

УДК 662.2-31/-38:547.458.2(045)

**О.Ю. Пугаченко**, старший експерт Науково-дослідного експертно-криміналістичного центру при УМВС України у Вінницькій області

**Н.О. Загризла**, старший експерт Науково-дослідного експертно-криміналістичного центру при УМВС України у Вінницькій області

## **ВИЯВЛЕННЯ ЦУКРІВ У САМОРОБНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИНАХ І ПРОДУКТАХ ЇХ ВИБУХОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ**

Проаналізовано реакції для виявлення цукру. Визначено найбільш селективні та чутливі методи якісного дослідження наявності цукрів з метою можливості їх застосування при дослідженні цукровмісних саморобних вибухових речовин і продуктів їх вибухового перетворення.

*Ключові слова:* цукровмісні саморобні вибухові речовини, інверсія, реагент, фільтрувальний папір, аналітичний ефект.

Проанализированы реакции для выявления сахара. Определены наиболее селективные и чувствительные методы качественного исследования наличия сахаров с целью возможности их применения при исследовании сахаросодержащих самодельных взрывчатых веществ и продуктов их взрывного превращения.

The reactions for the detection of sugar was studied. Identified the most selective and sensitive methods of qualitative research the availability of sugar in order to their applicability in the study of sugary homemade explosives and products of explosive transformation their.

Відгомін подій у східному регіоні України відчувається і в інших регіонах, проявляючись у вигляді терористичних актів, зокрема вибухів у громадських місцях, які здійснюють з використанням вибухових пристроїв як промислового, так і кустарного виробництва. Завдяки мережі Інтернет нині не є проблемою знайти певний «рецепт» виготовлення вибухового пристрою в домашніх умовах, у тому числі й щодо приготування вибухової речовини, отримати коментарі та поради так званих спеціалістів вибухової справи. Переважна більшість таких «рецептів» приготування вибухових речовин ґрунтується на використанні речовин, які можна без зайвих проблем і будь-яких зволікань придбати на ринку, в агромагазині або через мережу Інтернет.

Зазвичай для приготування найпростіших вибухових речовин у кустарних умовах потрібно поєднати два компоненти: окисник і відновник. Як окисники можуть бути використані аміачна чи калійна селітра, калію хлорат (бертолетова сіль), плюмбум (IV) оксид тощо. Як відновники використовують алюмінієву пудру, сірку,

вугілля, звичайне борошно, крохмаль, деревне борошно, цукрову пудру тощо. До найпростіших варіантів належить суміш аміачної селітри (амоній нітрату) та цукрової пудри, ретельно подрібнених, перемішаних і добре висушених. У практиці судового експерта трапляються випадки, коли потрібно провести експертизу саме такої суміші та продуктів її вибуху. При цьому виникають певні труднощі при виявленні цукру. Якщо під час дослідження вибухової суміші виявити цукор можна без особливих проблем, то у продуктах згоряння такої суміші виявити цукор доволі складно, що зумовлено малою його кількістю і наявністю великої кількості заважаючих речовин.

Загалом для визначення наявності цукру використовують такі реакції [1; 2]:

– реакцію Моліша: до досліджуваного розчину додають 1-нафтол і концентровану сульфатну кислоту так, щоб кислота не змішувалася з водою (за наявності вуглеводу з'являється темно-фіолетове кільце на межі двох шарів);

– нафторезорцинову пробу Толленса: до досліджуваного розчину додають нафторезорцин і концентровану хлоридну кислоту з подальшим кип'ятінням і додаванням бензолу (останній забарвлюється у синьо-зелений колір);

– реакцію з антроном, у процесі якої за рахунок взаємодії концентрованої сульфатної кислоти з вуглеводами утворюється фурфурол, метилфурфурол або оксиметилфурфурол, які, конденсуючись з антроном, дають сполуки, забарвлені у зелений чи блакитний колір;

– реакцію Селіванова на фруктозу: до досліджуваного розчину додають концентровану хлоридну кислоту та резорцин, після чого нагрівають до кипіння (після витримання упродовж 15—30 хв фруктоза утворює ксантеновий барвник червоного забарвлення, що у подальшому переходить у червоний осад);

– реакцію срібного дзеркала, у процесі якої за рахунок взаємодії аміачного розчину аргентум нітрату при нагріванні з відновлювальними цукрами на стінках пробірки утворюється тонке срібне дзеркало;

– реакцію Фелінга, у процесі якої при взаємодії вуглеводів з розчином купрум (II) сульфату та сегнетової солі з відновлювальним вуглеводом розчин швидко блідне і випадає червоний осад купрум (I) оксиду (для дисахаридів і полісахаридів потрібне кип'ятіння на водяній бані);

– реакцію з м-динітробензолом, у процесі якої при взаємодії м-динітробензолу з вуглеводами в середовищі натрій гідроксиду утворюється продукт реакції, забарвлений у темно-фіолетовий колір;

– реакцію утворення озаона, під час якої карбонільні групи вуглеводів взаємодіють з фенілгідразиним з утворенням спочатку гідразона, а потім озаона (для озаонів глюкози та фруктози характерні однакова структура і властивості кристалів — під мікроскопом видно, що вони мають голчасту форму і часто зібрані у пучки, «букети» чи «снопи»);

– реакцію Біалля, коли в кислому середовищі цукри дають фурфурол, що конденсується з орцином у присутності слідів ферум (III) хлориду, з утворенням коричневого забарвлення.

Крім зазначених реакцій, використовують й низку інших, зокрема з реактивом Ніландера (лужний розчин солі вісмуту, що містить тартрат), з метиленовим синім, з магнію гіпоіодитом, з натрій періодатом, із селен (IV) оксидом тощо [3].

Результати цих реакцій наведено у таблиці.

Таблиця

## Реакції редукуючих цукрів

Реагент	Зміна забарвлення	Визначений мінімум, мкг
Розчин Ніландера (лужний розчин солі вісмуту та тартрат)	Почорніння	10
Аргентум нітрат, аміачний розчин	Почорніння	0,1
Гіпоіодит магнію [Mg(OH) <sub>2</sub> + KI <sub>3</sub> ]	Знебарвлення	5
Метиленовий синій, 0,001 % лужний розчин	Знебарвлення	1
Динітроацетанід (1, 3, 4), лужний розчин	Фіолетове забарвлення	2
<i>m</i> -Фенілєндіамін гідрохлорид (випаровування з 1 краплею досліджуваного розчину)	Жовто-зелена флуоресценція	0,5

Зазначені методи виявлення цукру мають певні недоліки. Одні з них є малочутливими, другі — неселективними (тобто аналогічний аналітичний сигнал дають речовини іншої природи), використання третіх методів обмежено наявністю продуктів вибухового перетворення інших речовин, у тому числі нітратів і нітритів. Наявність недоліків, притаманних цим методам, спонукала до більш ґрунтовного аналізу останніх для вирішення проблеми якісного виявлення цукру в продуктах вибухового перетворення цукровмісних вибухових речовин. З урахуванням того, що під час вибухового перетворення цукровмісних вибухових сумішей виявляють нітрити, нітрати, речовини органічної природи, сажу, а також непрореаговані частинки вибухової суміші, було обрано найбільш селективні та чутливі методи якісного дослідження наявності цукрів для вивчення можливості застосування їх при дослідженні продуктів вибуху.

Зокрема, обрано три методи: з використанням аргентум нітрату у лужному середовищі, трифенілтетразолію у лужному середовищі та резорцину, які були експериментально модифіковані та адаптовані відповідно до вирішуваної проблеми.

Під час паралельного проведення реакцій розчину цукру, розчину натрій нітриту та амоній нітрату із реактивом Селіванова (0,1 мл концентрованої хлоридної кислоти та кілька кристалів резорцину) встановлено, що в усіх випадках утворюється червоне забарвлення. Тобто нітрит- і нітрат-іони у цій реакції заважають виявленню цукрів, а отже, у подальшому цю реакцію до уваги не брали.

Оскільки сахарозі не притаманні редукуючі властивості, то для проведення дослідження потрібно провести інверсію. Інверсію сахарози проводять так: попередньо профільтрований водний змив упарюють у тиглі на водяній бані досуха з кількома краплями концентрованої хлоридної кислоти (за наявності великої кількості сухого залишку упарювання варто провести ще раз); до отриманого сухого залишку додають 1—2 краплі 0,5 н розчину натрій гідроксиду.

*Визначення цукру за допомогою аргентум нітрату та натрій гідроксиду*

Виявити редукуючі цукри можна за допомогою високочутливої крапельної реакції на фільтрувальному папері. Для цього на смужку фільтрувального паперу наносять дві краплі (одна біля одної) 0,3 н розчину аргентум нітрату, після чого на одну краплю наносять краплю лужного досліджуваного розчину, на другу — краплю 0,5 н розчину натрій гідроксиду. У результаті швидко з'являються дві коричневих плями аргентум (I) оксиду. Через півхвилини смужку фільтрувального паперу

занурюють у 0,5 н розчин хлоридної кислоти. Аргентум (I) оксид повністю переходить в аргентум хлорид і зникає. На місці плями, залишеної краплею, що містить редукуючий цукор, залишається коричнево-чорна пляма із найдрібніших частинок нерозчинного елементарного срібла.

За допомогою шкали розчинів глюкози було встановлено мінімальну кількість глюкози, яку можна визначити за допомогою цієї реакції. Зокрема, встановлено, що 1 мкг глюкози дає чітке для ідентифікації коричнево-сіре забарвлення.

Паралельно було проведено аналогічний дослід, де замість краплі розчину редукуючого цукру було взято кілька кристалів натрій нітриту, які помістили на фільтрувальний папір, після чого нанесли краплю 0,5 н розчину натрій гідроксиду. При цьому спостерігали розчинення плями коричневого кольору, що свідчить про те, що нітрит-іон абсолютно не заважає реакції (принаймні у випадку 1000-кратного його перевищення редукуючого цукру). Є й низка інших відновників, зокрема гідразин, альдегіди тощо, які дають аналогічну реакцію, проте у продуктах вибуху вони трапляються рідко. Також ця реакція не може бути застосована за наявності речовин, які під час реакції виділяють сірководень, що надаватиме псевдопозитивну реакцію.

*Реакція з трифенілтетразолієм*

При нагріванні безбарвного лужного розчину хлориду або йодиду трифенілтетразолію з редукуючим цукром випадає червоний осад трифенілформазану (рис.).

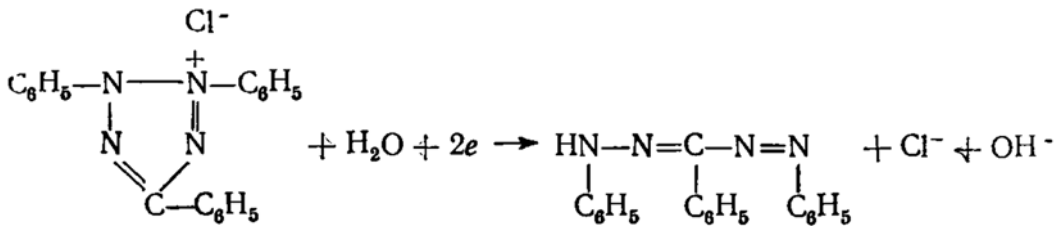


Рис. Схема реакції з трифенілтетразолієм

На цій реакції засновано надзвичайно чутливий метод визначення редукуючих цукрів, адже альдегіди не заважають реакції (на відміну від більшості інших методів виявлення редукуючих цукрів). Інші відновники (наприклад, гідразин, гідроксиламін, сульфіти, винна та лимонна кислоти) не реагують з трифенілтетразолієм. Аскорбінова кислота, яка за структурою схожа з редукуючими цукрами, дає аналогічну реакцію.

Для проведення дослідження до отриманого лужного розчину в тиглі додають 2 краплі 0,5-процентного свіжоприготовленого водного розчину хлориду трифенілтетразолію або насиченого ізопропанольного розчину йодиду трифенілтетразолію. Суміш витримують на киплячій водяній бані упродовж хвилини. Залежно від концентрації редукуючих цукрів утворюється червоне забарвлення або червоний осад. Паралельно обов'язково проводять контрольний дослід. Якщо реактив дає псевдопозитивну реакцію, то його потрібно додатково очистити.

Для встановлення мінімальної кількості глюкози, яку можна визначити за допомогою цієї реакції, було приготовлено розчини бурякового цукру з відомими концентраціями. Під час проведених досліджень встановлено, що мінімальна кільк-

кість цукру, яку можна чітко виявити за описаною вище методикою, становить 0,5 мкг у досліджуваному зразку.

Крім того, були також проведені досліді з натрій нітритом та амоній нітратом, для чого брали по 10 мг натрій нітриту та амоній нітрату і проводили з ними дослідження відповідно до описаної вище схеми. При цьому характерне для редукуючих цукрів червоне забарвлення чи червоний осад не спостерігали.

Порівнюючи описані методи дослідження, можна дійти висновку, що метод з використанням трифенілтетразолію має певні переваги перед методом з використанням аргентум нітрату та луку.

Таким чином, з усіх методів визначення цукру, переважна більшість яких має певні недоліки та обмеження у застосуванні, обрано два, які перевірено на ефективність у присутності заважаючих речовин (саме через них інші методи стають непридатними для застосування), встановлено мінімальні кількості цукру, які можна чітко виявити за допомогою цих методів. З огляду на те, що, оскільки в присутності нітритів і нітратів багато методів не дозволяють чітко встановити наявність цукру, також проведено дослідження і в присутності останніх як заважаючих аніонів. Найбільш селективним методом виявлення цукру визначено метод з використанням трифенілтетразолію, а отже, його можна рекомендувати для використання в експертній практиці.

### **Список використаної та рекомендованої літератури**

1. *Практикум по химии углеводов* / [под ред. Ю.А. Жданова]. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. школа, 1973. — 204 с.
2. *Шапиро Д.К.* Практикум по биологической химии / Д.К. Шапиро ; под. ред. А.С. Вечера. — 2-е изд., перераб. и доп. — Минск : Вышэйш. школа, 1976. — 288 с.
3. *Кочетков Н.К.* Химия углеводов / Н.К. Кочетков. — М. : Химия, 1976. — 672 с.
4. *Файгль Ф.* Капельный анализ органических веществ / Ф. Файгль ; пер с англ. — М. : Госхимиздат, 1962. — 836 с.