

УДК 547.567.5 + 543.241

А. П. Авдєєнко¹, Ю. П. Холмовой¹, С. О. Коновалова¹, І. Ю. Якименко²¹ Донбаська державна машинобудівна академія, кафедра хімії і ОП, вул. Академічна, 72, Краматорськ, 84313, Україна, e-mail: chimist@dgma.donetsk.ua² ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», кафедра фармації та технології органічних речовин, пр. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005, Україна

НОВІ КИСЛОТНО-ОСНОВНІ ІНДИКАТОРИ: ДОСЛІДЖЕННЯ НА СМАРТФОНІ

Запропоновано нові кислотно-основні індикатори – *N*-арилсульфоніл-2-ароїламідо-1,4-бензо(нафто)хінонмоноіміни і 2,5-добензоїламідо-1,4-бензохінон, що мають дуже вузький інтервал переходу кольору (від 0,10 до 0,61 одиниць рН) і «працюють» в інтервалі рН від 8,82 до 11,35. Розчини даних сполук в лужному середовищі мають яскраві, інтенсивні кольори, що обумовлено утворенням мезомерних іонів. Це дозволяє використовувати запропоновані індикатори у титруванні слабких кислот сильними основами і навпаки за методом нейтралізації. Розроблено установку і методику зручного і високоточного одночасного визначення рН середовища і кольору кислотно-основних індикаторів за допомогою смартфона з подальшою обробкою результатів комп'ютерним програмним забезпеченням, що дозволяє точно визначити зміни кольорних характеристик при зміні рН середовища і побудувати графічні залежності кольору від рН.

Ключові слова: хінонімін, 1,4-бензохінон, кислотно-основний індикатор, кислотно-основне титрування, смартфон.

Один із напрямів сучасної аналітичної хімії полягає у створенні простих у використанні та доступних засобів хімічного аналізу. Важливими методами, що стимулюють розвиток цієї тенденції, є колориметрія, спектрофотометрія та візуальна колориметрія. З поширенням цифрових фотографій, настільних сканерів та інших мобільних пристроїв, здатних реєструвати зображення об'єкта та його кольорові характеристики, з'явився швидкий, об'єктивний та автоматизований спосіб оцінки кольорових характеристик забарвлених зразків [1].

З 2007 року з'являється перші статті про використання в цій ролі стільникових телефонів і смартфонів, які зараз займають лідируючу позицію за кількістю публікацій [2]. Завдяки цифровій техніці стає можливим експресний, об'єктивний і автоматизований аналіз кольорових твердих зразків і розчинів [3].

Звичайні лабораторні інструменти аналізу складно транспортувати, вони не є мобільними, використання цих засобів обмежує проведення аналізу *in situ*. Смартфони не мають цього недоліку, їхні властивості та особливості швидко розвиваються, тому їх використання в хімічному аналізі з кожним днем стає все більш поширеним. Смартфони використовуються в екологічній епідеміології, для вимірювання каламутності води, в автоматизації та моделюванні, в медичній науці [4]. Причому вони використовуються не тільки для оптичного виявлення хімічних та біохімічних речовин, але і для проведення електрохімічних вимірювань.

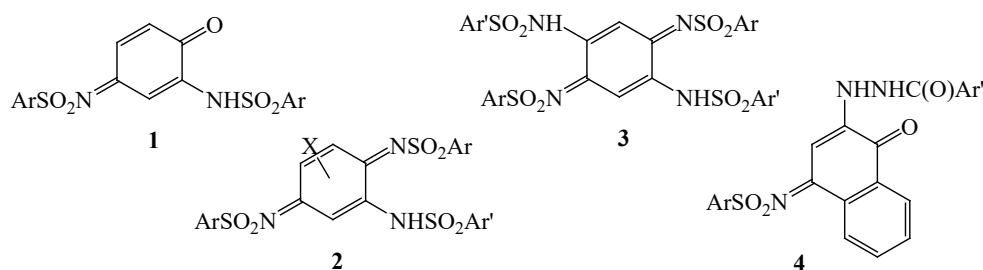
В аналітичній хімії при проведенні кислотно-основних титрувань важливе значення мають характеристики індикаторів, які використовуються при титруванні, зокрема, їх інтервал рН переходу кольору [5]. Широко застосовуються кислотно-

основні індикатори, що мають хінонімінну будову: метиловий фіолетовий, метиловий зелений, алізариновий червоний, алізариновий зелений. Але недоліком більшості індикаторів, і зокрема, хінонімінних, є широкий інтервал переходу кольору (від 1 до 3 одиниць рН) при зміні рН середовища [6].

Раніше в якості кислотно-основних індикаторів запропоновані *N*-арилсульфоніл-2-арилсульфоніламідо-1,4-бензохіноніміни **1** [7], 3-арилсульфоніламідопохідні *N, N'*-біс-арилсульфоніл-1,4-бензохінондіімінів **2** і **3** [8], нафтопохідні **4** [6] (схема 1), які мають вузький інтервал переходу кольору, що не перевищує однієї одиниці рН.

Схема 1

Schema 1



Хіноніміни **1** мають інтервали переходу кольору в межах $2,9 \leq \text{pH} \leq 4,1$, хіноніміни **2, 3** – в межах рН від 3,1 до 5,8, тобто вони можуть бути використані тільки для титрування сильних кислот слабкими основами і навпаки. Інтервал рН переходу кольору хінонімінів **4** лежить в межах рН 6,1–7,8, тому вони найбільш підходять для титрування сильних кислот сильними основами і навпаки.

В об'ємному методі аналізу методом нейтралізації часто доводиться титрувати слабкі кислоти сильними основами, що потребує використання кислотно-основних індикаторів, які змінюють колір в лужному середовищі, тобто при рН, значно вищих за 7.

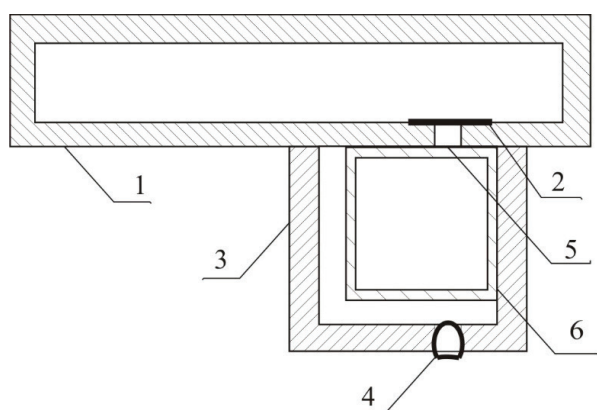
Метою даної роботи є пошук нових кислотно-основних індикаторів, які змінюють колір в лужному середовищі і мають вузький інтервал рН переходу кольору. При зоровому визначенні інтервалу рН переходу кольору існує значна похибка. Для усунення цього недоліку визначення інтервалу рН переходу кольору запропоновано реєструвати смартфоном з наступною обробкою отриманих даних комп'ютерним програмним забезпеченням.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

N-Арилсульфоніл-2-ариламідо-1,4-бензохіноніміни **5a-5h** та *N*-тозил-2-ариламідо-1,4-нафтохіноніміни **6a, 6b** синтезовано за методикою [9], 2,5-дібензамідо-1,4-бензохінон **7** – за методикою [10]. Характеристики синтезованих сполук відповідають літературним даним: **5a, 5d, 5f, 5h** [9], **5b, 5c, 5e, 5g, 6a, 6b** [11], **7** [10]. ІЧ спектри синтезованих сполук записували на спектрометрі

UR-20 в таблетках KBr. Аналіз чистоти досліджуваних сполук проводили методом ТШХ на пластинах Silufol UV-254. В якості розчинника використовували хлороформ, елюент – система розчинників бензен-гексан, 10:1. Прояв УФ-світлом.

Для визначення інтервалу рН переходу кольору індикаторів, в якості яких досліджували хіноніміни **5a–5h**, **6a**, **6b** і хінон **7**, необхідно одночасно з вимірюванням рН контролювати зміну кольору. Для вирішення цього завдання була виготовлена вимірювальна комірка (рис. 1).



- 1 – відділення для смартфона;
- 2 – матовий світлофільтр;
- 3 – кюветна камера; 4 – світлодіодна лампа; 5 – вікно для об'єктива відеокамери смартфона;
- 6 – фотометрична кювета.

Рис. 1. Комірка для одночасного вимірювання рН і кольору розчину

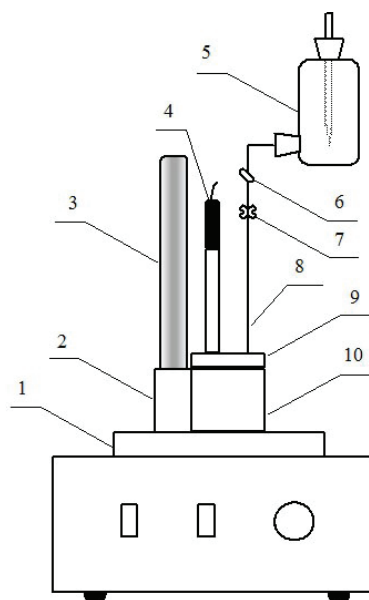
Fig. 1. Cell for simultaneous measurement of pH and color of solution

Матеріал комірки – оргскло, внутрішні сторони кюветної камери і її кришки (на рис. 1 не показана) вкриті чорною фарбою. У відділенні для смартфона і в кюветній камері встановлені плоскі притисні пружини (на рис. 1 не показані) для забезпечення відтворення результатів. В якості джерела світла використовували світлодіодну лампу діаметром 5 мм з наступними характеристиками: робоча напруга 3,0–3,2 В, номінальний струм 20 мА, колірна температура 10000–12000 К, сила світла 13000–15000 мКд, прозорий тип лінзи, кут світіння 35 град. Для ослаблення випромінювання світлодіодної лампи в комірку встановлено матовий світлофільтр 2 (див. рис. 1), так як яскравість світлодіодної лампи «засліплювала» відеокамеру смартфона.

Установка в цілому представлена на рис. 2.

Вимірювання рН проводили комбінованим скляним електродом AD1131 на рН-метрі AD1000 (Румунія) з реєстрацією його показань з частотою 1 вимір в секунду на ноутбуці Acer P2WE6 Aspire 5253 (процесор AMD E-450 APU) з використанням програмного забезпечення, що постачається з рН-метром. Зміну кольору розчину реєстрували за допомогою смартфона Samsung Galaxy J6+ в файли формату *.mp3.

Записаний на смартфоні відеофайл копіювали на комп'ютер і обробляли програмою Free Video to JPG Converter v. 5.0.92 build 608, яка перетворює відеофайл в послідовний ряд зображень у форматі *.jpg з частотою 1 кадр в секунду. Далі ці файли послідовно оброблялися для отримання цифрових значень RGB (від 0 до 255), з яких в програмі Excel 2010 були побудовані їх залежності від часу.



1 – магнітна мішалка; 2 – відділення для смартфона; 3 – смартфон; 4 – скляний електрод; 5 – посудина Маріотта; 6 – регулюючий кран; 7 – запірний кран; 8 – капіляр; 9 – кришка кюветного відділення; 10 – кюветне відділення.

Рис. 2. Установка для одночасного вимірювання рН і кольору розчину

Fig. 2. Installation for simultaneous measurement of pH and color of solution

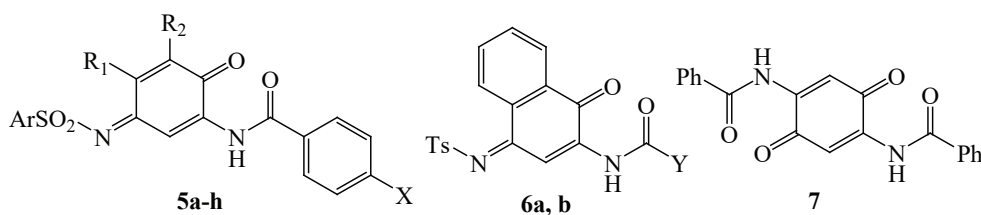
RGB (абревіатура англійських слів red, green, blue – червоний, зелений, синій) – адитивна кольорова модель, що описує спосіб кодування кольору для відтворення кольору за допомогою трьох кольорів, які прийнято називати основними. Вибір основних кольорів обумовлений особливостями фізіології сприйняття кольору сітківкою ока. RGB-модель є адитивною, де кольори отримуються за рахунок додавання до чорного кольору. При відсутності випромінювання (немає ніякого кольору) виходить чорний, змішання всіх трьох параметрів в певній пропорції дає білий. У комп'ютерах для представлення конкретного кольору значення кожного з параметрів позначаються для зручності цілими числами від 0 до 255 включно, де 0 – мінімальна, а 255 – максимальна інтенсивність.

Розчини досліджуваних хінонімінів **5a–5h**, **6a**, **6b** і хінону **7** готували розчиненням 0,001 г індикатору в 1 мл диметилсульфоксиду (ДМСО), попередньо очищеного за методикою [12].

Вимірювання виконували наступним чином: до 7 мл дистильованої води в фотометричній кюветі додавали розчин досліджуваного індикатора у ДМСО таким чином, щоб уникнути її переповерхнення в ході експерименту і з урахуванням об'єму занурюваної в неї частини скляного електрода. Кювету поміщали в кюветне відділення вимірювальної комірки, вставляли через кришку кюветного відділення скляний електрод і капіляр від посудини Маріотта. Після встановлення постійного значення рН при постійному перемішуванні досліджуваного розчину одночасно включали реєстрацію рН і запис відеофайлу і відкривали регульований потік 0,1 М розчину NaOH з посудини Маріотта. Після зміни кольору екрану смартфона одночасно вимикали реєстрацію рН, запис відеофайлу і припиняли подачу розчину.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

В якості кислотно-основних індикаторів запропоновано використовувати *N*-арилсульфоніл-2-ариламідо-1,4-бензохіноніміни **5a-5h**, *N*-тозил-2-ариламідо-1,4-нафтохіноніміни **6a, 6b** і 2,5-добензамідо-1,4-бензохінон **7** (схема 2). Слід зазначити, що бензохіноніміни **5a-5h** являються аналогами хінонімінів **1**, в яких групу ArSO_2NH в положенні 2 хіноїдного ядра замінено на групу ArC(O)NH .



5: Ar=Ts, X=Me, R¹=H, R²=Me (**a**), Ar=4-ClC₆H₄, X=Cl, R¹=H, R²=Me (**b**), Ar=Ts, X=R¹=H, R²=Me (**c**), Ar=Ts, X=Me, R¹=H, R²=Cl (**d**), Ar=Ts, X=R²=H, R¹=Me (**e**), Ar=Ts, X=R¹=Me, R²=H (**f**), Ar=Ts, X=Cl, R¹=Me, R²=H (**g**), Ar=Ts, X=R¹=R²=Me (**h**); **6**: Y=4-MeC₆H₄ (**a**), NH₂ (**b**).

Схема 2

Schema 2

Результати одночасного вимірювання рН і кольору для кожної сполуки **5a-5h**, **6a, 6b, 7**, які запропоновано використовувати в якості індикаторів, були побудовані у вигляді залежності інтенсивності кожного каналу кольорової моделі RGB від часу і залежності значення рН від часу. Залежність колірних характеристик і рН розчину хіноніміну **6b** від часу τ наведена на рис. 3.

Результати визначення інтервалу рН переходу кольору і кольори обох форм хінонімінів **5a-5h** і **6a, b** і хінону **7** наведені в таблиці.

Таблиця

Індикаторні властивості хінонімінів **5a-5h**, **6a, 6b** і хінону **7**

Table

Indicator properties of quinoneimines **5a-5h**, **6a, 6b** and quinone **7**

Номер сполуки	Інтервал рН переходу кольору	Величина інтервалу рН переходу кольору	Кольори обох форм
5a	10,54–11,02	0,48	жовтий – ліловий
5b	10,67–10,86	0,19	жовтий – рожевий
5c	10,06–10,17	0,11	жовтий – рожевий
5d	8,82–8,92	0,10	жовтий – ліловий
5e	10,60–10,88	0,28	помаранчевий – ліловий
5f	10,53–11,00	0,47	жовтий – рожевий

Номер сполуки	Інтервал рН переходу кольору	Величина інтервалу рН переходу кольору	Кольори обох форм
5g	11,22–11,35	0,13	жовтий – ліловий
5h	10,68–10,79	0,11	жовтий – бузковий
6a	10,36–10,50	0,14	жовтий – синій
6b	11,05–11,21	0,16	жовтий – ліловий
7	10,24–10,85	0,61	жовтий – рожевий

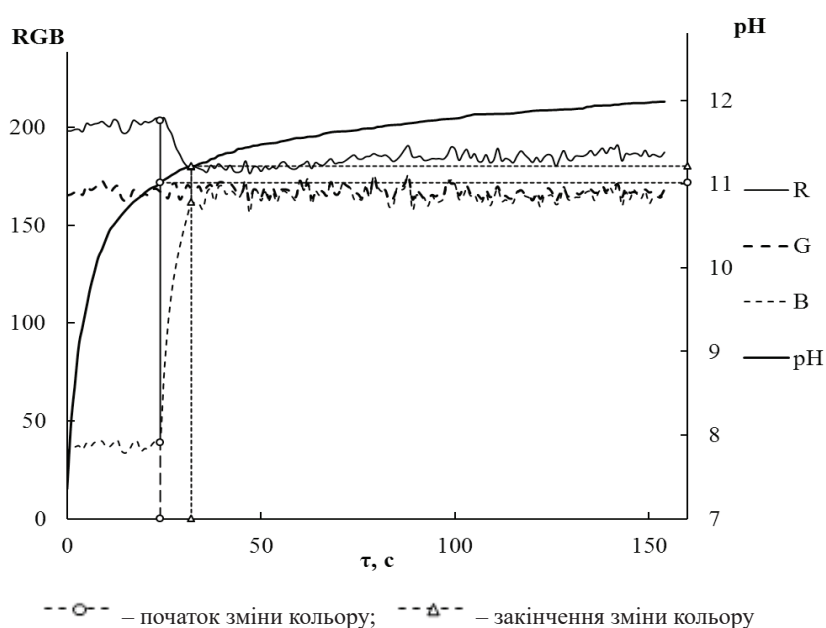


Рис. 3. Залежність колірних характеристик RGB і рН розчину хіноніміну **6b** від часу τ

Fig. 3. Dependence of RGB color characteristics and pH of solution of quinoneimine **6b** on time τ

Яскравий колір хінонімінів **1–4**, запропонованих в роботах [6–8] в якості індикаторів, пояснювався утворенням мезомерних іонів в лужному середовищі (схема 3).

Хіноніміни **5**, запропоновані в якості індикаторів в даній роботі, являються аналогами хінонімінів **1**, а хіноніміни **6** – аналогами хінонімінів **4**. Тому слід очікувати, що яскраві кольори розчинів цих сполук в лужному середовищі також обумовлені утворенням відповідних мезомерних іонів (схема 4).

Для 2,5-добензоїламід-1,4-бензохінону **7**, який можна розглядати як аналог хіноніміну **3**, яскравий колір в лужному середовищі пояснюється утворенням мезомерного діаніону (схема 5).

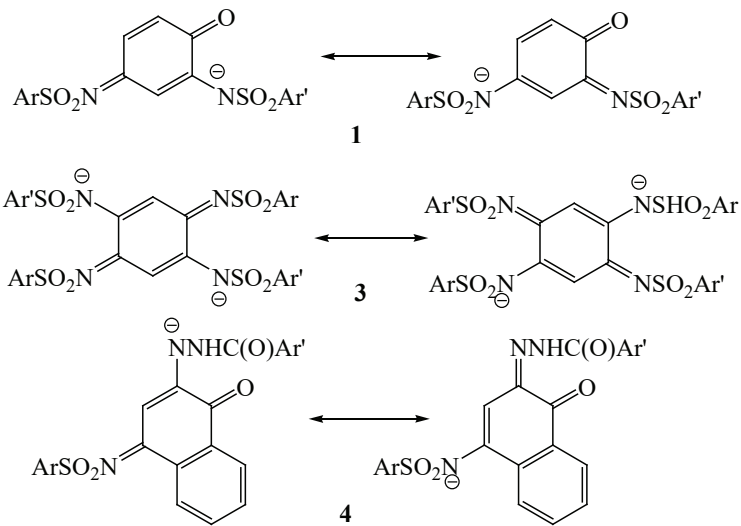


Схема 3

Schema 3

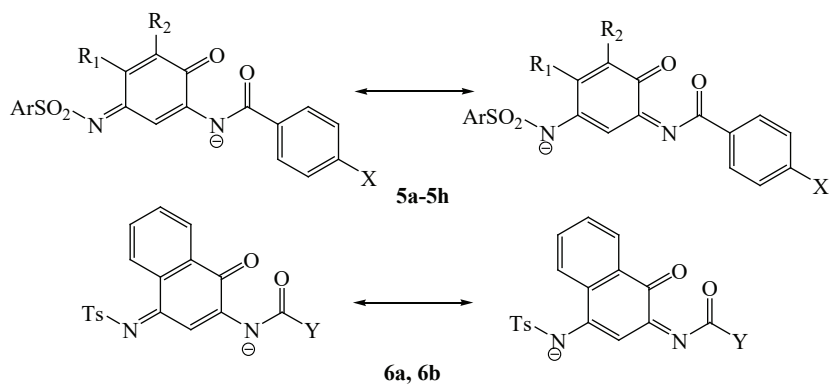


Схема 4

Schema 4

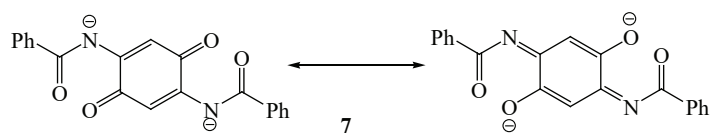


Схема 5

Schema 5

Всі сполуки, запропоновані в якості індикаторів, мають дуже вузькі інтервали рН переходу кольору, наприклад, для хіноніміна **5d** він складає всього 0,10. Зміна кольору запропонованих індикаторів **5a–5h**, **6a**, **6b**, **7** знаходиться в межах рН від 8,82 до 11,35, тобто їх можна використовувати для титрування слабких кислот лугами і навпаки. Яскраві, інтенсивні кольори розчинів обох форм індикаторів значно полегшують зорове сприйняття еквівалентної точки при звичайному титруванні без використання смартфона.

Треба зазначити, що на інтервали рН переходу кольору майже не впливають природа хіноніміну (бензохінонімін **5** або нафтохінонімін **6**), природа замісника в *para*-положенні арилсульфонільного фрагменту сполук **5a–5h** (Me або Cl), природа замісників в положеннях 2 та/або 3 хіноїдного ядра сполук **5a–5h** (H, Cl, Me), природа замісників в *para*-положенні ариламідного фрагменту сполук **5a–5h** (H, Cl, Me), природа замісника біля карбонільного атому Карбону групи $-\text{NHCOY}$ сполук **6a**, **6b** (Y=4-MeC₆H₄ або NH₂).

ВИСНОВКИ

Запропоновано нові кислотно-основні індикатори – N-арилсульфоніл-2-ароїламідо-1,4-бензо(нафто)хінонмоноіміни і 2,5-добензоїламідо-1,4-бензохінон, що мають дуже вузький інтервал рН переходу кольору від 0,10 до 0,61 в інтервалі рН від 8,82 до 11,35 і які можуть бути використані при титруванні слабких кислот лугами і навпаки методом нейтралізації. В зв'язку з тим, що зорове визначення інтервалу рН переходу кольору дає значну похибку, запропоновано визначати зміну кольору за допомогою смартфона з подальшою обробкою результатів широковживаним комп'ютерним програмним забезпеченням. Розроблено установку і методику зручного і високоточного визначення інтервалу рН переходу кольору кислотно-основних індикаторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аляри В.В., Горбунова М.В., Исаченко А.И., Дмитриенко С.Г., Золотов Ю.А. Использование бытовых цветорегистрирующих устройств в количественном химическом анализе // Журн. аналит. химии.– 2017.– Т. 72, № 11.– С. 963–977. <https://doi.org/10.7868/S0044450217110019>
2. Capitan-Vallvey L.F., Lopez-Ruiz N., Martinez-Olmos A., Erenas M.M., Palma A.J. Recent developments in computer vision-based analytical chemistry: A tutorial review // *Analyt. Chim. Acta.*– 2015.– Vol. 899.– P. 23–56. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.10.009>
3. Голованов В.И., Голованов С.В., Варганов М.С. Использование контраста цифрового фотоизображения для определения мутности жидкостей // Журн. аналит. химии.– 2018.– Т. 73, № 7.– С. 515–522. <https://doi.org/10.7868/S0044450218070058>
4. Rezazadeh M., Seidi S., Lid M., Pedersen-Bjergaard S., Yamini Y. The modern role of smartphones in analytical chemistry // *Trends Analyt. Chem.*– 2019.– Vol. 118.– P. 548–555. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.06.019>
5. Barbosa J. Indicators. Acid-Base. In: *Encyclopedia of Analytical Science*. Second Ed.– Elsevier, 2005.– P. 360–371. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00270-3>
6. Авдєєнко А.П., Коновалова С.О. Хіноніміни: від протиракових препаратів до молекулярних комп'ютерів: монографія.– Краматорськ: ДДМА, 2018.– 516 с.
7. А.с. 428274 СССР, М. Кл. G 01n31/22. Кислотно-основный индикатор / Е.А. Титов, А.П. Авдєєнко, В.Ф. Рудченко, В.В. Величко (СССР).– № 1767577/23–4; Заявл. 31.03.72; Опубл. 15.05.74, Бюл. № 18.– 2 с.
8. Патент 84243 України, МПК G01N31/22 (2006.01). Кислотно-основний індикатор // А.П. Авдєєнко, С.О. Коновалова, М.П. Безверхий.– № u201305784; Заявл. 07.05.2013; Опубл. 10.10.2013. Бюл. № 19.– 3 с.

9. Коновалова С.О., Авдєєнко А.П., Якименко І.Ю. Деякі реакції N-{3-[(арил-1-сульфоніл)іміно]-6-оксоциклогекса-1,4-дієн-1-іл}бензамідів // J. Chem. Technol. – 2020. – Vol. 28, N3. – P. 242–250. <https://doi.org/10.15421/082026>
10. Безверхий Н.П., Якименко І.Ю., Харченко О.В. Синтез 2,5-бис(бензоиламидо)-1,4-бензохинона ациламінірованием 1,4-бензохинона // Вопросы химии и хим. технол. – 2011. – № 3. – С. 161.
11. Безверхий Н.П., Якименко І.Ю., Харченко А.В. Взаимодействие N-арилсульфонилхинониминнов с O-ацилбензгидроксамовыми кислотами // Вопросы химии и хим. технол. – 2010. – № 3. – С. 9–12.
12. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. Справочник / Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 541 с.

Стаття надійшла до редакції 03.02.2021

А. П. Авдєєнко¹, С. А. Коновалова¹, Ю. П. Холмовой¹, І. Ю. Якименко²

¹ Донбаская государственная машиностроительная академия, кафедра химии и ОТ, ул. Академическая, 72, Краматорск, 84313, Украина, e-mail: chimist@dgma.donetsk.ua

² ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», кафедра фармации и технологии органических веществ, пр. Гагарина, 8, г. Днепр, 49005, Украина

НОВЫЕ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ ИНДИКАТОРЫ: ИССЛЕДОВАНИЕ НА СМАРТФОНЕ

Предложены новые кислотно-основные индикаторы – N-арилсульфонил-2-ароиламидо-1,4-бензо(нафто)хинонмоноимины и 2,5-добензоиламидо-1,4-бензохинон, которые имеют очень узкий интервал перехода цвета (от 0,10 до 0,61 единиц pH) и «работают» в интервале pH от 8,82 до 11,35. Растворы данных соединений в щелочной среде имеют яркие, интенсивные цвета, что обусловлено образованием мезомерных ионов. Это позволяет использовать предложенные индикаторы в титровании слабых кислот сильными основаниями и наоборот методом нейтрализации. Разработана установка и методика удобного и высокоточного одновременного определения pH среды и цвета кислотно-основных индикаторов с помощью смартфона с последующей обработкой результатов компьютерным программным обеспечением, что позволяет точно определить изменения цветовых характеристик при изменении pH среды и построить графические зависимости цвета от pH.

Ключевые слова: 1,4-бензохинон, кислотно-основной индикатор, кислотно-основное титрование, смартфон.

A. P. Avdeenko¹, Yu. P. Holmvoj¹, S. A. Konovalova¹, I. Yu. Yakymenko²

¹ Donbas State Engineering Academy, Akademichna str., 72, Kramatorsk-13, 84313, Ukraine; chimist@dgma.donetsk.ua

² Ukrainian State University of Chemical Technology, Gagarin ave., 8, Dnipro, 49005, Ukraine

NEW ACID-BASIC INDICATORS: RESEARCH USING A SMARTPHONE

Modern cameras, desktop scanners, smartphones allow not only registering an image, but also determining its color characteristics. That allows us to quickly, objectively and automatically determine the color characteristics of colored samples in acid-base titration, because there is a significant error at visually determining the pH range of the color transition. In analytical chemistry the characteristics of acid-base indicators are very important, in particular their pH transition interval. But the disadvantage of most indicators is the wide

range of color transition: from 1 to 3 pH units. The aim of this work is to find new acid-base indicators that change color in an alkaline environment and have a narrow pH range of the color transition. We have developed the apparatus and technique of convenient and high-precision simultaneous determination of the pH of the medium and the color of the acid-base indicators. In acid-base titration the PH measurements were performed with a combined glass electrode AD1131 by pH-meter AD1000. The color transition was determined with help of a smartphone with the subsequent processing of the results by computer software. The color characteristics were measured for each channel of the RGB model in the range from 0 to 255. Our apparatus is small and mobile, and allows us simultaneously to measure the pH of the medium and accurately to determine the color characteristics. As a result, we can construct graphical dependencies of color on pH for each channel of the RGB model. We found the N-arylsulfonyl-2-arylamido-1,4-benzo(naphto)quinone monoimines and 2,5-dibenzoylamido-1,4-benzoquinone are good acid-base indicators. They “work” in the pH range from 8.82 to 11.35 and have a very narrow color transition interval from 0.10 to 0.61. Solutions of these compounds in an alkaline medium have bright intense colors due to formation of mesomeric ions. That allows using of these indicators in the titration of weak acids with strong bases and vice versa by the method of neutralization.

Key words: quinone imine, 1,4-benzoquinone, acid-base indicator, acid-base titration, smartphone.

REFERENCES

1. Apyari V.V., Gorbunova M.V., Isachenko A.I., Dmitrienko S.G., Zolotov Yu.A. *Use of household color-recording devices in quantitative chemical analysis*. Russ. J. Analyt. Chem., 2017, vol. 72, no 11, pp. 1127–1137. <https://doi.org/10.1134/S106193481711003>
2. Capitan-Vallvey L.F., Lopez-Ruiz N., Martinez-Olmos A., Erenas M.M., Palma A.J. *Recent developments in computer vision-based analytical chemistry: A tutorial review*. Analyt. Chim. Acta, 2015, vol. 899, pp. 23–56. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.10.009>
3. Golovanov V.I., Golovanov S.V., Varganov M.S. *Use of Contrast of Digital Photo Images for the Determination of the Turbidity of Liquids*. Russ. J. Analyt. Chem., 2018, vol. 73, no 7, pp. 667–673. <https://doi.org/10.1134/S1061934818070067>
4. Rezaazadeh M., Seidi S., Lid M., Pedersen-Bjergaard S., Yamini Y. *The modern role of smartphones in analytical chemistry*. Trends Analyt. Chem., 2019, vol. 118, pp. 548–555. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.06.019>
5. Barbosa J. *Indicators. Acid–Base*. In: *Encyclopedia of Analytical Science*. Second Ed. Elsevier, 2005, pp. 360–371. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00270-3>
6. Avdeenko A.P., Konovalova S.A. *Hinoniminy ot protivorakovykh preparatov v molekulyarnykh komp'yuterov: monografija*. [Quinone imines: from anticancer drugs to molecular computers: monograph]. Kramatorsk, 2018, 516 p. (in Russian).
7. Titov E.A., Avdeenko A.P., Rudchenko V.F., Velichko V.V. *Acid-base indicator*. Patent USSR, no 42827, publ. 15.05.1974. (in Russian)
8. Avdeenko A.P., Konovalova S.A., Bezverkhij M.P. *Acid-base indicator*. Patent UA, no 84243, publ. 10.10.2013. (in Ukrainian)
9. Konovalova S.A., Avdeenko A.P., Yakymenko I. Yu. *Some reactions of N-[3-(aryl-1-sulfonyl)imino]-6-oxocyclohexa-1,4-diene-1-yl}benzamides*. *Journal of Chemistry and Technologies*, 2020, vol. 28, no 3, pp. 242–250. <https://doi.org/10.15421/082026> (in Ukrainian)
10. Bezverhij N.P., Yakymenko I. Yu., Harchenko A.V. *Sintez 2,5-bis(benzoilamido)-1,4-benzokhinona acylaminirivaniem 1,4-benzokhinona* [Synthesis of 2,5-bis(benzoylamido)-1,4-benzoquinone by acylation of 1,4-benzoquinone]. *Voprosy Khimii i Khim. Tekhnol.*, 2011, no 3, pp. 161. (in Russian)
11. Bezverhij N.P., Yakymenko I. Yu., Harchenko A.V. *Vzaimodejstvie N-arilsul'fonilhinoniminov s O-acilbenzgidroksamovymi kislotalami* [Interaction of N-arylsulfonylquinone imines with O-acylbenzhydroxamic acids]. *Voprosy Khimii i Khim. Tekhnol.*, 2010, no 3, pp. 9–12. (in Russian)
12. Gordon A.J., Ford R.A. *The Chemist's Companion: A Handbook of Practical Data, Techniques, and References*. New York: Wiley, 1972. 560 p.