

Algorithm for conducting a comprehensive forensic veterinary examination with the study of potential and toxic substances for isoniazid poisoning in animals

V. Bulavina¹✉ | I. Yatsenko¹ | K. Rudnieva¹ | O. Nikiforova² | O. Mazannyi² | R. Kolobniev¹ | N. Kozakova¹ | V. Yefimov¹

Article info

Correspondence Author

V. Bulavina

E-mail:

viktoriyabulavina84@gmail.com

¹ National Scientific Center "Hon. Prof. M. S. Bokarius Forensic Science Institute", 8-a Zolochenska Str., Kharkiv, Ukraine, 61177, Ukraine

² State University of Biotechnology, Alchevsky Str., 44, Kharkiv, 61002, Ukraine

Citation: Bulavina, V., Yatsenko, I., Rudnieva, K., Nikiforova, O., Mazannyi, O., Kolobniev, R., Kozakova, N., & Yefimov, V. (2025). Algorithm for conducting a comprehensive forensic veterinary examination with the study of potential and toxic substances for isoniazid poisoning in animals. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (2), 231–235. doi: 10.31210/spi2025.28.02.36

In recent decades, there has been a significant increase in the number of stray animals. The main reason for this is the irresponsible attitude of people, which leads to uncontrolled reproduction of animals, the appearance of unwanted offspring on the streets. The lack of sterilization of animals that do not have breed value and are not used for breeding worsens the situation. Cases of poisoning of domestic animals with isoniazid have become more frequent, when they accidentally consume poisoned food or bait containing poison. Intentional poisoning of both stray and domestic animals is recorded. Although the current legislation of Ukraine provides for liability for cruelty to animals (Article 89 of the Code of Ukraine on Administrative Offenses and Article 299 of the Criminal Code), the number of such cases remains high. This is due to the lack of clear, civilized mechanisms for solving the problem. The regulation of the number of stray dogs, which is mainly carried out by municipal enterprises through the creation of shelters and detention centers, does not give the desired results. Unfortunately, the problem remains acute, and its solution is often controlled by unauthorized methods. Among such methods, the use of poisonous baits is widespread, in particular isoniazid (tubazid) - isonicotinic acid hydrazide. This drug, which is usually used in medicine to treat tuberculosis, is included in the list of the ten most dangerous drugs for dogs, determined by the American Society for the Prevention of Cruelty to Animals. Isoniazid is especially toxic to dogs due to the absence in their body of the enzyme N-acetyltransferase, necessary for metabolic transformations. Once in the dog's body, the drug is quickly absorbed into the blood, causing irreversible disorders and serious health consequences.

Keywords: forensic veterinary examination, dogs, animal cruelty, poisoning, isoniazid.

Алгоритм проведення комплексної судової ветеринарної із дослідження сильнотоксичних та отруйних речовин експертизи за отруєння тварин ізоніазидом

В. С. Булавина¹ | І. В. Яценко¹ | К. Є. Руднєва¹ | О. В. Нікіфорова² | О. В. Мазанний² | Р. С. Колобнєв¹ | Н. О. Козакова¹ | В. В. Єфімов¹

¹ Національний науковий центр «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса» м. Харків, Україна

² Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

Останні десятиліття спостерігається значне зростання кількості безпритульних тварин. Основною причиною цього є безвідповідальне ставлення людей, яке призводить до неконтрольованого розмноження тварин, появи небажаного потомства на вулицях. Відсутність стерилізації тварин, які не мають породної цінності, не використовуються для розведення, погіршує ситуацію. Почастішали випадки отруєння домашніх тварин ізоніазидом, коли вони випадково споживають отруєний корм чи приманки, в яких міститься отрута. Фіксуються умисні отруєння і безпритульних, і домашніх тварин. Хоча чинне законодавство України передбачає відповідальність за жорстоке поводження з тваринами (стаття 89 Кодексу України про адміністративні правопорушення та стаття 299 Кримінального кодексу), кількість подібних випадків залишається високою. Це обумовлено відсутністю чітких, цивілізованих механізмів вирішення проблеми. Регулювання чисельності безпритульних собак, яке переважно здійснюється комунальними підприємствами через створення притулків і центрів перетримки, не дає бажаних результатів. На жаль, проблема залишається гострою, а її вирішення часто контролюється несанкціонованими методами. Серед таких методів поширено використання отруйних приманок, зокрема ізоніазиду (тубазиду) – гідразиду ізонікотинової кислоти. Цей препарат, що зазвичай застосовується у медицині для лікування туберкульозу, входить до списку десяти найбільш небезпечних препаратів для собак, визначеного Американським товариством попередження жорстокості до тварин. Ізоніазид особливо токсичний для собак через відсутність у їхньому організмі ферменту N-ацетилтрансферази, необхідної для метаболічної перетворень. Потрапляючи в організм собаки, препарат швидко всмоктується в кров, спричиняючи незворотні порушення та серйозні наслідки для здоров'я.

Ключові слова: судово-ветеринарна експертиза, собаки, жорстоке поводження, отруєння, ізоніазид.

Бібліографічний опис для цитування: Булавина В. С., Яценко І. В., Руднєва К. Є., Нікіфорова О. В., Мазанний О. В., Колобнєв Р. С., Козакова Н. О., Єфімов В. В. Алгоритм проведення комплексної судової ветеринарної із дослідження сильнотоксичних та отруйних речовин експертизи за отруєння тварин ізоніазидом. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (2). С. 231–235.

Вступ

Як в усьому світі, так і в Україні надзвичайно актуальним стало питання захисту тварин від жорстокого поводження і забезпечення їх благополуччя [1, 2]. Це пояснюється тим, що жорстока поведінка з тваринами, яка стає особливо значущою за умов її очевидності, негативно впливає на моральні засади суспільства в цілому та спричиняє деформацію психічного стану окремих людей, виступає джерелом інших кримінальних правопорушень проти життя та здоров'я людини [3].

Зауважимо, що за 2021 р. зареєстровано 526 злочинів за ст. 299 КК України [4]. На жаль, в Україні випадки жорстокого поводження з тваринами залишаються поширеним явищем, а отруєння займає одне з перших місць серед таких злочинів [5, 6]. Особливу тривогу викликає те, що люди часто стають свідками публічних страждань і загибелі тварин. Нерідко очевидцями цих подій є діти. [7].

Під час досудового розслідування справ про жорстоке поводження з тваринами використання спеціальних ветеринарних знань у вигляді судово-ветеринарної експертизи відіграє важливу роль як науково обґрунтований інструмент доказування у судових процесах. Цей напрямок було впроваджено у систему експертних установ Міністерства юстиції України у 2019 році за ініціативи Національного наукового центру «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса» (далі – ННЦ ICE) [8]. Треба зазначити, що згаданий різновид судової експертизи в Україні є новим, а теоретичні, методологічні розробки щодо різних об'єктів судово-ветеринарної експертизи, у т. ч. й тварин, смерть яких настала від отруєння, знаходяться на початковому етапі їх реалізації на практиці. З огляду на це слідчі часто стикаються з труднощами під час організації розслідування та призначення судово-ветеринарної експертизи у такій категорії справ.

Ізоніазид, проявляє потужну бактерицидну активність, переважно до мікобактерій туберкульозу, і широко застосовується в медичній практиці для лікування цієї хвороби. При цьому, препарат доступний у аптеках без рецепта. Висока чутливість собак до ізоніазиду пов'язана з низькою активністю ферменту N-ацетилтрансферази в їхній печінці. З'єднання похідних ізоніазиду з піридоксином призводить до значного зниження синтезу γ -аміномасляної кислоти, виникають судоми, гіпоглікемічна кома та смерть собаки [3, 9–12].

При надходженні ізоніазиду в організм собаки велика частина препарату потрапляє в кров, спричиняючи серйозні незворотні зміни в організмі тварини. За даними літератури, ізоніазид легко проходить через гематоенцефалічний бар'єр та накопичується в різних тканинах і рідинах організму. Він швидко всмоктується в тонкому кишечнику, при цьому близько 50–70 % препарату виводиться нирками у незмінному вигляді. Серед активних метаболітів ізоніазиду виділяється ізонікотиніламід. Також, цей препарат піддається гідроксилюванню та утворює гідразони з піровиноградною та α -кетоглутаровою кислотами [4, 8, 10, 13, 14].

Після отруєння ізоніазидом максимальна концентрація препарату в організмі собаки досягається менш ніж за дві години, а перші симптоми проявляються вже через 30–60 хвилин. У собак спостерігаються сонливість, порушення координації (атаксія), тремор, слабкість кінцівок, надмірне виділення слини, блювота (часто з кров'ю), судоми, а в подальшому порушення дихальної функції та діяльності серця, кома. Без відповідного лікування смерть настає протягом трьох годин практично у всіх випадках. Для собаки летальною може бути доза 50 мг ізоніазиду на 1 кг маси тіла. При цьому одна таблетка містить 300 мг активної речовини [3, 8, 10, 11, 13, 15].

Як зазначають дослідники, під час патолого-анатомічного розтину собак, що загинули від отруєння ізоніазидом, реєструються такі зміни: загальна венозна гіперемія, гостра дилатація правого шлуночка серця, застійна гіперемія і набряк легенів, гастроентерит катарального характеру, а також застійна гіперемія і дистрофічні зміни печінки, нирок і рідше – випадки панкреонекрозу. На цьому етапі для гістологічного і токсикологічного досліджень відбираються зразки органів і тканин, а також кров, сеча та вміст шлунка [10, 13, 14, 16–18].

За даними літератури, залишковий ізоніазид може тривалий час зберігатися в різних умовах після смерті тварини. Так, при відкритому доступі до трупа препарат і його продукти розпаду залишаються у шлунку, тонкому кишечнику і нирках протягом п'яти місяців, у печінці – протягом чотирьох місяців, у мозку – до трьох місяців. Проте, при захороненні трупів у землю цей період значно скорочується [10, 13, 15, 16, 19].

Мета дослідження

Мета дослідження – проаналізувати досвід використання спеціальних ветеринарних знань під час розслідування злочинів жорстокого поводження з тваринами, зокрема їх умисного отруєння, а також алгоритм судово-ветеринарного дослідження трупів тварин за їх отруєння з метою надання висновку експерта в категоричній формі.

Матеріали і методи

Матеріалом дослідження були екстракти з проб гомогенізованих внутрішніх органів, відібраних від трупів тварин, смерть яких, за клінічними ознаками, настала від отруєння. Зазначені екстракти досліджувались за допомогою газового хроматографа з мас-селективним детектуванням (Shimadzu, Японія).

Для виконання роботи використовувалися загальні методи (аналіз, синтез, індукція, дедукція, моделювання, формалізація та абстрагування), окремі методи (метод відбирання проб), спеціальний метод, функції якого виконує хроматографічний метод дослідження проб для виявлення ізоніазиду. Об'єктами дослідження були трупи собак ($n=30$), які поступили до ННЦ ICE для проведення судово-ветеринарної експертизи у зв'язку з їх ймовірним отруєнням.

Результати та їх обговорення

Встановлення факту загибелі тварин від отруєння доцільно здійснювати з урахуванням запропонованого нами алгоритму, зокрема:

- огляд трупа тварини на місці події із обов'язковим залученням спеціаліста ветеринарної медицини та укладання протоколу огляду;
- внесення правоохоронним органом інформації про правопорушення до ЄРДР і відкриття кримінального провадження;
- укладання постанови про призначення судово-ветеринарної експертизи [20]. У процесуальному документі про призначення судової експертизи (постанові слідчого чи прокурора або в ухвалі суду) у разі смерті тварини з підозрою на отруєння можуть бути поставлені питання, перелік яких запропонований І. В. Яценком [20];
- спрямування трупа тварини до експертної установи для проведення судово-ветеринарного дослідження;
- проведення судово-ветеринарного дослідження трупа тварин [21];
- формулювання підсумків та укладання висновку експерта;
- долучення висновку судового експерта до матеріалів кримінального провадження.

Доцільно виокремити ще одну проблему, що постає перед судово-ветеринарним експертом: встановити причинно-наслідковий зв'язок між смертю тварини та її отруєнням. Вважаємо, що для дотримання принципів судово-експертної діяльності, зокрема, принципу об'єктивності, обґрунтованості, правильності й правдивості судово-експертних досліджень, проведення судовим експертом лише судово-ветеринарного розтину буде не достатнім, адже виявлені патоморфологічні зміни в трупі тварини будуть не специфічними, отже, не інформативними для надання висновку експерта у категоричній формі. У разі настання смерті собак від отруєння ізоніазидом (протитуберкульозним препаратом) у тварин, що загинули, під час патологоанатомічного розтину превальювали наступні ознаки: загальна венозна гіперемія (n=15), гострий катаральний гастроентерит (n=9), крововиливи в підшлунковій залозі та панкреонекроз (n=3), гостре розширення правого шлуночка серця (n=11), гостра застійна гіперемія та набряк легень (n=14), гіперемія та дистрофія печінки (n=8). Нирки кровонаповнені, збільшені в об'ємі; поверхня органу гладка, капсула нирки знімається легко; межа між кірковою і мозковою речовиною виражена чітко; кіркова речовина коричнево-вишневого, а мозкова – червоно-рожевого кольору.

Результати наших досліджень щодо не специфічності патоморфологічних змін за отруєння собак ізоніазидом цілком узгоджуються із даними, приведеними іншими дослідниками, зокрема, С. В. Шкурдою, Д. Ю. Шинкаренком, В. В. Пасічником, К. П. Королем, О. О. Посільським [14], В. Г. Павлушко, М. М. Омелянцем, С. Є. Гаркушою, Д. М. Клименком [10] та інших.

З огляду на вищевикладене, для об'єктивного діагностування отруєння тварин необхідно додатково провести хіміко-токсикологічне дослідження вмісту шлунково-кишкового тракту трупа тварини, а також корму, який згодовували підекспертній тварині та який потенційно міг містити приховану отруту. Нині отруєння тварин, зокрема собак, часто здійснюють, використовуючи протитуберкульозні антибіотики, які використовуються в гуманній медицині (ізоніазид, рифампіцин тощо).

Слід акцентувати увагу на тому, що такі дослідження успішно проводяться в ННЦ ІСЕ, ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л. І. Медведя» Міністерства охорони здоров'я України, Державному науково-дослідному інституті з лабораторної діагностики та ветеринарно-санітарної експертизи та інших акредитованих лабораторіях та наукових установах.

Покажемо на конкретному прикладі із власної судово-експертної практики алгоритм встановлення причини смерті собаки, труп якої досліджували в ННЦ ІСЕ. Із постанови слідчого про призначення судово-ветеринарної експертизи за фактом підозри смерті собаки від отруєння відомо, що її годували шматочками ковбаси, які й надані на дослідження разом із трупом тварини в судово-експертну установу. Під час мікроскопії шматочків ковбаси будь-які частинки порошкоподібної речовини або часток пігулок не виявлено. Для подальшого дослідження частина ковбаси, а також вмісту шлунку підекспертного трупа собаки, гомогенізації зразків з наступною екстракцією ізоніазиду розчином етилового спирту.

Далі проводили дослідження об'єктів методом газової хроматографії з мас-селективним детектуванням з метою якісного визначення компонентного складу об'єктів дослідження. Для цього етанольний розчин об'єкта аналізували на хроматографі газовому «Shimadzu GS» з мас-спектрометричним детектором – GSMS-QP2020 за таких умов: капілярна колонка – CH-Rxi-5 ms, довжина – 30 м, діаметр – 0,25 мм, фаза – 0,25 мкм, газ-носіє – гелій, постійний потік 1,5 мл/хв, Split 10 : 1, температура випарника 250 °C, температура колонки: Т поч. = 60 °C, швидкість нагріву 20 °C/хв., Т кінц. = 280 °C, температура інтерфейсу Т=250 °C, проба – 1 мкл.

Ідентифікація сполуки здійснювалася за мас-спектрами та індексами утримання. В результаті проведеного дослідження на хроматограмі досліджуваного об'єкта виявлений пік, що відповідає ізоніазиду, з індексом утримання 8,739 (рис. 1).

Також для встановлення у складі об'єктів ізоніазиду були проведені наступні хімічні дослідження: з 10 % розчину азотнокислого срібла (за позитивної реакції через 3–5 хв у полі зору мікроскопу спостерігали утворення призматичних кристалів або їх зростки у вигляді снопів, а також реакції з 1 % спиртовим розчином м-динітробензолу та 10 % розчином їдкого натру (до частини спиртового розчину об'єктів додавали по краплі 1 % спиртового розчину м-динітробензолу та 10 % розчин їдкого натру.

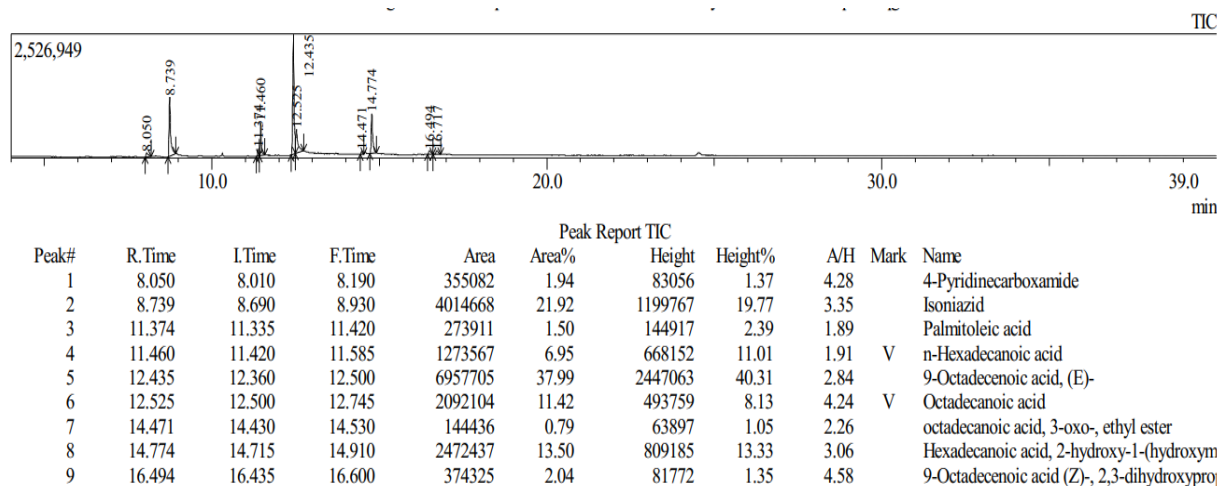


Рис. 1. Хроматограма досліджуваних об'єктів: пік, що відповідає ізоніазиду, з індексом утримання 8,739

Отриману суміш нагрівали в киплячій водянній бані. При цьому спостерігали утворення забарвлення суміші у фіолетово-червоний колір, що підтверджує наявність ізоніазиду).

Таким чином, під час проведення судово-ветеринарної експертизи 30 собак з підозрою на їх отруєння в ННЦ ICE було підтверджено отруєння тварин ізоніазидом у 16 випадках, що становить майже 54 %. Тобто, варто наголосити, що даний метод є досить об'єктивним, швидким, практичним, а отримані результати достовірними.

Висновки

Враховуючи високу чутливість, відтворюваність та достовірність методів, їх можна рекомендувати для діагностики отруєння собак ізоніазидом під час проведення судово-ветеринарної експертизи у кримінальних провадженнях, які відкривають у зв'язку із жорстоким поводженням з тваринами в результаті їх смертельного отруєння.

Перспективи подальших досліджень полягатимуть у характеристиці етапів призначення та стадій проведення комплексної судової експертизи за отруєння тварин.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів щодо викладу та результатів досліджень.

References

- Bolshov, Ye., Miroshnichenko, A., & Pyrolova, D. (2013). Yevro mynulo – bezdomni sobaky vse shche z namy. *Dzerkalo Tyzhnia*, 12. Retrieved from: <https://zn.ua/ukr/SOCIUM/yevro-minulo-bezdomni-sobaki-vse-sche-z-nami-.html> [in Ukrainian]
- Monsalve, S., de Souza, P. V., Lopes, A. S., Leite, L. O., Polo, G., & Garcia, R. (2021). Veterinary forensics, animal welfare and animal abuse: perceptions and knowledge of Brazilian and Colombian veterinary students. *Journal of Veterinary Medical Education*, 48 (6), 640–648. <https://doi.org/10.3138/jvme-2019-0138>
- Alleyne, E., & Parfitt, C. (2017). Adult-perpetrated animal abuse: A systematic literature review. *Trauma, Violence, & Abuse*, 20 (3), 344–357. <https://doi.org/10.1177/1524838017708785>

- Vyroky 2021. Zhorstoke povodzhennia z tvarynamy. (n.d.). *Yedynyi Derzhavnyi Reiestr Sudovykh Rishen*. Retrieved from: <https://reyestr.court.gov.ua/> [in Ukrainian]
- Bulavina, V. S., Zarubina, M. V., Sych, I. V., Perekhoda, L. O., Baiurka, S. V., & Sych, I. A. (2020). Khimiko-toksykologichnyi analiz izoniazidu v sudovo-veterynarii ekspertyzi. *Teoretychni ta praktychni aspekty doslidzhennia likarskykh roslin : materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii (Kharkiv, 26–27 lystopada 2020)*. (pp. 61–62). Kharkiv: NFaU, 61–62. Retrieved from: <https://dspace.nuph.edu.ua/bitstream/123456789/24034/1/61-62.pdf> [in Ukrainian]
- Mul'skyi, O. (2018). Chomu Ukraina – odna z lideriv za kilkistiu bezprytnykh tvaryn, i yak tse zminyty. *Ukrainska Pravda*. Retrieved from: <https://life.pravda.com.ua/society/2018/03/7/229362/> [in Ukrainian]
- Hensley, C., & Ketron, J. B. (2018). The predictive ability of childhood animal cruelty methods for later interpersonal crimes. *Behavioral Sciences & the Law*, 36 (6), 730–738. <https://doi.org/10.1002/bsl.2369>
- Yatsenko, I., & Derecha, L. (2019). Possibilities of forensic veterinary as a new type of forensic science. *Theory and Practice of Forensic Science and Criminalistics*, 19 (1), 550–567. <https://doi.org/10.32353/khrife.1.2019.44>
- Isoniazid. (n.d.). *Kompendyum 2008 – likarski preparaty*. Retrieved from: <https://chem.nlm.nih.gov/chemidplus/name/isoniazid.10> [in Ukrainian]
- Pavlunko, V. G., Omelianenko, N. N., Garkusha, S. E., & Klimenko, D. M. (2018). Histological changes in dogs with acute poisoning with isoniazid. *Veterinary Science, Technologies of Animal Husbandry and Nature Management*, 2, 136–139. <https://doi.org/10.31890/vtvp.2018.02.35>
- Human Medications Top the List of ASPCA Animal Poison Concerns. (2015). *American Society for the Prevention of Cruelty to Animals*. Retrieved from: <https://www.aspc.org/about-us/press-releases/human-medications-top-list-aspc-animal-poison-concerns>
- Schmid, D. R., Lee, J. A., Wismer, T. A., Diniz, P. P. V. P., & Murtaugh, R. J. (2017). Isoniazid toxicosis in dogs: 137 cases (2004–2014). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 251 (6), 689–695. <https://doi.org/10.2460/javma.251.6.689>
- Shestakova, M. O., & Shkvaria, M. M. (2016). Otruiennia sobak izoniazidom u misti Dnipropetrovsk. *Naukovo-Tekhnichniy Biuletyn Nds Biobezpeky ta Ekologichnoho Kontroliu Resursiv APK*, 2 (4), 29–34. [in Ukrainian]
- Shkurdoda, S. V., Shynkarenko, D. Yu., Pasichnyk, V. V., Korol, K. P., & Posil'skyi, O. O. (2021). Ekspertne doslidzhennia izoniazidu v miasnii produktsii. *Kryminalistyka i Sudova Ekspertyza*, 66, 616–627. [in Ukrainian]
- Bayer, O. V., Bondarets, O. V., Dobrozhan, Yu. V., Liniichuk, N. V., Stupak, O. M., Dereviaga, G. I., Shevchenko, L. V., & Mykhalska, V. M. (2018). Sposib vyznachennia izoniazidu v orhanizmi sobak pry otruienni. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8 (1), 498–502. https://doi.org/10.15421/2018_241 [in Ukrainian]

16. Kotsyumbas, H., Dancovych, R., & Vretsona, N. (2018). Pathomorphology and diagnosis of dogs poisoning with isoniazid. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 20 (83), 108–114. <https://doi.org/10.15421/nvlvet8321>
17. Maurer, H. H., Pfleger, K., & Weber, A. A. (2017). *Mass Spectral and GC data of Drugs, Poisons, Pesticides, Pollutants and Their Metabolites. 5th, revised and enlarged editions*. Homburg (Saar), Germany.
18. Touroo, R., & Fitch, A. (2016). Identification, collection, and preservation of veterinary forensic evidence. *Veterinary Pathology*, 53 (5), 880–887. <https://doi.org/10.1177/0300985816641175>
19. Novozhytska, Yu. M. (2015). Laboratorna diahnozyka otruien sobak. *Visnyk Ahraryoi Nauky*, 3, 37–38. [in Ukrainian]
20. Yatsenko, I. V. (2022). Problemy ukladannia upovnovazhenoiu osoboiu postanovy pro pryznachennia sudovo-veterynarnoi ekspertyzy ta shliakhy yikh vyreshennia. *Forum Prava*, 73 (2), 6–21. <http://doi.org/10.5281/zenodo.6471059> [in Ukrainian]
21. Yatsenko, I. V., & Kazantsev, R. H. (2021). The procedure of conducting an animal's corpse forensic veterinary examination in the dissecting room of specialized expert institution. *Veterinary Science, Technologies of Animal Husbandry and Nature Management*, 7, 179–191. <https://doi.org/10.31890/vttp.2021.07.28>

ORCID

- | | |
|---|---|
| V. Bulavina  | https://orcid.org/0000-0001-8746-9693 |
| I. Yatsenko  | https://orcid.org/0000-0001-8903-2129 |
| K. Rudnieva  | https://orcid.org/0000-0002-7676-749X |
| O. Nikiforova  | https://orcid.org/0000-0001-5586-5886 |
| O. Mazanniy  | https://orcid.org/0000-0002-4442-4011 |
| R. Kolobniev  | https://orcid.org/0000-0002-4343-4728 |
| N. Kozakova  | https://orcid.org/0009-0000-6617-3228 |
| V. Yefimov  | https://orcid.org/0009-0002-0485-169X |



2025 Bulavina V. et al. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

V. Bulavina¹  | I. Yatsenko¹ | K. Rudnieva¹ | O. Nikiforova² | O. Mazanniy² | R. Kolobniev¹ | N. Kozakova¹ | V. Yefimov¹