

DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.2.2020.28>

УДК 343.98:543

І. М. Коротков,

старший судовий експерт відділу досліджень матеріалів,
речовин і виробів Кіровоградського науково-дослідного
експертно-криміналістичного центру Міністерства внутрішніх справ
України, м. Кропивницький, Україна,
e-mail: viddil_svd@ukr.net

ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ НЕОРГАНІЧНИХ КИСЛОТ У СУМІШАХ ПІД ЧАС ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЕКСПЕРТИЗИ

Запропоновано методику визначення масової частки неорганічних кислот — об'єктів експертного дослідження, а саме трьохкомпонентних сумішей двох сильних кислот — сульфатної та хлоридної — у водному розчині, визначено способи покращення результатів на етапах аналізу.

Ключові слова: прекурсори, масова частка, сульфатна (сірчана) кислота, соляна кислота, гравіметричний метод аналізу.

Постановка наукової проблеми. Металургія, харчове виробництво, медицина — ці та безліч інших виробництв сьогодні складно уявити без використання неорганічних кислот, які є незамінними у багатьох галузях промисловості. Однак, ці кислоти також використовують як прекурсори на різних етапах виготовлення майже всіх наркотичних засобів і психотропних речовин, зокрема героїну, кокаїну, амфетаміну, метамфетаміну, фенциклідину, фентанілу тощо.

До експертних установ надходить значна кількість речовин, зокрема неорганічних кислот, визначення яких такими, що підлягають заходам контролю, потребує з'ясування їх точної концентрації.

Неорганічні кислоти надходять на дослідження для експертизи матеріалів, речовин і виробів переважно у вигляді індивідуальних водних сумішей, проте, частину об'єктів складають суміші, які містять сильну та слабку кислоти або дві сильні кислоти, що ускладнює процес визначення концентрації кожної складової. Саме тому створення точної, правильної, відтворюваної, експресної та простої методики визначення масової частки кислот, зокрема сульфатної та хлоридної, — необхідний і важливий етап достовірної криміналістичної оцінки результатів дослідження.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Питанню визначення якісного хімічного аналізу загалом і неорганічних кислот зокрема у різний час присвятили свої праці Л. М. Гирля, С. Ю. Кельїна¹, Л. П. Циганок,

¹ Гирля Л. М., Кельїна С. Ю. Аналітична хімія: навч. посіб. Миколаїв, 2012. С. 89.

Т. О. Бубель, А. Б. Вишнікін, О. Ю. Вашкевич ¹, О. М. Чеботарьов, Т. М. Щербакова, О. М. Гузенко ² та ін.

Проблемам гравіметричного аналізу неорганічних кислот у науковій літературі й періодиці приділено незаслужено мало уваги. Здебільшого це були праці, присвячені темі кількісного аналізу,— зокрема, таких науковців, як А. С. Алемасова, В. М. Зайцев, Л. Я. Єнальєва, Н. Д. Щепіна, С. М. Гождзінський ³ та ін.

Однак, питання визначення концентрації у багатокомпонентних системах до сьогодні не розроблено і, відповідно, потребує науково-обґрунтованого дослідження.

Мета статті: на прикладі трьохкомпонентної суміші сульфатної та хлоридної кислот у водному розчині оцінити принципиальні можливості використання гравіметричного методу аналізу для визначення їх концентрації й розробити методику їх контролю в об'єктах експертного дослідження.

Завдання дослідження:

- 1) визначити кількісний вміст кислот, близьких за силою, у багатокомпонентних сумішах за їх сумісної присутності;
- 2) оцінити можливості використання гравіметричних методів аналізу під час визначення концентрації кислот у процесі експертного дослідження.

Викладення основного матеріалу дослідження. На дослідження за експертною спеціальністю 8.6 «Дослідження наркотичних засобів, психотропних речовин, їх аналогів та прекурсорів» надходить значна кількість неорганічних речовин, деякі з них є такими, що підлягають заходам контролю. Відповідно до Конвенції Організації Об'єднаних Націй про боротьбу проти незаконного обігу наркотичних засобів і психотропних речовин 1988 року ⁴, а також згідно зі Списками № 2 Таблиць II та IV Переліку наркотичних засобів, психотропних речовин і прекурсорів, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 06.05.2000 р. № 770 ⁵, до прекурсорів належать дві неорганічні кислоти — соляна та сірчана.

¹ Циганок Л. П., Бубель Т. О., Вишнікін А. Б., Вашкевич О. Ю. Аналітична хімія. Хімічні методи аналізу: навч. посіб. Дніпропетровськ, 2014. С. 23—25.

² Чеботарьов О. М., Щербакова Т. М., Гузенко О. М. Аналітична хімія. Якісний та кількісний аналіз: метод. вказ-ки до лаб. роб. для студент. I—II курсів заоч. від-нь хім. та біолог. ф-тів. Одеса, 2015. С. 22, 24.

³ Алемасова А. С., Зайцев В. М., Єнальєва Л. Я., Щепіна Н. Д., Гождзінський С. М. Аналітична хімія: підруч. для вnz. Донецьк, 2010. С. 235—245.

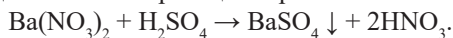
⁴ Прекурсоры и химические вещества, часто используемые при незаконном изготовлении наркотических средств и психотропных веществ: доклад Междунар. ком. по контраб. над наркот. за 2019 г. о выполн. ст. 12 Конвенции ООН о борьбе против незакон. оборота наркот. ср-в и психотр. вещ-в 1988 г. Вена, 2020. С. 126.

⁵ Про затвердження Переліку наркотичних засобів, психотропних речовин і прекурсорів: Постанова КМУ від 06.05.2000 р. № 770 (зі змін. та допов.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/770-2000-p> (дата звернення: 10.06.2020).

Варто зазначити, що згідно зі ст. 1 Закону України «Про наркотичні засоби, психотропні речовини і прекурсори» прекурсорами наркотичних засобів і психотропних речовин є речовини, які використовують для виробництва, виготовлення наркотичних засобів і психотропних речовин та які належать до Переліку наркотичних засобів, психотропних речовин і прекурсорів¹. Належність сульфатної та хлоридної кислот до речовин, що підлягають заходам контролю, потребує точного визначення концентрації (масової частки) у складі суміші (розчину), а отже — і чіткої методики її вимірювання. Слід враховувати те, що названі кислоти підлягають заходам контролю, якщо їх масова частка у складі суміші (розчину) становить не менше 45 % такого прекурсору, як сірчана кислота, та 15 % такого прекурсору, як соляна кислота².

Розглянемо один з випадків, коли на дослідження надійшли об'єкти у вигляді водного розчину, у якому сумісно присутні хлоридна та сульфатна кислоти. Для проведення аналізу визначали вміст кислот у тестовій суміші — водному розчині, що містить 10 % хлоридної кислоти й 40 % сульфатної кислоти.

Для визначення вмісту сульфатної кислоти в розчині використовували гравіметричний метод аналізу, який полягає в тому, що сульфат-іони осаджують у вигляді сульфату барію розчином нітрату барію, водночас хлоридна кислота в реакцію з реагентом не вступає, залишаючись у розчині:



Сульфат барію добре відповідає вимогам до осадів: його добуток розчинності дорівнює $1,1 \times 10^{-10}$; осад практично не розчиняється в кислотах³; має суворо визначений склад, який відповідає молекулярній формулі BaSO_4 , а отже, під час прожарювання склад сульфату барію не змінюється, тому ця сполука є гравіметричною формою (тобто у цьому визначенні гравіметрична форма збігається з осаджувальною)⁴. Під час дослідження слід зважати на такі фактори: кристали BaSO_4 дуже дрібні, тому під час фільтрування можуть проходити крізь пори фільтра, крім того, кристали BaSO_4 легко забруднюються сторонніми іонами з розчину. Саме тому важливими умовами укрупнення кристалів та їхньої чистоти є повільне додавання осаджувача⁵.

¹ Про наркотичні засоби, психотропні речовини і прекурсори: Закон України від 15.02.1995 р. № 60/95-ВР (зі змін. та допов.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/60/95-вр> (дата звернення: 10.06.2020).

² Про затвердження Переліку наркотичних засобів ... URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/770-2000-п> (дата звернення: 10.06.2020).

³ Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. Москва, 1989. С. 96.

⁴ Александрова Э. А., Гайдукова Н. Г. Аналитическая химия: в 2 кн. Кн. 1: Химические методы анализа: учебн. и практ-м для приклад. бакалавр. 3-е изд., испр. и доп. Москва, 2019. С. 309.

⁵ Васильев В. П. Аналитическая химия: в 2 кн. Кн. 1: Титриметрические и гравиметрические методы анализа: учеб. для студент. вузов, обуч. по хим.-технол. спец. 7-е изд., стереотип. Москва, 2009. С. 152.

Етапи проведення дослідження наведено в Табл. 1.

Таблиця 1. Методика гравіметричного визначення вмісту сульфатної кислоти

№ з/п	Етап дослідження	Методика виконання	Обладнання й реактиви
1	Підготовка тигля	Помити і висушити тигель, поставити тигель у муфельну піч на 20—25 хв за $t=500\text{ }^{\circ}\text{C}$, охолодити тигель в ексікаторі, зважити тигель на аналітичних вагах	Піч муфельна, ваги аналітичні, тигель, щипці, ексікатор
2	Підготовка проби до аналізу	Помістити в бюкс приблизно 0,5 г досліджуваного розчину, провести зважування. Наважку кількісно перенести до склянки на 100 см ³ , промити бюкс дистильованою водою тричі, ополоски перенести в зазначену вище склянку й розбавити розчин до 50 см ³ дистильованою водою	Ваги аналітичні, бюкс, хімічна склянка, скляна паличка, об'єкт дослідження, дистильована вода
3	Осадження	Отриманий розчин нагрівати, не доводячи до кипіння. У склянку циліндром відібрати 10 см ³ розчину $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ (0,5 М), нагріти. Зняти з плитки досліджуваний розчин і дуже повільно, по краплях, за безперервного перемішування долити гарячий розчин $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Дати осад осісти і перевірити повноту осадження, для цього по стінці склянки з осадом додати кілька крапель $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ і подивитися — чи не з'явиться каламуті. У разі появи каламуті додати ще 5 см ³ $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ і знову перевірити на повноту осадження. Провести центрифугування отриманої суміші	Хімічна склянка — 2 шт., скляна паличка, мірний циліндр — 2 шт., плитка електрична, розчин $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ (0,5 М), досліджувана суміш

№ з/п	Етап дослідження	Методика виконання	Обладнання й реактиви
4	Фільтрування та промивання осаду	Фільтрування проводити крізь щільний беззольний фільтр «Синя стрічка». Коли зі склянки буде злито весь розчин, промити осад декантацією. Для цього налити у склянку 10—20 см ³ дистильованої води, додати 3—4 краплі HNO ₃ (0,1 М). Розмішати осад скляною паличкою, дати відстоятися. Прозорий розчин злити на фільтр. Промивання повторити 2—3 рази, після чого осад кількісно перенести на фільтр. На фільтрі осад промити 10 см ³ води для видалення іонів NO ₃ ⁻ .	Хімічна склянка, скляна паличка, мірний циліндр, піпетка, воронка, конічна колба, фільтр «Синя стрічка», розчин нітратної кислоти (0,1 М), дистильована вода
5	Висушування, прожарювання	Помістити фільтр з осадом у підготовлений тигель, поставити до муфельної печі за t=500 °C на 20 хв. Потім помістити тигель в ексікатор. Після охолодження зважити тигель на аналітичних вагах. Записати масу тигля і знову поставити до муфельної печі на 10 хв, охолодити і знову зважити. Якщо різниця між зважуваннями не перевищує 0,0002 г, можна вважати, що осад доведено до постійної маси. Якщо різниця більша, то операцію із прожарювання повторюють доти, доки не буде досягнуто постійну масу	Аналітичні ваги, тигель, осад BaSO ₄
6	Оцінка результатів аналізу	Обчислити вміст сульфатної кислоти у відсотках, розрахувати похибку	

Масову частку сульфатної кислоти обчислюють за формулою:

$$w = \frac{m \cdot F \cdot 100\%}{g} \quad (1),$$

де:

m — маса осаду, г;

F — фактор перерахунку;

g — маса наважки, г.

За результат визначення вмісту сульфатної кислоти приймали середнє арифметичне результатів п'яти паралельних визначень, результати яких представлено в Табл. 2.

Таблиця 2. Масова частка сульфатної кислоти в розчині

№ з/п	Маса отриманого осаду, г	Масова частка H_2SO_4 , %
1	0,4712	39,58
2	0,4549	38,21
3	0,4775	40,11
4	0,4641	38,98
5	0,4568	38,37

Отже, середнє значення масової частки сульфатної кислоти становить 39,05 %. Статистичне оброблення результатів аналізу ¹ проводили з використанням можливостей *Microsoft Excel*; його результати наведено в Табл. 3.

Таблиця 3. Статистичний аналіз результатів дослідження

Параметр	Показник
Середнє значення, %	39,05
Абсолютна похибка вимірювання, %	0,95
Відносна похибка вимірювання, %	2,4
Дисперсія	0,64
Стандартне відхилення, %	0,8
Відносне стандартне відхилення, %	2,1
Довірчий інтервал, %	$39,05 \pm 0,99$

Виходячи з результатів проведеного дослідження, отримане значення вмісту сульфатної кислоти в суміші є близьким до істинного, не виходить за межі максимальної похибки вимірювання та є допустимим. Отже, визначення масової частки сірчаної кислоти гравіметричним методом є доцільним.

Вимірювання масової частки хлоридної кислоти проводили в отриманому на попередньому етапі дослідження фільтраті методом Фольгарда: до фільтрату додавали точно відміряний надлишок 0,1 М розчину нітрату срібла AgNO_3 . Титрування проводили без відділення осаду AgCl , тому до отриманої суміші додавали 5—10 мл нітробензолу. Суміш добре збовтували 30—40 с, при цьому осад AgCl набував пластівчастої будови і його

¹ Дёрффель К. Статистика в аналитической химии. Москва, 1994. С. 85—137.

захоплював нітробензол. Додавали до розчину 2 мл насиченого розчину залізоамонійних галунів і титрували 0,1 М розчином тіоціаната амонію за легкого перемішування до появи слабкого червоно-бурого забарвлення ¹.

Масову частку хлоридної кислоти розраховували за формулою:

$$X = \frac{((V_{AgNO_3} \cdot k - V_{NH_4CNS} \cdot k) \cdot T)}{m_{\text{навантажки}}} \cdot 100\% \quad (2),$$

де:

V_{AgNO_3} — об'єм $AgNO_3$, витрачений на титрування, см³;

V_{NH_4CNS} — об'єм NH_4CNS , витрачений на титрування, см³;

k — поправочний коефіцієнт;

T — титр титранта, за NH_4CNS , г/см³;

$m_{\text{навантажки}}$ — маса навантажки речовини, що визначається.

За результат визначення вмісту хлоридної кислоти приймали середнє арифметичне результатів п'яти паралельних визначень, які представлено в Табл. 4.

Таблиця 4. Масова частка хлоридної кислоти в розчині

№ з/п	Масова частка HCl, %
1	10,05
2	9,33
3	9,45
4	9,17
5	9,78

Отже, середнє значення масової частки хлоридної кислоти становить 9,56 %. Статистичне оброблення результатів аналізу ² наведено в Табл. 5.

Таблиця 5. Статистичний аналіз результатів дослідження

Параметр	Показник
Середнє значення, %	9,56
Абсолютна похибка вимірювання, %	0,44
Відносна похибка вимірювання, %	4,6
Дисперсія	0,13
Стандартне відхилення, %	0,36
Відносне стандартне відхилення, %	3,8
Довірчий інтервал (t -розподіл Ст'юдента), %	$9,56 \pm 0,45$

¹ Харитонов Ю. Я. Аналитическая химия. Аналитика 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа. Москва, 2014. С. 257—259 ; Пилипенко А. Т., Пятницкий И. В. Аналитическая химия: в 2 кн. Кн. 1. Москва, 1990. С. 173.

² Дёрффель К. Указ. соч.

Зважаючи на результати проведеного дослідження, отримане значення вмісту хлоридної кислоти в суміші є близьким до істинного та не виходить за межі максимальної похибки вимірювання. Отже, визначення масової частки соляної кислоти методом Фольгарда, після попереднього її відділення від тестової трьохкомпонентної суміші, дає змогу отримати задовільний для цього методу результат.

Висновки. Здобуті результати доводять, що під час визначення індивідуальних концентрацій сульфатної та хлоридної кислот у трьохкомпонентній суміші доцільно використовувати гравіметричний метод аналізу, який дає змогу отримати значення масової частки індивідуальних неорганічних кислот у складі сумішей (розчинів) у межах допустимої похибки вимірювання ($\Delta_{\text{max}} \leq 3\sigma$) із їх послідовним розділенням. Враховуючи доступність обладнання, простоту та технологічність, запропонований метод аналізу наданих на дослідження об'єктів є ефективним методом експертного контролю вмісту неорганічних кислот, які підлягають заходам контролю.

З огляду на важливість сфери застосування та відсутність комплексного наукового дослідження у цьому напрямі, вважаємо його доволі перспективним і таким, який потребує більш розширеного трактування, що стане метою наших подальших досліджень.

References

- Aleksandrova, E. A., Gaidukova, N. G. (2019). *Analiticheskaya khimiya*: v 2 kn. Kn. 1. Khimicheskie metody analiza: uchebn. i prakt-m dlia priklad. bakalavr. 3-e izd., ispr. i dop. Moscow [in Russian].
- Alemasova, A. S., Zaitsev, V. M., Yenalieva, L. Ia., Shchepina, N. D., Hozhdzinskiy, S. M. (2010). *Analitichna khimiia*: pidruch. dlia vnz. Donetsk [in Ukrainian].
- Chebotaev, O. M., Shcherbakova, T. M., Huzenko, O. M. (2015). *Analitichna khimiia. Yakisnyi ta kilkisnyi analiz*: metod. vkaz-ky do lab. rob. dlia stud-v I—II kursiv zaach. vid. khim. ta biol. f-v. Odesa [in Ukrainian].
- Derfel, K. (1994). *Statistika v analiticheskoi khimii*. Moscow [in Russian].
- Hyrliia, L. M., Kelina, S. Yu. (2012). *Analitichna khimiia*: navch. posib. Mykolaiv [in Ukrainian].
- Kharitonov, Iu. Ia. (2014). *Analiticheskaya khimiia*. Analitika 2. Kolichestvennyi analiz. Fiziko-khimicheskie (instrumentalnye) metody analiza. Moscow [in Russian].
- Lure, Iu. Iu. (1989). *Spravochnik po analiticheskoi khimii*. Moscow [in Russian].
- Pilipenko, A. T., Piatnitskii, I. V. (1990). *Analiticheskaya khimiia*: v 2 kn. Kn. 1. Moscow [in Russian].
- Prekursory i khimicheskie veshchestva, chasto ispolzuemye pri nezakonnom izgotovlenii narkoticheskikh sredstv i psikhotropnykh veshchestv* (2020): doklad Mezhdunar. kom. po kontr. nad narkot. za 2019 g. o vypoln. st. 12 Konventcii OON o borbe protiv nezak. oborota narkot. sr-v i psikhothr. v-v 1988 g. Vena [in Russian].
- Pro narkotichni zasoby, psykhotrojni rehovyny i prekursory*: Zakon Ukrainy vid 15.02.1995 r. № 60/95-VR (zi zmin. ta dopov.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/60/95-vr> (data zvernennia: 10.06.2020) [in Ukrainian].
- Pro zatverdzhennia pereliku narkotychnykh zasobiv, psykotropykh rehovyn i prekursov*: Postanova KMU vid 06.05.2000 r. № 770 (zi zmin. ta dopov.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v-2000-0605-0770>

zakon.rada.gov.ua/laws/show/770-2000-p (data zvernennia: 10.06.2020) [in Ukrainian].

Tsyhanok, L. P., Bubel, T. O., Vyshnikin, A. B., Vashkevych, O. Yu. (2014). *Analitichna khimiia. Khimichni metody analizu: navch. posib.* Dnipropetrovsk [in Ukrainian].

Vasilev, V. P. (2009). *Analiticheskaia khimiia: v 2 kn. Kn. 1: Titrimetricheskie i gravimetricheskie metody analiza: ucheb. dlia stud-v vuzov, obuch. po khim.-tekhkol. spets. 7-e izd., stereotip.* Moscow [in Russian].

И. Н. Коротков

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В СМЕСЯХ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ЭКСПЕРТИЗЫ

Чаще всего неорганические кислоты поступают на исследования для экспертизы материалов, веществ и изделий в виде индивидуальных водных смесей, однако, часть объектов составляют смеси, содержащие сильную и слабую кислоты или две сильные кислоты, что затрудняет процесс определения концентрации каждой из этих частей. Именно поэтому создание точной, правильной, воспроизводимой, экспрессной и простой методики определения массовой доли кислот, в частности серной и соляной, — необходимый и важный этап достоверной криминалистической оценки результатов исследования.

Для установления применимости методов гравиметрического анализа и интерпретации его результата для экспертизы были исследованы модельные трёхкомпонентные смеси, содержащие 10 % соляной, 40 % серной кислот в водном растворе. Серную кислоту определяли методом гравиметрического анализа: осаждением ионов SO_4^{2-} ионами Ba^{2+} с дальнейшим расчётом массовой доли кислоты, составившей $39,05 \pm 0,99$ %, что находится в пределах допустимой погрешности ($\Delta_{x_{max}} \leq 3\sigma$). Соляную кислоту определяли методом Фольгарда, по результатам которого массовая доля кислоты составила $9,56 \pm 0,45$ %, что находится в пределах допустимой погрешности ($\Delta_{x_{max}} \leq 3\sigma$).

Учитывая доступность оборудования, простоту и технологичность, предложенный метод анализа объектов, предоставленных на исследование, является эффективным методом экспертного контроля содержания неорганических кислот, подлежащих мерам контроля.

Ключевые слова: прекурсоры, массовая доля, серная кислота, соляная кислота, гравиметрический метод анализа.

I. Korotkov

PROBLEMS OF CONCENTRATION DETERMINATION OF INORGANIC ACIDS IN A MIXTURE WHILE RESEARCH ON EXAMINING OBJECTS

Inorganic acids are offered for forensic examination of materials, substances and products mainly in the form of individual aqueous mixtures, however, some of the objects are mixtures containing strong and weak acids or two strong

acids, which complicates the process of determining the concentration of each component. For that reason creation of an accurate, correct, reproducible, rapid and simple methodology for determining mass fraction, in particular of sulfuric and hydrochloric acids, is also an important step in a reliable forensic assessment of study results.

To establish applicability of the methods of gravimetric analysis and interpretation of its result for forensic examination, research was carried out on a model three component mixture containing 10 % hydrochloric and 40 % sulfuric acid in an aqueous solution. Determination of sulfuric acid was implemented by means of gravimetric analysis: deposition of SO_4^{2-} ions by Ba^{2+} ions with further calculation of acid mass fraction which is $39,05 \pm 0,99\%$ that is within the limits of an admissible error ($\Delta_{\text{max}} \leq 3\sigma$). The hydrochloric acid was determined by the Volhard method, according to the results of which the mass fraction of acid was $9,56 \pm 0,45\%$, which is within permissible error limits ($\Delta_{\text{max}} \leq 3\sigma$).

Taking into account availability of equipment, simplicity, technological effectiveness, the suggested method for analyzing objects offered for research is an effective method for forensic monitoring of inorganic acids content which are the subject to control measures.

Keywords: precursors, mass fraction, sulfuric acid, hydrochloric acid, gravimetric method of analysis.

Надійшла до редколегії 03.07.2020

Коротков І. М. Проблеми визначення концентрації неорганічних кислот у сумішах під час дослідження об'єктів експертизи. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики* : зб. наук. пр. / редкол.: О. М. Ключев, В. Ю. Шепітько та ін. Харків : Право, 2020. Вип. 22. С. 348—357. DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.2.2020.28>.