

## АСФИКСИЯ, ВЫЗВАННАЯ ВДЫХАНИЕМ АЗОТА: ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ

Халиков А.А., Сагидуллин Р.Х., Лапин М.А., Кузнецов К.О.

*ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет Минздрава России», Уфа, e-mail: kirillkuznetsov@aol.com*

Смерть от вдыхания газов и летучих веществ имеет большую распространенность по всему миру. В настоящее время существует ограниченное число исследований, посвященных анализу смертей в результате вдыхания инертных газов, среди них стремительно растет количество смертельных случаев от вдыхания азота (N<sub>2</sub>). N<sub>2</sub> – это удушающий газ, сходный с гелием, обычно используемый в медицине, а также в химической промышленности с целью быстрого замораживания и сохранения продуктов питания. Потенциальная летальность от вдыхания азота связана с недостатком или отсутствием кислорода во вдыхаемом воздухе, что вызывает утомляемость, тошноту и потерю сознания. Несмотря на наличие очевидных признаков вдыхания азота при осмотре места происшествия, необходимо исключить другие причины смерти, а также оценить признаки гипоксии. Наиболее точная диагностика вдыхания азота может быть установлена только на основании токсикологических анализов. В настоящей статье описаны два метода, которые могут свободно применяться в судебно-медицинской практике благодаря своей простоте и дешевизне. Отсутствие разделения газов при хроматографии может ограничивать применение указанных методов, поэтому осмотр места происшествия и анализ медицинской документации по-прежнему играют решающую роль.

Ключевые слова: азот, ингаляция, самоубийство, убийство, асфиксия, судебная медицина.

## NITROGEN INHALATION ASPHIXIA: PROBLEMS AND DIAGNOSTIC FEATURES

Khalikov A.A., Sagidullin R.H., Lapin M.A., Kuznetsov K.O.

*FGBOU VO «Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of Russia», Ufa, e-mail: kirillkuznetsov@aol.com*

Death from inhalation of gases and volatiles is widespread throughout the world. There is currently a limited number of studies looking at deaths from inhalation of other noble gases, with the number of nitrogen (N<sub>2</sub>) inhalation deaths growing rapidly. N<sub>2</sub> is an asphyxiant gas, similar to helium, commonly used in medicine and in the chemical industry to quickly freeze and preserve food. The potential lethality of nitrogen inhalation is associated with the replacement of oxygen in the inhaled air, causing fatigue, nausea and loss of consciousness. Although there are obvious signs of nitrogen inhalation when examining the scene, other causes of death should be ruled out and signs of hypoxia should be assessed. The most accurate diagnosis of nitrogen inhalation can only be established on the basis of toxicological tests. This article describes two methods that can be freely applied in forensic practice due to their simplicity and low cost. The lack of gas separation in chromatography can limit the use of these methods, therefore, the inspection of the scene and the analysis of medical records still play a decisive role.

Keywords: nitrogen, inhalation, suicide, murder, asphyxia, forensic medicine.

Смерть от вдыхания газов и летучих веществ имеет большую распространенность по всему миру [1–3]. Отравление монооксидом углерода (CO) на сегодняшний день является наиболее частой причиной смерти от вдыхания газов. Стоит отметить, что стремительно набирает популярность вдыхание гелия с целью самоубийства [4, 5], в Австралии количество таких случаев выросло на 163% с 2001 по 2009 гг. [6] и в Великобритании на 1680% с 2001 по 2011 гг. [7]. Распространенность вдыхания газов с целью самоубийства, вероятнее всего, связана с растущими публикациями в сети Интернет, где говорится о простоте и безболезненности такого способа [1]. В настоящее время имеется ограниченное число

исследований, посвященных анализу смертей в результате вдыхания других инертных газов [7], среди них стремительно растет количество смертельных случаев при вдыхании азота ( $N_2$ ) [1, 8].  $N_2$  – это удушающий газ, сходный с гелием, обычно используемый в медицине, а также в химической промышленности с целью быстрого замораживания и сохранения продуктов питания. Потенциальная летальность вдыхания азота связана с замещением кислорода во вдыхаемом воздухе, что вызывает утомляемость, тошноту и потерю сознания. Опасным для жизни является снижение уровня кислорода во вдыхаемом воздухе ниже 19% [9]. После вдыхания чистого азота потеря сознания развивается менее чем за 40–60 секунд [10]. Учитывая, что азот является обычным компонентом окружающего воздуха, крови и тканей, качественный анализ не представляется достаточно информативным для установления факта острого отравления азотом. На сегодняшний день имеется малое количество литературных данных, посвященных посмертному анализу газов трупа, что делает актуальными дальнейшие исследования в этом направлении.

Цель обзора – проанализировать случаи смертельного вдыхания азота, оценить наиболее частые обстоятельства смерти и механизм смерти при вдыхании азота, а также определить наиболее надежные методы диагностики.

#### **Материал и методы исследования**

Поиск литературы осуществлялся в электронных базах данных PubMed и Scopus. Поисковый запрос включал слова «nitrogen» AND «death», «nitrogen inhalation» AND «forensic medicine», «nitrogen inhalation» AND «suicide». Всего было проанализировано 40 источников. Оценивали статьи во временном промежутке с 1959 по 2021 гг. Исключались несмертельные случаи вдыхания азота. В исследование были включены статьи только на английском языке. В каждой статье анализировали пол и возраст потерпевшего, результаты осмотра места происшествия, аутопсии и токсикологического анализа, а также методы, используемые для посмертного определения азота, и давность наступления смерти.

#### *Анализ случаев смерти в результате вдыхания $N_2$*

В результате анализа литературных данных нами было выявлено 14 случаев смертельного вдыхания  $N_2$ , 5 из которых произошли в 2019 г., что еще раз подтверждает растущую популярность данного газа с целью суицида. Были описаны несчастные случаи, связанные с хранением или транспортировкой жидкого  $N_2$ , а также имеются сообщения о случайном вдыхании азота аквалангистами и пациентами, находящимися под наркозом, в результате врачебной ошибки [10].

В рассмотренных нами статьях концентрация азота определялась только в 4 из 14 случаев. Основную роль в диагностике отравления азотом играют тщательный осмотр места происшествия и медицинская документация [8, 11, 12]. Отравление  $N_2$  в большинстве случаев

диагностировали без токсикологического исследования, когда другие причины смерти (травматические, токсикологические и т.д.) были исключены [13, 14, 15]. Это может быть связано с отсутствием достоверного метода или сложностью определения азота в крови после смерти [16, 17]. Даже в условиях того, что основным методом диагностики являются косвенные доказательства, не стоит упускать из виду возможность инсценировки самоубийства, поскольку родственники либо иные лица могут пытаться скрыть аутоэротическую смерть или эвтаназию в домашних условиях, а также преступник путем инсценировки может пытаться скрыть улики, подтверждающие убийство [18, 19].

Токсикологический анализ при асфиксии, вызванной газами, вызывает затруднения. Главная проблема связана с отбором проб для анализа, на сегодняшний день отсутствуют международные рекомендации по сбору выдыхаемого воздуха после смерти [20, 21]. На данный момент биопсия легких является золотым стандартом при отравлениях газами, однако данное исследование показало недостаточную репрезентативность [22].

Вауер [23] предложил методику извлечения альвеолярного воздуха из легких во время вскрытия. Данный метод предусматривает гомогенизацию дискретного количества материала в герметичный контейнер, а также закрытую систему с газом-носителем, в которой воздух из легких может быть гомогенизирован и измерен. Но, к сожалению, такой метод пока что не используется ни в одном бюро судебно-медицинской экспертизы ввиду его сложности. Downs et al. [19] предложили трансторакальную аспирацию воздуха из легких при осмотре трупа на месте происшествия, но на практике у судебно-медицинских экспертов нет должного оборудования. Интратрахеальный забор проб воздуха требует, чтобы трахея была быстро перекрыта зажимом, но при большинстве вскрытий верхние дыхательные пути находятся в контакте с окружающей средой. Более того, может произойти посмертное перераспределение из-за высокой летучести газов, особенно в случаях сердечно-легочной реанимации, что делает забор проб воздуха еще менее информативным [18]. В случаях, когда альвеолярный воздух не может быть извлечен, методом выбора является забор крови [24].

Азот является обычным компонентом воздуха и быстро диспергируется в окружающей среде [3, 19], во многих описанных случаях говорилось о невозможности проведения токсикологического анализа. В отличие от других удушающих газов, избыток азота должен быть подтвержден количественным анализом. При всех случаях с подозрением на отравление азотом необходимо раннее вовлечение токсикологов, начиная с осмотра места происшествия, чтобы провести максимально быстрый и точный забор проб.

*Методы диагностики вдыхания азота*

*Определение пиковой концентрации  $N_2$ : плюсы и минусы метода*

Было доказано, что пиковая концентрация азота крови в случаях отравления была на 85% выше в сравнении с контролем (иная причина смерти) [25]. Оценка пиковой концентрации азота крови зарекомендовала себя как простой и рабочий способ диагностики острого отравления азотом, данный метод продемонстрировал хорошую линейность, внутрисуточную и межсуточную точность [26].

Сильными сторонами метода являются: короткое время анализа (менее 4 мин), повторяемость, высокая точность и дешевизна. Данные положительные характеристики позволяют внедрить метод в любое бюро судебно-медицинской экспертизы.

Слабыми сторонами данного метода являются: возможная утечка газа при использовании обычного шприца при заборе крови, необходимость использования газонепроницаемого шприца; отсутствие избирательности, поскольку метод основан на экстракции выбранных ионов и не позволяет хроматографически разделить газы, поэтому перед использованием данного метода необходимо исключить вдыхание других газов, например оксида азота. Чтобы исключить дальнейшие ошибки, требуется сравнение подозрительного на отравление азотом случая с контролем с аналогичной давностью наступления смерти.

#### *Оценка соотношения $N_2/O_2$ : плюсы и минусы метода*

Связывание  $O_2$  и  $CO_2$  с гемоглобином позволяет насыщать кровь кислородом даже при падении его парциального давления, что может значительно затруднять интерпретацию результатов при определении газов в крови трупов. Также необходимо учитывать изменения, которые происходят в раннем посмертном периоде. При гиповентиляции парциальное давление кислорода снижается, в то время как парциальное давление углекислого газа продолжает расти, приводя к респираторному ацидозу. Парциальное давление кислорода падает пропорционально уменьшению концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе, например при концентрации  $O_2$  во вдыхаемом воздухе от 21% до 10%  $PaO_2$  составляет менее 50 мм рт. ст., что является опасным для жизни [27]. Далее происходят клеточная дегградация, переход на анаэробный метаболизм, появление бактериальных сообществ с дальнейшей дегградацией. Например, бикарбонат и диоксид углерода накапливаются *in vivo* в течение первых 96 ч после смерти, о чем свидетельствует снижение pH [28]. Giorgetti et al. [29] описали случай самоубийства с использованием жидкого азота, при этом в качестве дополнительного диагностического метода они определяли соотношение  $N_2/O_2$  с помощью хроматографии газов крови трупа. Авторы проводили сравнение с контролем (живые лица), было выявлено значительное повышение соотношения  $N_2/O_2$  и  $CO_2$  исследуемого трупа в сравнении с контролем. Все анализы проводились на образцах центральной крови, чтобы свести к минимуму возникновение ошибок, связанных с местом забора проб. Повышенную

концентрацию CO<sub>2</sub> у трупа авторы объяснили тем, что развился тяжелый метаболический ацидоз, вызванный вдыханием азота.

Минусами данного метода являются: зависимость от давности наступления смерти, участок забора пробы, а также предшествующие реанимационные мероприятия. Оценка соотношения N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> может использоваться как дополнительный маркер гипоксии, но не как основной диагностический метод установления факта отравления азотом.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В судебно-медицинской практике причинами смертельных случаев от вдыхания смесей газов с низким содержанием кислорода (или полным его отсутствием) наиболее часто являются: аутоэротическая смерть, когда субъект пытается стимулировать либидо за счет гипоксии [30], случайное попадание человека в помещение с низким содержанием кислорода (туннели, шахты и т.д.) [31], асфиксия дайверов во время подъема с глубины [32]. Смертельное вдыхание азота встречается довольно редко, это обычно несчастные случаи. Азот является удушающим газом, который приводит к угнетению центральной нервной системы. Механизм смерти при вдыхании азота связан с вытеснением кислорода из вдыхаемого воздуха, так же как и при вдыхании диоксида углерода и метана. При вскрытии отсутствуют какие-либо специфические признаки, возможно лишь обнаружение типичных следов гипоксии [33]. Кроме того, поскольку азот является нормальным компонентом крови и воздуха, посмертная токсикологическая диагностика с целью определения причины смерти не представляется возможной, она применяется лишь для исключения иных возможных причин наступления смерти [32].

Газообразный азот может быть опасным для аквалангистов: когда воздух подается под повышенным давлением, на глубине азот растворяется в плазме и тканях, что может привести к азотному наркозу, при котором дезориентация и нарушение сознания могут напоминать отравление этанолом и стать причиной утопления. Также азот способен растворяться в тканях и попадать в кровоток при быстром подъеме с глубины, в результате чего образуются пузыри газа, способные вызвать эмболию сосудов жизненно важных органов, а также привести к развитию синдрома диссеминированного внутрисосудистого свертывания крови [34].

Несчастные случаи асфиксии в закрытых помещениях наиболее часто связаны с углекислым газом и метаном [35]. Избыток углекислого газа может накапливаться в колодцах и бункерах, а также в небольших закрытых помещениях, когда запасы кислорода истощаются. При попадании в такую среду возможно развитие внезапной смерти [36]. Иногда встречаются случаи смерти детей при самостоятельном закрытии в холодильнике старой конструкции [37].

Удушающие газы могут быть использованы как инструменты для самоубийства, а также способны являться причиной несчастных случаев во время наркоза и аутоэротических

действий [38]. Азот представляет собой анестезирующий газ с эйфорическим и наркотическим эффектами [9]. Leadbetter [39] описал необычный случай смерти стоматолога, который скончался во время аутоэротического акта с использованием наркозного аппарата, заполненного азотом. Кроме того, дополнительно был применен пластиковый пакет, надетый на голову с целью усиления сексуального удовлетворения за счет гипоксии. В зарубежной литературе имеются данные о применении азота в качестве средства для эвтаназии [40]. Было изобретено устройство («Экспиратор»), которое дозированно поставляет газообразный азот через маску, что вызывает плавное угасание жизни и смерть без дискомфорта. Однако, несмотря на доступность азота (а он широко применяется в промышленности, в виноделии, в производстве пейнтбольных шаров и пищевых упаковок, а также распространяется по дистрибьютерской сети продаж кондитерских товаров (баллоны с азотом используют для взбивания крема [3])), случаи суицида с его использованием крайне редки. Вероятно, одной из причин этого является то, что азот как основной компонент воздуха не ассоциируется у большинства населения с газом, способным вызвать летальный исход. Нельзя исключить и более высокую доступность других газов. Например, гелий используется для надувания резиновых шаров. Закись азота применяется в специализированных сферах, например в качестве наркозного средства, в химических лабораториях и для повышения оборотов двигателя гоночного автомобиля [2].

Немаловажной проблемой являются различные форумы в сети Интернет, где предоставляются готовые источники информации о методах, которые могут быть использованы для совершения самоубийства, а также ведется обсуждение этих методов. Было высказано предположение [8], что это может способствовать кластерным самоубийствам, когда несколько человек одновременно совершают суицид одинаковым методом и доказывается факт знакомства или общения этих лиц.

Большое число самоубийств с использованием удушающих газов остаются недиагностированными, особенно в случаях, когда человек имеет тяжелые сопутствующие заболевания. Определению причины смерти может препятствовать изменение места происшествия родственниками с целью инсценировки ее естественности. Поскольку смерть от удушающих газов не имеет никаких специфических признаков на аутопсии, а также из-за того, что азот является нормальным компонентом крови, токсикологическое исследование бесполезно, определение причины и способа смерти в случае вдыхания азота требует тщательного осмотра места происшествия и выяснения обстоятельств смерти. Определенные перспективы в доказательности удушения азотом показали метод определения пиковой концентрации азота, а также оценка соотношения  $N_2/O_2$  в качестве дополнительного маркера.

## **Заключение**

В структуре смертности от вдыхания азота в настоящее время преобладают самоубийства, поскольку в сети Интернет стремительно увеличивается число публикаций о безболезненности данного метода, но в структуре самоубийств с использованием газов вдыхание азота является наименее популярным способом. Возможно, это связано с труднодоступностью азота в сравнении с другими газами. Необходимо учитывать наличие в продаже специальных устройств для эвтаназии, например аппарата «Экспиратор». Также нельзя упускать из виду такие причины вдыхания азота, как аутоэротическая смерть и асфиксия дайверов.

Определение азота в крови трупа по-прежнему составляет серьезную проблему в судебно-медицинской токсикологии. Несмотря на наличие очевидных признаков вдыхания азота при осмотре места происшествия, необходимо исключить другие причины смерти, а также оценить признаки гипоксии. Как правило, аутопсия не выявляет морфологических признаков вдыхания азота и стандартная токсикологическая диагностика не дает значимых результатов. Это связано с тем, что азот является нормальным компонентом вдыхаемого воздуха.

Наиболее точная диагностика смерти от вдыхания азота может быть произведена только на основании специфических токсикологических анализов. В настоящей статье описаны два метода, которые могут свободно применяться в судебно-медицинской практике благодаря своей простоте и дешевизне. Однако отсутствие разделения газов при хроматографии может ограничивать применение указанных методов, поэтому осмотр места происшествия и анализ медицинской документации по-прежнему играют решающую роль.

На сегодняшний день остается актуальным поиск нового, более совершенного метода диагностики вдыхания азота, так как число смертей в результате данной причины стремительно растет, а многие случаи смерти могут быть просто неверно диагностированы при инсценировке на месте происшествия.

### **Список литературы**

1. Byard R.W. Changing trends in suicides using helium or nitrogen. *International journal of legal medicine*. 2020. vol. 134. no. 1. P. 259.
2. Pelletti G., Rossi F., Garagnani M., Barone R., Roffi R., Pelotti S. Medico-legal implications of toluene abuse and toxicity. Review of cases along with blood concentrations. *Legal medicine (Tokyo, Japan)*. 2018. vol. 34. P. 48-57.
3. Auwärter V., Pragst F., Strauch H. Analytical investigations in a death case by suffocation in an argon atmosphere. *Forensic science international*. 2004. vol. 143. no. 2-3. P. 169-175.

4. Leth P.M., Astrup B.S. Suffocation caused by plastic wrap covering the face combined with nitrous oxide inhalation. *Forensic science, medicine, and pathology*. 2017. vol. 13. no. 3. P. 372-374.
5. Cantrell L., Lucas J. Suicide by non-pharmaceutical poisons in San Diego County. *Clinical toxicology*. 2014. vol. 52. no. 3. P. 271-275.
6. Austin A., Winskog C., van den Heuvel C., Byard R.W. Recent trends in suicides utilizing helium. *Journal of forensic sciences*. 2011. vol. 56. no. 3. 649-651.
7. Gunnell D., Coope C., Fearn V., Wells C., Chang S.S., Hawton K., Kapur N., Suicide by gases in England and Wales 2001-2011: evidence of the emergence of new methods of suicide. *Journal of affective disorders*. 2015. vol. 170. P. 190-195.
8. Byard R.W., Winskog C., Heath K. Nitrogen inhalation suicide pacts. *Medicine, science, and the law*. 2019. vol. 59. no. 1. P. 57-60.
9. DiMaio D., DiMaio V.J. *Forensic pathology*. Boca Raton: CRC press, 2001. 592 p.
10. Weller M.A. Asphyxia with nitrogen. *British medical journal*. 1959. vol. 5121. no. 1. P. 559.
11. Frame M.H., Schandl C.A. A case example of asphyxia due to occupational exposure to airborne chemicals and review of workplace fatalities. *Journal of forensic sciences*. 2015. vol. 60. no. 2. P. 521-524.
12. Madentzoglou M.S., Kastanaki A.E., Nathena D., Kranioti E.F., Michalodimitrakis M., Nitrogen-plastic bag suicide: a case report. *The American journal of forensic medicine and pathology*. 2013. vol. 34. no. 4. 311-314.
13. Gill J.R., Ely S.F., Hua Z. Environmental gas displacement: three accidental deaths in the workplace. *The American journal of forensic medicine and pathology*. 2002. vol. 23. no. 1. P. 26-30.
14. Raczowska Z., Samojlowicz D. A case of death of the driver due to environmental asphyxia by liquid nitrogen leakage in the cabin of the car during a road accident. *Archiwum medycyny sadowej i kryminologii*. 2013. vol. 63. no. 4. P. 288-292.
15. Saur P., Kazmaier S., Wighton G.K., Panzer W., Kettler D. Exitus letalis caused by liquid nitrogen. *Anesthesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie: AINS*. 1997. vol. 32. no. 8. P. 522-525.
16. Tabata N., Funayama M., Ikeda T., Azumi J., Morita M. On an accident by liquid nitrogen--histological changes of skin in cold. *Forensic science international*. 1995. vol. 76. no. 1. P. 61-67.
17. Harding B.E., Wolf B.C. Case report of suicide by inhalation of nitrogen gas. *The American journal of forensic medicine and pathology*. 2008. vol. 29. no. 3. P. 235-237.
18. Bittorf A., Thieme D., Püschel K., Friedrich P., Peschel O., Rentsch D., Büttner A. Tod in Tüten, *Rechtsmedizin*. 2012. vol. 22. no. 1. P. 5-11.
19. Downs J.C., Conradi S.E., Nichols C.A. Suicide by environmental hypoxia (forced depletion of oxygen). *The American journal of forensic medicine and pathology*. 1994. vol. 15. no. 3. P. 216-

223.

20. Dinis-Oliveira R.J., Vieira D.N. Guidelines for Collection of Biological Samples for Clinical and Forensic Toxicological Analysis. *Forensic Sci. Res.* 2017. vol. 1. no. 1. P. 42-51.
21. Stimpfl T., Muller K., Gergov M., LeBeau M., Poletti A., Sportkert F., Weinmann W., Recommendations on sample collection. *Int. Assoc. Forensic Toxicol.* 2008. vol. 29. P. 1-7.
22. Varlet V., Iwersen-Bergmann S., Alexandre M., Cordes O., Wunder C., Holz F., Andresen-Streichert F., Bevalot F., Dumestre-Toulet V., Malbranque S., Fracasso T., Grabherr S., Helium poisoning: new procedure for sampling and analysis. *International journal of legal medicine.* 2019. vol. 133. no. 6. P. 1809-1818.
23. Bauer M. Post-mortem isolation of alveolar air for toxicological analysis. *Zeitschrift fur Rechtsmedizin. Journal of legal medicine.* 1973. vol. 73. no. 2. P. 115-118.
24. Varlet V., Iwersen-Bergmann S., Alexandre M., Cordes O., Wunder C., Holz F., Andresen-Streichert H., Bevalot F., Dumestre Toulet V., Malbranque S., Fracasso T., Grabherr S. Helium poisoning: new procedure for sampling and analysis. *International journal of legal medicine.* 2019. vol. 133. no. 6. P. 1809-1818.
25. Lo Faro A.F., Pirani F., Paratore A., Tagliabracci A., Busardo F.P. Fatal inhalation of nitrogen inside a closed environment: Toxicological issues about the cause of death. *Forensic science international.* 2019. vol. 302. P. 109871.
26. Peters F.T., Drummer O.H., Musshoff F. Validation of new methods, *Forensic science international.* 2007. vol. 165. no. 2-3. P. 216-224.
27. Madea B. *Handbook of forensic medicine.* NY: John Wiley & Sons, 2014. 1314 p.
28. Donaldson A.E., Lamont I.L. Biochemistry changes that occur after death: potential markers for determining post-mortem interval. *PloS one.* 2013. vol. 8. no. 11. e82011.
29. Giorgetti A., Pelletti G., Barone R., Garagnani M., Rossi F., Guadagnini G., Fais P., Pelotti S. Deaths related to nitrogen inhalation: Analytical challenges. *Forensic Science International.* 2020. vol. 317. P. 110548.
30. Lohner L., Sperhake J.P., Püschel K., Schröder A.S. Autoerotic Deaths in Hamburg, Germany: Autoerotic accident or death from internal cause in an autoerotic setting? A retrospective study from 2004-2018. *Forensic Sci Int.* 2020. vol. 313. P. 110340.
31. Cappelletti S., Cipolloni L., Piacentino D., Aromatario M. A lethal case of hoarding due to the combination of traumatic and confined space asphyxia. *Forensic Sci Med Pathol.* 2019. vol. 15. no. 1. P. 114-118.
32. Lippmann J., McD Taylor D. Scuba diving fatalities in Australia 2001 to 2013: Chain of events. *Diving Hyperb Med.* 2020. vol. 50. no. 3. P. 220-229.
33. Lo Faro A.F., Pirani F., Paratore A., Tagliabracci A., Busardò F.P. Fatal inhalation of nitrogen

- inside a closed environment: Toxicological issues about the cause of death. *Forensic Sci Int.* 2019. vol. 302. P. 109871.
34. Vrijdag X.C., van Waart H., Sleight J.W., Balestra C., Mitchell S.J. Investigating critical flicker fusion frequency for monitoring gas narcosis in divers. *Diving Hyperb Med.* 2020. vol. 50. no. 4. P. 377-385.
35. Ahou Y.S., Bautista Angeli J.R., Awad S., Baba-Moussa L., Andres Y. Lab-scale anaerobic digestion of cassava peels: the first step of energy recovery from cassava waste and water hyacinth. *Environ Technol.* 2021. vol. 42. no. 9. P. 1438-1451.
36. Jaster J.H., Zamecnik J., Gianni A.B., Ottaviani G. CO<sub>2</sub>-related vasoconstriction superimposed on ischemic medullary brain autonomic nuclei may contribute to sudden death. *Cardiovasc Pathol.* 2019. vol. 38. P. 42-45.
37. Harding B.E., Wolf B.C. Case Report of Suicide by Inhalation of Nitrogen Gas. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology.* 2008. vol. 29. no. 3. P. 235–237.
38. Idota N., Nakamura M., Tsuboi H., Ichioka H., Shintani-Ishida K., Ikegaya H. Autoerotic asphyxia using a plastic bag loosely covering the head over a gas mask. *Leg Med (Tokyo).* 2019. vol. 38. P. 69-72.
39. Leadbeatter S. Dental anesthetic death. An unusual autoerotic death. *Am J. Forensic Med Pathol.* 1988. vol. 9. P. 60–63.
40. Detotto C., Isler S., Wehrle M., Vyssotski A.L., Bettschart-Wolfensberger R., Gent T.C. Nitrogen gas produces less behavioural and neurophysiological excitation than carbon dioxide in mice undergoing euthanasia. *PLoS One.* 2019. vol. 14. no. 1. P. e0210818.