо можно представить следующей формулой (R — остаток второй диазосоставляющей) [7]:



В связи с симметричностью строения нитхромазо принимать ту или иную группировку из двух за основную функциональную можно только условно. В результате комплексообразования симметричность хромофорной системы в хелате нарушается. Это приводит не только к сильному сдвигу максимума поглощения, но и появлению второй, более слабой полосы поглощения ([22], рис. 1). Максимум, соответствующий большему углублению окраски ($\lambda = 640$ нм), приписывают функционально-аналитической группе, непосредственно связанной с металлом. Второй максимум спектра поглощения ($\lambda \sim 600$ нм) относят к хромофорному центру (сопряженной системе), непосредственно не связанному с элементом. Эта группа, благодаря значительному влиянию первой функционально-аналитической группы, переходит в другое ионное состояние [23]. Чувствительность реакции возрастает в 50-70%-ных водно-этанольных или водно-ацетоновых растворах при pH 1.5-3.5; константа устойчивости комплекса BaR, вычисленная по методу Комаря-Толмачева, равна $4.21 \cdot 10^3$ [6, с. 77-78].

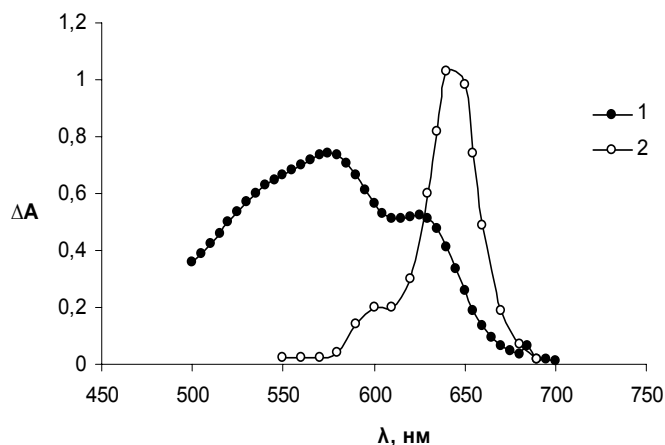


Рис. 1. Спектры поглощения водно-ацетоновых растворов нитхромазо (1) и комплекса (2) ($c(R) = c(\text{Ba}^{2+}) = 2.5 \cdot 10^{-5}$ моль/л, pH 2.5, $\varphi_{\text{ацетона}} = 60\%$).

В присутствии сульфат-ионов комплекс бария с реагентом разрушается, интенсивность бирюзовой окраски комплекса в растворе уменьшается, а интенсивность синей окраски реагента нарастает. Этот процесс происходит во времени и, в зависимости от концентрации SO_4^{2-} , может достигать полутора часов [6]. На основании зависимости, приведенной на рис. 2, было установлено, что для завершения реакции достаточно выдержать растворы после смешивания всех компонентов 25 мин, а затем проводить фотометрирование.

Линейность градуировочного графика при $\lambda = 640$ нм выполнялась в диапазоне концентраций SO_4^{2-} $(0.7-2.4) \cdot 10^{-5}$ моль/л или 0.7-2.3 мг/л, (молярный коэффициент поглощения

$\varepsilon = (3.3 \pm 0.4) \cdot 10^4$, $R^2 = 0.989$) (рис. 3). Значение предела определения сульфатов, оцененное согласно рекомендациям ИЮПАК [24], составило $6.7 \cdot 10^{-6}$ моль/л или 0.64 мг/л.

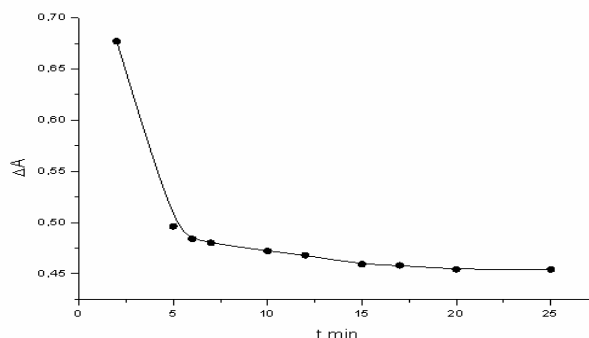


Рис. 2. Скорость разрушения комплекса BaR в водно-ацетоновом растворе в присутствии ионов SO_4^{2-} ($c(\text{BaR}) = 2.5 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $c(\text{SO}_4^{2-}) = 1.1 \cdot 10^{-5}$ моль/л, pH 2.5, $\varphi_{\text{ацетона}} = 60\%$, $\lambda = 640$ нм).

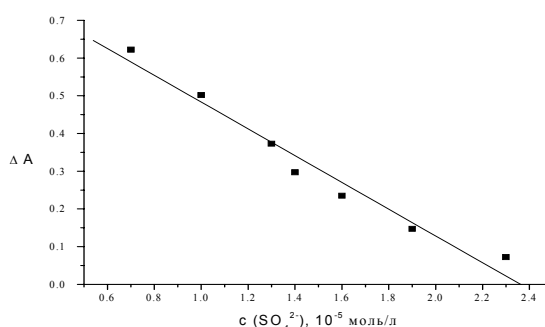


Рис. 3. Зависимость поглощения комплекса BaR в водно-ацетоновом растворе от концентрации SO_4^{2-} ($c(\text{BaR}) = 2.5 \cdot 10^{-5}$ моль/л, pH 2.5, $\varphi_{\text{ацетона}} = 60\%$, $\lambda = 640$ нм, $l = 1$ см).

Иммобилизация нитхромазо и комплекса бария с нитхромазо в желатиновом геле. В ходе исследований было установлено, что из солянокислых растворов извлекается в пленку как сам реагент, окрашивая ее в синий цвет, так и комплекс, окрашивая пленку в бирюзовый цвет. Благодаря наличию анионных сульфогрупп, одна из которых входит в функционально-аналитическую группу реагента, отрицательно заряженные формы реагента и комплекса удерживаются в пленке, в основном, за счет электростатического взаимодействия с желатиновой матрицей. Наиболее удачные, равномерно окрашенные пленки получали, если концентрация HCl в модифицирующем растворе была 0.03 моль/л (pH 1.5). Применение раствора реагента в 10%-ой уксусной кислоте (как это предлагалось авторами [14]) приводило к появлению разводов и пятен на пленках.

На рис. 4 приведены спектры поглощения реагента и комплекса в желатиновой пленке. Положение максимумов в их спектрах поглощения сместилось в длинноволновую область по сравнению с водно-ацетоновым раствором: для нитхромазо $\Delta\lambda = 23$ нм ($\lambda_{\text{max, p-p}} = 570$ нм, $\lambda_{\text{max, желатин}} = 593$ нм), для комплекса $\Delta\lambda = 35$ нм ($\lambda_{\text{max, p-p}} = 640$ нм, $\lambda_{\text{max, желатин}} = 675$ нм). Мы убедились, что значение $\lambda_{\text{max, желатин}}$ зависит от соотношения концентраций ионов бария и нитхромазо в растворе, в который погружали бесцветные пленки: по мере уменьшения избытка Ba^{2+} по сравнению с реагентом вид спектра поглощения комплекса становился подобным его спектру в растворе с равными концентрациями BaCl_2 и нитхромазо (табл. 1, рис. 1). Аналогичный эффект наблюдали для водно-органических сред [6, с. 79] — при различных соотношениях бария и реагента (бис-азопроизводного хромотроповой кислоты) спектры поглощения комплекса существенно отличались, поэтому полученные значения λ_{max} и молярные коэффициенты поглощения авторы предлагали считать условными.

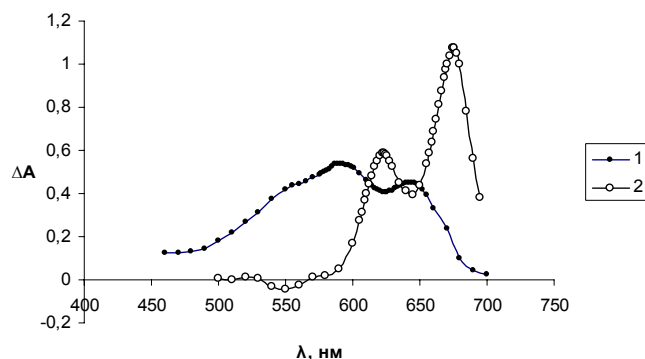


Рис. 4. Спектры поглощения реагента (1) и комплекса (2) в желатиновой пленке. (Концентрации в растворах: 1) $c(R) = 1.0 \cdot 10^{-4}$ моль/л, pH 1.5; 2) $c(R) = 1.0 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $c(\text{Ba}^{2+}) = 0.05$ моль/л; pH 1.5).

Таблица 1. Значения длины волны в максимуме спектра поглощения комплекса, импрегнированного из водного раствора с различным соотношением концентраций ионов бария и нитхромазо (pH 1.5)

$c(\text{Ba}^{2+}) / c(R)$	500	450	350	300	200	150	100	40	4
$\lambda_{\text{max, желатин}}, \text{ нм}$	675	670	666	650	644	642	640	640	640

Применение модифицированных желатиновых пленок (чувствительных элементов) для спектрофотометрического определения сульфатов. При погружении пленок с иммобилизованным комплексом в солянокислый раствор (pH 1.5), не содержащий ионов SO_4^{2-} , их цвет сразу менялся из бирюзового в синий. Это можно объяснить невысокой прочностью комплекса бария с нитхромазо. Разрушение комплекса не удалось предотвратить, вводя добавки катионного ПАВ. Таким образом, вариант определения сульфатов по разрушению комплекса бария в отвержденном желатиновом геле нам осуществить не удалось. Описанная в [14] методика фотометрического определения SO_4^{2-} предусматривала погружение в водно-этанольные растворы ($\varphi_{\text{спирта}} = 50\%$) чувствительных элементов на основе фотопленки с иммобилизованным комплексом. Раствор объемом 0.6 мл наливали в кювету с толщиной поглощающего слоя 0.1 см, туда же помещали образец пленки и через 10 мин, не вынимая образец, измеряли уменьшение поглощения при $\lambda = 660$ нм. Однако авторы не приводят спектров поглощения, не указывают, менялся ли цвет пленки и цвет раствора в процессе реакции, не уточняют условий пробоподготовки.

Объектом исследования стал другой вариант методики — образование BaSO_4 в растворе и определение избыточного бария по реакции с реагентом, иммобилизованным в пленке. Подобный подход был реализован с использованием полиакрилонитрильного волокна, наполненного полиамфолитом АНКБ-50: избыток бария сорбировали и детектировали на твердой фазе (регистрали диффузное отражение) [8]. Перед детектированием на диск наносили 5 капель 0.1%-ного раствора арсеназо III, при этом окраска диска изменялась от фиолетово-синей к фиолетовой. Для снижения растворимости BaSO_4 и улучшения сорбции Ba^{2+} все операции проводили в 5%-ном водно-ацетоновом растворе. Для стабилизации суспензии растворы, полученные после смешивания с хлоридом бария, выдерживали час.

Мы учли рекомендации [8], но заменили водно-ацетоновые растворы на 5%-ные водно-этанольные. Синие желатиновые пленки с иммобилизованным реагентом погружали в раствор с постоянной (и избыточной) концентрацией бария и переменной концентрацией сульфатов. Добавление спирта улучшало качество окраски пленок. Растворы, полученные после смешивания, выдерживали час. Факт образования комплекса в пленке можно было доказать только фотометрически. Зрительно изменение окраски не наблюдали. При больших концентрациях SO_4^{2-} в растворе появлялась взвесь, которая оседала на поверхности пленок. Варьируя концентрации бария и сульфата в растворе, было найдено оптимальное соотношение: $c(\text{Ba}^{2+}) = 2.4 \cdot 10^{-4}$ моль/л (33 мг/л), $c(\text{SO}_4^{2-}) = (1.5-9)$ мг/л или $(1.6-2.4) \cdot 10^{-5}$ моль/л, pH 1.5.

Методика выполнения эксперимента. Для приготовления градуировочных растворов в мерные колбы вместимостью 25 мл вносили 7.5 мл раствора 0.1 моль/л HCl, 1.3 мл этанола, 6.0 мл раствора $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л BaCl_2 и необходимые объемы рабочего раствора Na_2SO_4 для соз-

дания указанных выше концентраций SO_4^{2-} . Параллельно готовили раствор сравнения, не содержащий сульфат-ионов. Растворы доводили до метки водой, перемешивали, выдерживали час и выливали в чашки Петри. В растворы погружали на 15 мин. желатиновые пленки с иммобилизованным нитхромазо, пленки подсушивали на воздухе и фотометрировали при $\lambda=640$ нм относительно бесцветной пленки. Находили разности светопоглощений, вычитая из величины поглощения комплекса в пленке, выдержанной в растворе сравнения, значение поглощения комплекса в пленке, выдержанной в градуировочном растворе: $\Delta A_i = A_{\text{BaR}, \text{max}} - A_{\text{BaR}, i}$.

На рис. 5 приведен график градуировочной зависимости с коэффициентом чувствительности $(5.6 \pm 0.6) \cdot 10^4$ и коэффициентом корреляции $R^2 = 0.990$. Значение предела определения ионов SO_4^{2-} составило 0.97 мг/л или $1.0 \cdot 10^{-5}$ моль/л

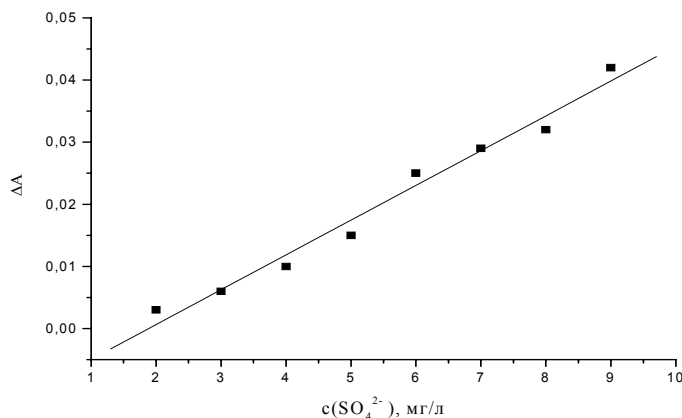


Рис. 5. Зависимость поглощения комплекса BaR в отвержденном желатиновом геле при $\lambda = 640$ нм от концентрации SO_4^{2-} в водно-этанольном растворе (в растворе: $c(\text{R}) = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $c(\text{Ba}^{2+}) = 2.4 \cdot 10^{-4}$ моль/л, pH 1.5, $\varphi_{\text{спирта}} = 5\%$).

Методику применили для определения сульфат-ионов в пробах подземных попутно-пластовых вод (воды глубокого залегания) восточной части Днепровско-Донецкого водонапорного бассейна. Эти воды относятся к сульфатно-гидрокарбонатному типу с высокой минерализацией и pH ~ 5-6. Растворимые органические вещества и фосфаты в них практически отсутствуют. Для анализа было предоставлено три пробы воды из районов добычи газа в Харьковской области: №1 — Березовская скважина (с глубины 4500 м), №2 — Богатойская скважина (с глубины 4000 м), №3 — Вишневская скважина (на устье). Воду фильтровали, разбавляли, отбирали аликвоту в мерную колбу вместимостью 25 мл, добавляли спирт, растворы HCl, BaCl₂, 1 мл раствора 1 моль/л NaF (для устранения мешающего влияния Fe(III)) и доводили дистиллированной водой до метки. Далее поступали согласно выше описанной методики.

Результаты фотометрического определения сульфатов в анализируемых пробах воды двумя методами представлены в табл. 2. Относительная погрешность результатов определения с применением модифицированных пленок не превысила 5%, систематической погрешности не обнаружено.

Таким образом, применение оптических сенсоров на основе отвержденного желатинового геля с иммобилизованным реагентом нитхромазо позволяет упростить методику фотометрического определения сульфатов — нет необходимости приготовления каждый раз градуировочных растворов, оптические свойства модифицированных пленок сохраняются в течение длительного времени, по крайней мере, год. Замена водно-ацетоновых и водно-спиртовых растворов с объемной долей растворителя 50-60% на 5%-ные водно-этанольные растворы выгодно отличает предлагаемую методику с точки зрения экологической безопасности. Диапазон определяемого содержания ионов SO_4^{2-} в четыре раза шире, чем у стандартной методики, а пределы определения отличаются всего в 1.5 раза.

Таблица 2. Результаты фотометрического определения сульфатов в пробах природной воды стандартным методом (на основе водно-ацетоновых растворов) и с применением оптических сенсоров ($P = 0.95, n = 3$).

Проба	Стандартный метод		Применение оптических сенсоров	
	$c(\text{SO}_4^{2-}), \text{мг/л}$	s_r	$c(\text{SO}_4^{2-}), \text{мг/л}$	s_r
№1	210 ± 12	0.013	230 ± 45	0.05
№2	84 ± 4	0.011	80 ± 11	0.03
№3	1380 ± 11	0.002	1370 ± 125	0.02

Литература

1. Кульский Л.А., Гороновский И.П., Когановский А.М., Шевченко М.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. Часть I. Киев: Наукова думка, 1980. 680 с.
2. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. 448 с.
3. Унифицированные методы исследования качества вод. Часть I. Методы химического анализа вод. М.: Изд-во СЭВ, 1987. 1244 с.
4. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. М.: Протектор, 1995. 624 с.
5. Вода питна. Нормативні документи: довідник у 2 т. / За ред. В.І. Іванова. Львів: НТЦ «Леонорм-стандарт», 2001. Т. 2. 234 с.
6. Саввин С.Б., Дедкова В.П., Акимова Т.Г. Органические реагенты для определения Ba^{2+} и SO_4^{2-} . М.: Наука, 1971. 192 с.
7. Дедков Ю.М., Корсакова Н.В., Сычкова В.А. Журн. аналит. химии. 2006. Т. 61. № 12. С. 1254-1263.
8. Швоева О.П., Дедкова В.П., Саввин С.Б. Журн. аналит. химии. 2008. Т. 63. № 7. С. 683-686.
9. Савин С.Б., Кузнецов В.В., Шереметьев С.В., Михайлова А.В. Рос. хим. журн. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2008. Т. 52. С. 7-16.
10. Решетняк Е.А., Никитина Н.А., Логинова Л.П., Мchedlov-Petrosyan N.O., Svetlova N.V. Вестн. Харьк. нац. ун-та. 2005. № 669. Химия. Вып. 13 (36). С. 67-82.
11. Никитина Н.А. Дис. ... канд. хим. наук. Харьков, ХНУ им. В.Н. Каразина, 2006. 140 с.
12. Шереметьев С.В. Дис. ... канд. хим. наук. Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2006. 194 с.
13. Решетняк Е.А., Никитина Н.А., Кармазина В.Э. Вестн. Харьк. нац. ун-та. 2007. № 770. Химия. Вып. 15(38). С. 119-125.
14. Кузнецов В.В., Савин С.Б., Шереметьев С.В. Зав. лаб. Диагностика материалов. 2007. Т. 73. №10. С. 11-13.
15. Решетняк Е.А., Немец Н.Н., Светлова Н.В., Никитина Н.А. Тез. докл. VIII Укр. конф. по аналит. химии. Одесса. 2008. С. 124.
16. Кузнецов В.В., Шереметьев С.В. Журн. аналит. химии. 2009. Т.64. №9. С. 910-919.
17. Логинова Л.П., Нестеренко О.Ю. Вестн. Харьк. нац. ун-та. 2006. № 731. Химия. Вып. 14(37). С. 112-119.
18. Коновалова О.Ю., Логинова Л.П. Методы и объекты хим. анализа. 2008. Т. 3. №2. С. 147-156.
19. Шереметьев С.В., Кузнецов В.В. Журн. аналит. химии. 2007. Т. 62. №4. С. 357-363.
20. Джеймс Т. Теория фотографического процесса. Л.: Химия, 1980. 672 с.
21. Reshetnyak E.A., Nikitina N.A., Mchedlov-Petrosyan N.O., Svetlova N.V. Тез. докл. Междунар. конф. «Modern physical chemistry for advanced materials». Харьков, 2007. Р. 293-295.
22. Умланд Ф., Янсен А., Тириг Д., Вюнш Г. Комплексные соединения в аналитической химии. Теория и практика применения. М.: Мир, 1975. 536 с.
23. Саввин С.Б. Журн. аналит. химии. 1962. Т. 17. №7. С. 785-794.

24. Lloyd A. Currie. Pure & Appl. Chem. 1995. Vol. 67. №10. P. 1699-1723.

Поступила в редакцию 16 марта 2010 г.

О. О. Решетняк, В. Е. Асмолов, Н. М. Немец, Н. О. Никитина. Оптический сенсор на основе отвержденного желатинового геля для фотометричного визначення сульфатів у водних середовищах.

Показана можливість використання нітроортанілового С (нітхромазо), іммобілізованого в отверженому желатиновім гелі, в якості реагенту для непрямого фотометричного визначення сульфатів у водах. Методика визначення заснована на взаємодії прозорого чутливого елемента синього кольору з надлишком барію, що залишився в 5%-вом водно-етанольному розчині при рН 1.5 після реакції з іонами SO_4^{2-} . Градувальна залежність лінійна в інтервалі концентрацій сульфат-іонів 1.5-9 мг/л, межа визначення — 0.97 мг/л.

Ключові слова: сульфат-іони, непряме фотометричне визначення, нітхромазо, отверджений желатиновий гель, оптичний сенсор.

E. A. Reshetnyak, V. E. Asmolv, N. N. Nemets, N. A. Nikitina. Optical sensor on the basis of hardened gelatinous gel for the photometric determination of sulfates in aqueous media.

The possibility to use Nitroorthanilic C (nitchromazo), immobilized in hardened gelatinous gel, as the reagent for indirect photometric determination of sulfates in water was examined. The method is based on the interaction of transparent blue sensor with barium excess, remaining in 5% water/ethanol solution (pH 1.5) after the reaction with sulfate ions. The calibration curve is linear in the concentration range of sulfate ions 1.5–9 mg/l, determination limit is 0.97 mg/l.

Key words: sulfate ions, indirect photometric determination, nitchromazo, hardened gelatinous gel, optical sensor.

Kharkov University Bulletin. 2010. № 895. Chemical Series. Issue 18(41).