

EFFECT OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN INDOOR AIR ON HUMAN HEALTH

Posudin Yuriy

ВПЛИВ ЛЕТКИХ ОРГАНИЧНЫХ СПОЛУК У ПОВІТРІ ПРИМІЩЕНЬ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Я

кість повітря приміщень визначає вміст та природу внутрішнього повітря, яке впливає на здоров'я та комфорт мешканців будівель. За даними досліджень, проведених у США та Європі, населення індустріалізованих країн перебуває понад 90% свого часу у приміщеннях, з них майже 50% — на роботі, де якість повітря часто гірше, ніж ззовні [1].

Повітря приміщень зазвичай забруднюється різними токсикантами, концентрація яких може бути дуже високою через малий простір. Внутрішнє повітря у містах може бути у 100 разів бруднішим, ніж зовнішнє [2]. Згідно з даними Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я (The World Health Organization), забруднення повітря приміщень щорічно є причиною смерті 1,6 мільйонів людей та розвитку 2,7% хронічних захворювань [3].

Серед основних небезпечних забруднювачів повітря приміщень провідну роль відіграють

леткі органічні сполуки (ЛОС) [4].

Метою дослідження є вивчення джерел ЛОС у повітрі приміщень, їх концентрації, залежності від зовнішніх факторів та токсичності, впливу на здоров'я людини та токсичності, а також запобігання шкідливої дії на людський організм.

Леткі органічні сполуки за нормальної температури та тиску через малу точку кипіння легко випаровуються в атмосферу.

Розвиток передових технологій у сучасному індустріалізованому суспільстві супроводжується значним збільшенням асортименту ЛОС, що потрапляють у повітря приміщень з різних джерел. Це ароматичні гідровуглеці, аліфатичні та аlicиклічні гідровуглеці, кетони, спирти, глікольєфіри, ефіри, феноли, хлоровані гідровуглеці, терпени, альдегіди, ацетати [5]. Детальний список типів, концентрацій та поширення ЛОС у повітрі приміщень наведено у монографії "Indoor Air Quality" (1995) [6].

До основних джерел ЛОС належать побутові матеріали, зокрема меблі (дерев'яні поверхні, оброблені лаками, фарбами, політурою тощо); покриття підлог (паркети, синтетичні покриття, лінолеуми та різноманітні компоненти цих матеріалів, такі як барвники, добавки, розчинники, пластифікатори); килими, порт'єри, покривала, що містять синтетичні нитки, компоненти латексу та клею, книжки, газети, журнали; побутова техніка (зокрема копіювальні машини, тонери, принтери, нагрівачі, вентилятори, кондиціонери); побутова хімія та матеріали (мийні речовини, воски, освіжувачі повітря, шпалери, пластикові покриття, матеріали для клеєння); нові та відновлені будинки; вихлопні гази автомобілів, транспортні речовини, що містять бензин,

ПОСУДІН Ю.І.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

УДК 504.064

Ключові слова: леткі органічні сполуки, повітря приміщень, вплив на здоров'я людини.

ВЛИЯНИЕ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Посудин Ю.И.

Целью статьи является изучение источников летучих органических соединений в воздухе помещений, концентрации этих соединений и зависимости от внешних факторов, влияния на здоровье человека и их токсичности, предотвращения опарного действия этих соединений на человеческий организм.

Ключевые слова: летучие органические соединения, воздух помещений, влияние на здоровье человека.

EFFECT OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN INDOOR AIR ON HUMAN HEALTH

Posudin Yuriy

The focus of this article is on examination of sources of volatile organic compounds (VOCs) in indoor air, their concentration, effects of external factors on them, health effects and toxicity of VOCs, prevention of hazardous effects of VOCs on human organism.

Keywords: volatile organic compounds, indoor air, human health.

© Посудин Ю.І. СТАТТЯ, 2011.

мастила, автомобільні рідини, компоненти внутрішнього оздоблення нових автомобілів (шкіряні покриття та тканини); тютюновий дим, біологічні частинки (віруси, бактерії, гриби, пилок, послід птахів, комахи, гризуни, екскременти тварин, декоративні рослини).

Загальна кількість летких органічних речовин (ЗЛОС) визначає реакцію людського організму: концентрація ЗЛОС < 0,20 мг/м³ комфортна для людини; у межах 0,20-3,00 мг/м³ з'являється дратівливість; 3,00-25,00 мг/м³ надзвичайно дискомфортна; >25,00 мг/м³ спричиняє отруєння [7]. Типові значення концентрацій ЗЛОС у будинках залежать від віку будинку, рівня його оновлення, внутрішнього клімату, оздоблення, режиму вентиляції, швидкості руху повітря, температури, відносної вологості, розташування поблизу доріг, пори року.

Вплив на здоров'я та токсичність летких органічних сполук. Промислові викиди ЗЛОС у десятки і сотні разів перевищують їх вміст у житлових будинках та офісах; втім, іноді може бути й навпаки. Найпоширенішим впливом ЗЛОС у повітрі приміщень слід вважати подразнення органів зору, носоглотки, горла, головний біль, запаморочення, нудоту [5].

Деякі з ЗЛОС, такі як бензол, стирол, тетрахлоретилен, 1,1,1-трихлоретан, трихлороетилен, дихлоробензол, метилхлорид та хлороформ можуть спричиняти мутагенні або канцерогенні ефекти [8].

ЗЛОС відіграють суттєву роль у провокуванні астми та пов'язаних з їх вмістом у повітрі будинків захворювань [9]. Для визначення того, чи спричиняють суміші ЗЛОС порушення функцій легенів або їх запалення через повітряні шляхи у пацієнтів без бронхіальної гіперчутливості, автори провели серію експериментів, в яких концентрацію ЗЛОС контролювали за допомогою повітряних фільтрів.

Дія ЗЛОС пов'язана з подразненням органів зору та респіраторного тракту, пригніченням центральної нервової системи. Деякі з них є канцерогенами для людей та тварин, впливають на серце, нирки та легені, погіршують пам'ять, спричиняють риніти, носові кровотечі (особливо формальдегід), фарингіт, кашель, хри-

пливість, погіршення стану, астму, кон'юнктивіти, головний біль або запаморочення, летаргію, втомленість, нездужання, анорексію, індивідуальні зміни, висип, міалгію (гіперчутливий пневмоніт, водну гарячку), втрату слуху, алергічні реакції шкіри.

До 60 млн людей, що працюють у приміщеннях, страждають на подразнення очей, носа та горла, головний біль та втомленість [10]. Основною причиною цього є будівельні матеріали, мийні засоби тощо. Крім того, нові сполуки (гліюксал, метилгліюксал, глікольальдегід, діацетил) виникають як продукти реакцій ЗЛОС з OH⁻ чи NO₃⁻ радикалами або O₃ у приміщенні. Експериментальна або комп'ютерна ідентифікація цих сполук як сенсibilізаторів допоможе пояснити вплив їх на здоров'я.

Вплив багатьох ЗЛОС, що легко поглинаються нашим тілом, ще недостатньо вивчений. Відомо, що погана якість повітря приміщень призводить до "багаторазової хімічної чутливості", "синдрому нового будинку", "синдрому хворого будинку" (комбінації захворювань, пов'язаних з індивідуальним місцем на роботі чи вдома) [11,12], алергію, втомлюваність, головний біль, неспокій, що погіршують "якість життя" [13-15]. Незважаючи на відносно низьку концентрацію ЗЛОС може провокувати симптоми "хворого будинку" через подразнення сенсорних систем та шкіри, нейротоксичні ефекти, неспецифічні гіперчутливі реакції, зміни у сприйманні запаху та смаку [8].

Більшість населення, серед яких є наші близькі, страждає через астму та інші, спричинені забрудненням проблеми внаслідок підвищеного рівня ЗЛОС у повітрі приміщень [16]. Так, наприклад, 2-етил-1-гексанол у концентрації 2-32 мкг·м⁻³, який пов'язаний з синдромом хворого будинку, спричиняє астму у мешканців [17]. Встановлено, що одним з основних джерел алергенних та токсичних хімічних сполук у повітрі приміщень є внутрішні фактори. Свідчення існування зв'язку між внутрішнім середовищем та астмою встановлено Річардсоном та ін. [18], які довели, що причиною цього є домашні кліщі. Напади астми виникають у разі підвищеної активності ЗЛОС в авіа-

транспорті, що зумовлюється обмеженим простором у літаках, коли людина відчуває стиснення у грудях, утруднене дихання, кашель та хрипіння [5]. Природа ЗЛОС, які містяться у повітрі приміщень, та докази різноманітних ефектів, що спричиняють ці сполуки, обговорюються в огляді [19]. Основним висновком є те, що середовище приміщень може мати першорядну важливість, оскільки сучасне суспільство проводить більшу частину свого часу у замкненому просторі, де дія ЗЛОС призводить до низки захворювань — від помірних роздратувань до більш серйозних випадків, у т.ч. раку.

Було досліджено комбіновану токсичну дію суміші домінуючих ЗЛОС (формальдегіду, бензолу, метилбензолу, диметилбензолу, етилбензолу) та амонію в атмосфері нових мебльованих кімнат [20]. Лабораторних мишей використали як тест-об'єкти. Доведено, що газова суміш, застосована у цих дослідженнях, негативно впливала на кров, печінку, серце, легені тварин, особливо самичок.

Людство приречене до довготривалої експозиції складних сумішей ЗЛОС. В огляді [21] обговорюється проблема токсичності, особливо генотоксичності С4-9-альдегідів, зокрема гексанолу та нонанолу, бутанолу, пентанолу, гептанолу та октанолу, знайдених у повітрі приміщень. Джерелом С4-9-альдегідів слід вважати процеси згоряння, тютюновий дим, покриття поверхонь та підлог, деревинні матеріали, різні споживчі продукти тощо. Показано, що даних щодо токсичності, генотоксичності та канцерогенності С4-9-альдегідів недостатньо, тому потрібні подальші дослідження.

Продемонстровано [22], що у повітрі приміщень існує багато типів ЗЛОС, які беруть участь у хімічних реакціях за одночасної дії O₃ та NO₂. Ці реакції дуже шкідливо діють на якість повітря приміщень та негативно впливають на здоров'я людини.

Огляд [23] присвячений проблемі небезпечного впливу таких компонентів повітря приміщень, як токсичні леткі органічні сполуки, розчинники, полімери, пестициди, альдегіди.

Особливу увагу приділено впливу типових забруднювачів повітря приміщень, що спричиняють алергію та інфекцію верх-

ніх дихальних шляхів у дітей [24]. Під час досліджень було проведено оцінювання тютюнового диму, що містить ЛОС, та процесів виділення сечею деяких метаболітів ЛОС. Доведено, що приміщення з високим рівнем тютюнового диму характеризуються вищою концентрацією бензолу порівняно з тими, де пасивне куріння було відсутнє. Саме цим можна пояснити суттєву різницю у виділенні метаболітів ЛОС сечею дітей, що дихають прокуренным та чистим повітрям. Високі концентрації толуолу спричиняють atopічні симптоми, зокрема екзему, яку пов'язують з виділенням сечею таких метаболітів ЛОС, як толуол S-бензилмеркаптокислота.

Було встановлено взаємозв'язок між незвичайною комбінацією забруднень повітря у школах та виникненням подразнення респіраторної системи, астми, пошкодження органів зору, погіршення загального стану, збільшення вірусних респіраторних інфекцій серед дітей [25]. Випаровування з каналізаційної системи, пластикових покриттів підлог призводять до комбінованої експозиції вуглеводнів, 2-етилгексану та пов'язаної з вологістю мікрофлори. Хімічні забруднення у системі колектора та вологі будівельні матеріали були ідентифіковані як джерела забруднень. Автори дійшли висновку, що лише ремедіація шкільних будинків покращить якість повітря приміщень та стан здоров'я дітей.

Огляд [26] присвячено обговоренню різноманітних джерел і впливів ЛОС на здоров'я людей, а у роботі [27] даються пропозиції щодо контрзаходів проти забруднених шкіл, зокрема гіперчутливості до ЛОС.

Проблеми якості повітря приміщень у школах розглянуто у роботі [28], досліджено зв'язок між дією забруднювачів та симптомами, які вони викликають. Низькі концентрації формальдегіду підвищують ризик алергенних захворювань, хронічного подразнення та раку. Автори вважають, що поява таких симптомів у школярів пов'язана з дією ЛОС, плісняви, мікробних ЛОС та алергенів.

Відомо, що забруднення повітря приміщень відіграє важливу роль у підвищенні чутливості до них організму та розвитку симптомів респіратор-

них захворювань. У роботі [29] вивчався вплив на дітей віком від 4 до 15 років таких забруднювачів повітря приміщень, як суспендовані частинки [PM_{2.5}], тютюновий дим, ЛОС та формальдегід, NO_x, кліщі та гриби, що спричиняють алергію у сукупності з температурою. Всі ці забруднюючі речовини сприяють розвитку астми у дітей.

Інша група дослідників [30] вивчала вплив ЛОС з озоном і без нього на здоров'я та психічний стан жінок, який оцінювали до, впродовж та після 140-хвилинної експозиції. Змішування ЛОС з озоном призвело до появи таких подразнюючих компонентів, як альдегіди, пероксид водню, органічні кислоти, вторинні органічні аерозолі та наддрібні частинки. Дія ЛОС з O₃ та без нього не спричиняла суттєвої об'єктивної чи суб'єктивної дії на здоров'я, чого не можна сказати про стресовий стан.

Дані, що збиралися протягом 6 місяців вагітності пацієнток та перших 6 місяців життя немовлят у 170 пологових будинках, дозволили визначити, які з побутових продуктів можна пов'язувати з найвищою концентрацією загальних ЛОС [31]. Найвища концентрація загальних ЛОС була пов'язана з освіжувачами повітря та аерозолями: перші спричиняли діарею у немовлят та біль у вухах, другі — діарею та нудоту. Вони ж спричиняли головний біль у матерів протягом 8 місяців після пологів, а освіжувачі повітря — ще й відчуття депресії.

Результати аналізу здоров'я близько 350 дорослих з 224 впорядкованих квартир показали, що 107 мешканців з 350 (30.57%) мають різні порушення нервової системи [32]. Вони, як і концентрація формальдегіду, послаблялися з часом після відповідних заходів — провітрювання та застосування вентиляції для запобігання та послаблення дії ЛОС на здоров'я.

Під час дослідження впливу забруднювачів повітря на здоров'я людей поважного віку (від 65 до 95 років), які мешкали у соціальному центрі поблизу Парижа [33], встановлено, що основними причинами забруднення є складності утримання місць проживання, тривалі перебування на кухні,

зловживання побутовою хімією, погана вентиляція.

Вплив продуктів згоряння, пасивного куріння, ЛОС, формальдегіду, внутрішньої мікрофлори на здоров'я мешканців показано у роботі [34]. Обговорено причини лейкемії та синдрому хворого будинку. Доведено, що через поганий менеджмент виробництва оздоблювальних матеріалів та слабку законодавчу базу якість будівельних матеріалів у Китаї є вкрай низькою і не відповідає швидкому економічному розвитку. Крім того, регіональний протекціонізм та недотримання законів є серйозною проблемою, яка не сприяє покращанню здоров'я населення.

Дослідження 200 нових будинків з оздобленими та пофарбованими приміщеннями та заміри концентрацій формальдегіду, бензолу, толуолу, етилбензолу, ксилолу та загальних ЛОС показали, що люди, які мешкають у них, приречені на вищий рівень симптомів дискомфорту; ці людей протягом двох років відчувають більший дискомфорт, ніж ті, що мешкають у будинках давно [16]. Дослідники дійшли висновку щодо необхідності ретельного контролю забруднення ЛОС у нових оздоблених будинках.

Автори роботи [35] стверджують, що інформативнішим може бути рівень ЛОС у крові, ніж їх концентрація у повітрі. Досліджувався зв'язок 11 видів ЛОС, ідентифікованих у крові громадян США (953 вимірювань у дорослих учасників віком 20-59 років) з порушеннями пульмональних функцій організму. Було визначено, що спричинений тютюновим димом 1,4-дихлоробензол (1,4-DCB), а також освіжувачі повітря, туалетні дезодоранти, нафталінові кульки здатні призвести до послаблення пульмональних функцій.

У типових копіювальних цен-

трах Тайваню вивчався вплив бензолу, толуолу, етилбензолу, ксилену та стиролу на якість внутрішнього повітря [36]. Ризик канцерогенності повітря усіх досліджених центрів можна пояснити високими концентраціями бензолу.

Багато ЛОС демонструють токсичні властивості під час дії відносно інтенсивних експозицій [37]. Токсичні ефекти пригнічення також деяким хімічним сполукам — бензальдегіду, α -терпінеолу, бензилацетату та етанолу за відносно низьких рівнів доз (9-14 мг/кг).

Огляд [38] присвячений розгляду проблем ризику для здоров'я з боку таких забруднювачів повітря приміщень, як біологічні і небіологічні ЛОС, озон та продукти згорання.

Вимірювання дії ЛОС. Для розуміння впливу хронічної дії низькоінтенсивних рівнів ЛОС необхідна розробка аналітичних методів для кількісного вимірювання полярних органічних сполук за низьких концентрацій. Потрібні критерії для вивчення емісії ЛОС у внутрішнє повітря, достатності вентиляції, сукупних чи синергічних ефектів, що утворюються сумішами ЛОС, токсичності продуктів розкладання мікроорганізмів, застосування об'єктивних тестів для дослідження дії забруднювачів повітря приміщень на здоров'я мешканців, покращання індексів їхньої якості.

Емпіричні рівняння для вимірювання токсичності різних типів ЛОС (вуглеводні, ефіри, кетони, спирти та ін.) було запропоновано у роботі [39].

Проведено порівняння зразків ЛОС у повітрі будинків, мешканці яких відчували симптоми хворого будинку, з тими будинками, де такі симптоми не реєструвалися [40]. Мультиваріантний метод оцінювання одержаних ЛОС дозволив дослідити різницю якості повітря у "проблемних" та "непроблемних" будинках. Було доведено, що хімічний склад повітря приміщень в обох групах будинків різний.

Варто відзначити цікавий підхід до оцінювання зв'язку між факторами, що впливають на якість внутрішнього повітря у нових будинках, та синдромом хворого будинку, який був запропонований японськими вченими [41-43]. Оцінювання симптомів хворого будинку вони

провели за допомогою стандартизованих анкетних опитувань мешканців. За допомогою запитань визначалися вік, стать, ставлення до куріння, стосунки з алергічними захворюваннями, наявність тварин у приміщеннях, час проживання, розміри домашнього господарства [42], рід занять (повний чи неповний робочий день, пенсіонер чи безробітний) [43]. Були серед запитань і такі: структура будинку (дерев'яний, бетонний чи залізобетонний), вік будинку, оновлення чи ремонт протягом останніх двох років, наявність покриття підлоги, тип оформлення стін, наявність вогкості, наявність курців, використання ароматизаторів та репелентів [41].

Анкетні опитування включали інформацію з медичної історії мешканців (наявність астми чи алергії), загальні симптоми (втомлюваність, відчуття важкої голови чи головний біль, нудота, запаморочення), скарги на зір (свербіж чи роздратування очей) та носоглотку (подразнення, нежить), проблеми з горлом та респіраторним трактом (хрипіння, сухість, кашель) або шкірою [41].

Запобігання дії ЛОС на здоров'я мешканців у приміщеннях. Покращити якість повітря приміщень та запобігти небезпечному впливу ЛОС можна шляхом ретельного контролю якості повітря, застосування вентиляційних систем [16, 32, 37, 44-52]. Щоб запобігти забрудненню повітря, необхідно контролювати джерела забруднення. Для побудови "здорових" будинків, комфортних для проживання людей, необхідно використовувати нешкідливі будівельні матеріали.

Як приклад, можна навести застосування багатошарової структури матеріалу для підлог, яка б забезпечила мінімальний ризик отримання симптому хворого будинку [53]. Група дослідників [54] запропонувала використання заснованих на основі води продуктів у технології виробництва матеріалів для підлог, що дозволило зменшити рівень ЛОС та інших забруднювачів, присутніх у матеріалах з деревини.

Дослідження емісії ЛОС з принтерної та копіювальної техніки [55] показало, що високі концентрації ЛОС супроводжують процеси друку та копіюван-

ня з використанням паперу, одержаного у результаті рециркуляції. Доведено [56], що вибір певного типу принтерної техніки може забезпечити зменшення рівня ЛОС у 25 разів. Вважається недоцільним розташовувати лазерні принтери з традиційним коронним розрядом поблизу робочих місць. У добре вентильованих приміщеннях офісів концентрації ЛОС у повітрі перебувають у межах рекомендованих рівнів. Застосування вентиляції повітря та абсорбуючих матеріалів у системах очищення повітря сприяє ефективному зменшенню рівня формальдегіду та ЛОС у повітрі.

Впливу забруднених килимів на якість повітря у приміщеннях та проблемі очищення килимових покриттів від біологічних забруднень присвячено роботу [57].

Існують технології, що дозволяють звести нанівець емісію забруднень у приміщеннях [48]. Одна з них пропонує використання будівельних матеріалів, які не забруднюють повітря. Відповідно до цих технологій розроблено матеріали для підлоги, які майже не випаровують формальдегід. Інша технологія передбачає вилучення забруднювачів з будівельних матеріалів температурною обробкою. Ця технологія ефективна для ЛОС, чого не можна сказати про формальдегід.

Фотокаталітичне окиснення ЛОС є надзвичайно привабливою альтернативною технологією для очищення та дезодорування повітря

Доведено [58], що застосування звичайних флуоресцентних ламп може сприяти ефективному вилученню низьких концентрацій ЛОС з не дуже забрудненого повітря. Одна з багатообіцяючих технологій очищення повітря приміщень, що з'явилася в останні роки, — фітореMediaція (від грецького слова phyto (рослина) та латинського remedium (відновлювати баланс, or remediating) являє собою комплекс процесів, в яких рослини використовують для віддалення, перетворення, нейтралізації або видалення забруднювачів з компонентів навколишнього середовища. Рослини як об'єкти фітореMediaції мають перевагу, оскільки характеризуються швидким ростом, великою біомасою, толерантністю до забруднювачів [59].

Висновки

Проблема пошуків, ідентифікації та аналізу летких органічних сполук у повітрі приміщень є вкрай актуальною, оскільки пов'язана зі зменшенням небезпечних впливів цих сполук на здоров'я та комфорт мешканців. Подальший прогрес можна пов'язувати з ретельним контролем над якістю повітря приміщень, застосуванням нешкідливих для довкілля будівельних матеріалів, розробкою нових аналітичних методів оцінювання ЛОС та технологій вилучення найнебезпечніших сполук з повітря приміщень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Indoor Air Pollution: An Introduction for Health Professionals. 1994. <http://www.epa.gov/iaq/pubs/hpguide.html>
2. Performance of three air distribution systems in VOC removal from an area source/Yang, X., J. Srebric, X. Li, and G. He // *Building Environ.*— 2004. — № 39. — P. 1289-1299.
3. WHO's Programme on Indoor Air Pollution. 2002. 30.06.2010. www.who.int/indoorair/contact/en/index.html
4. Koppmann R. Volatile Organic Compounds in the Atmosphere.— Blackwell Pub.— 2007.
5. Hess-Kosa K. Indoor Air Quality. Sampling Methodologies. Lewis Publishers. Boca Raton-London-New York-Washington. — 2002.
6. Indoor air quality. A comprehensive reference book. M. Maroni, B. Seifert, T. Lindvall, eds. Amsterdam-Laussane-New York-Oxford-Shannon-Tokyo, 1995.— 1049 p.
7. Hunter R. and Oyama S.T. Control of Volatile Organic Compound Emissions. Conventional and Emerging Technologies / R. Hunter, S.T. Oyama John Wiley & Sons, Inc., 2000.
8. Godish Thad Indoor Environmental Quality, Lewis Publishers, Boca Raton-London-New York-Washington, 2001. — 461 p.
9. The respiratory effects of volatile organic compounds / Pappas G.P., Herbert R.J., Henderson W. et al. // *International Journal of Occupational and Environmental Health.* — 2000.— № 6 (1). — P. 1-8.
10. Evaluation of the contact and respiratory sensitization potential of volatile organic compounds generated by simulated indoor air chemistry / Anderson S.E., Wells J.R. et al. // *Toxicological Sciences.* — 2007. — № 97 (2). — P. 355-363.
11. Ando M. 2002. Indoor air and human health. Sick-house syndrome and multiple chemical sensitivity/ M. Ando // *Kokuritsu Iyakuhin Shokuhin Eisei Kenkyusho Hokoku.*— 120.— P. 6-38.
12. Shinohara N. Identification of responsible volatile chemicals that induce hypersensitive reactions to multiple chemical sensitivity patients / Shinohara N., Mizukoshi A., Yanagisawa Y. // *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology.* — 2004. — № 14 (1). — P. 84-91.
13. Long-term exposure to low levels of formaldehyde increases the number of tyrosine hydroxylase-immunopositive periglomerular cells in mouse main olfactory bulb / Hayashi H.N., Kunugita K., Arashidani H. et al. // *Brain Res.* — 2004. — 1007.— 192-197.
14. Ingrosso G. Free radical chemistry and its concern with indoor air quality: an open problem. *Microchemical Journal.* — 2002. — № 73 (1-2). — P. 221-236.
15. Kostianen R. Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. Environmental Laboratory Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment.* — 1995.— № 29 (6). — P. 693-702.
16. Investigation of human exposure levels of volatile organic compounds and effects on health / Gao X., Bai Zhi-peng, You Y. et al. // *Huanjing Yu Jiankang Zazhi.* — 2006.— № 23 (4). — P. 300-303.
17. Asthma symptoms in relation to measured building dampness in upper concrete floor construction, and 2-ethyl-1-hexanol in indoor air/ D. Norback, G. Wieslander, K. Nordstrom, R. Walinder // *The international journal of tuberculosis and lung disease.*— 2000. — № 4 (11).— P. 1016-25.
18. Richardson G. How is the indoor environment related to asthma?: literature review / Richardson G., Eick S., Jones R. // *Journal of advanced nursing.*— 2005.— № 52 (3).— P. 328-39.
19. Rumchev K. Volatile organic compounds: do they present a risk to our health? / Rumchev K., Brown H., Spickett J. // *Reviews on environmental health.* — 2007. — № 22 (1).— P. 39-55.
20. Combined toxicity of volatile organic compounds and ammonia in indoor air/ Ou C., Zhao J., Yang H. et al. // *Huanjing Yu Jiankang Zazhi.* — 2004. — 21 (1). — P. 44-46.
21. Genotoxicity of indoor air-borne C4-C9-aldehydes: current state of knowledge / Hepfner E., Stahl T., Salthammer T., Mersch-Sundermann V. // *Umweltmedizin in Forschung und Praxis.* — 2005. — № 10 (1). — P. 7-19.
22. Zhu Z. Chemical reaction of VOCs in indoor air and health effects / Zhu Z., Zeng G., Xu M. // *Huanjing Yu Jiankang Zazhi.* — 2007. — № 24(4). — P. 274-276.
23. Beall J.R. and Ulsamer A.G. Toxicity of volatile organic compounds present indoors/ J.R. Beall, A.G. Ulsamer // *Bulletin of the New York Academy of Medicine.* — 1981.— № 57 (10). — P. 978-96.
24. Biomonitoring in environmental medicine — results of LARS / Rolle-Kampczyk U., Diez U., Rehwagen M. et al. // *WIT Transactions on Biomedicine and Health.* — 2005. — 9 (Environmental Health Risk III). — P. 41-49.
25. Putus T. Chemical and microbial exposures in a school building: adverse health effects in children / Putus T., Tuomainen A., Rautiala S. // *Archives of Environmental Health.* — 2004.— № 59 (4). — P. 194-201.
26. Zhao J. Source and health effect of indoor volatile organic compounds / Zhao J., Jin S. // *Weisheng Yanjiu.* — 2004. — № 33 (2). — P. 229-232.
27. Uchiyama I. Children's health and countermeasures against indoor air chemicals / Uchiyama I. // *Kankyo Gijutsu.* — 2004. — № 33 (10). — P. 730-735.
28. Daisey J.M. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information/ Daisey J.M., Angell W.J., Apte M.G. // *Indoor air.* — 2003. — № 13 (1). — P. 53-64.
29. Monitoring internal air quality within a community of known respiratory health status / Stewart L., Watson A.F.R., Gee I.L. et al. // *Advances in Air Pollution.*

— 2000. — 8 (Air Pollution VIII). — P. 765-773.

30. Health effects of a mixture of indoor air volatile organics, their ozone oxidation products, and stress / Fiedler N., Laumbach R. et al. // *Environmental Health Perspectives*. — 2005. — № 113 (11). — P. 1542-1548.

31. Symptoms of mothers and infants related to total volatile organic compounds in household products / Farrow A., Taylor H., Northstone K., Golding J. // *Archives of Environmental Health*. — 2003. — 58(10). — P. 633-641.

32. Liu K. Study on the situation of formaldehyde and TVOCn s pollution to the air of decorated indoors and its effect to adult on health / Liu K., Cheng X., Lin P. // *Jiangsu Yufang Yixue*. — 2005. — № 16 (4). — P. 12-14, 53.

33. Indoor air pollution in old people's homes related to some health problems: a survey study / Coelho C., Steers M., Lutzler P. et al. // *Indoor Air*. — 2005. — № 15 (4). — P. 267-274.

34. Qian H. Indoor air pollution and its adverse health effects / Qian H., Dai H. // *Huanjing Yu Zhiye Yixue*. — 2007. — № 24 (4). — P. 426-430.

35. Volatile organic compounds and pulmonary function in the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994 / Elliott L., Longnecker M.P., Kissling G.E. et al. // *Environmental Health Perspectives*. — 2006. — № 114 (8). — P. 1210-1214.

36. Characteristics and health impacts of volatile organic compounds in photocopy centers/ Lee C.-W., Dai Yu.-T., Chien C.-H. // *Environmental Research*. — 2006. — № 100 (2). — P. 139-149.

37. The identification of polar organic compounds found in consumer products and their toxicological properties / Cooper S.D., Raymer J.H., Pellizzari E.D. et al. // *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. — 1995. — № 5 (1). — P. 57-75.

38. Leslie G.B. Health risks from indoor air pollutants: Public alarm and toxicological reality // *Indoor+Built Environment*. — 2000. — № 9 (1). — P. 5-16.

39. Lyublina E.I. Predicting the toxicity of volatile organic compounds from physical constants/ Lyublina E.I. and Rabotnikova L.V. // *Gigiena i Sanitariya*. — 1971. — № 36 (8). — P. 33-37.

40. Multivariate evaluation of VOCs in buildings where people with non-specific building-related symptoms perceive health problems

and in buildings where they do not / A.-L. Sunesson, I. Rosen, B. Stenberg, M. Sjoestroem // *Indoor Air*. — 2006. — № 16 (5). — P. 383-391.

41. Relationship between sick building syndrome and indoor environmental factors in newly built Japanese dwellings / Takeda M., Saijo Y., Yuasa M. et al. // *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. — 2009. — № 82 (5). — P. 583-593.

42. Symptoms in relation to chemicals and dampness in newly built dwellings / Saijo Y., Kishi R., Sata F. et al. // *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. — 2004. — № 77. — P. 461-470.

43. Relation of dampness to sick building syndrome in Japanese public apartment houses / Saijo Y., Nagaki Y., Ito T. et al. // *Environ. Health Prev. Med*. — 2009. — № 14. — P. 26-35.

44. Dyer J.A., Keller R.A., Mulholland K.L., Sylvester R.W. Reducing VOC emissions through pollution prevention // *Proceedings, Annual Meeting — Air & Waste Management Association*. — 1996. — 89-th wa4d04/1-wa4d04/12.

45. Controlling sources of indoor air pollution through pollution prevention National Risk / Leovic K.W., Whitaker D., Brockmann C. et al. Editor(s): Persily, Andrew K. IAQ and Energy 98: Using ASHRAE Standards 62 and 90.1, New Orleans, LA, United States, Oct. 24-27, 1998-1999. — P. 213-221.

46. Inoue M. VOC regulation. Setchaku no Gijutsu. — 1999. — № 19 (2). — P. 16-17.

47. Torii S. Concept of sick house syndrome, and the strategy for the management and the prevention/ Torii S. // *Arerugi*. — 2000. — № 49 (1). — P. 5-8.

48. Ro T. The indoor air pollution prevention technology for "sick house" // *Kuki Seijo*. — 2002. — № 39 (6). — P. 378-384.

49. Kadosaki M. Development of VOC sensors for prevention of sick-house symptom // *Seramikkusu*. — 2003. — № 38 (6). — P. 439-443.

50. Liu Xiao-hong. Hazards and prevention of indoor environment contamination/ Liu Xiao-hong, Zhou, Ding-guo // *Zhejiang Linxueyuan Xuebao*. — 2003. — № 20 (3). — P. 297-301.

51. Liu Xiao-hong. Sick building syndrome prevention and control/ Liu Xiao-hong, Li Wei-hua // *Huanjing Yu Jiankang Zazhi*. — 2005. — № 22 (4). — P. 312-314.

52. Cooper C.D. Air pollution control methods. Editor(s): Seidel, Arza. Kirk-Othmer Encyclo-

pedia of Chemical Technology (5-th Edition). — 2007. — № 26. — P. 667-729.

53. Hong M.S. Flooring material capable of reducing sick house syndrome by not generating harmful volatile organic compounds and its preparation method / Hong M.S., Her M.S., Lee K.D. // *Repub. Korean Kongkae Taeho Kongbo*. — 2006.

54. Huang E.W. Source reduction of VOC and hazardous organic emissions from wood furniture coatings / Huang E.W., McCrillis R.C. *Proceedings, Annual Meeting — Air & Waste Management Association*. — 1996. — 89-th ra 10603/1-ra10603/10.

55. Development of a test method and investigations for determining emissions from printers and copiers in the framework of the German Environmental Label/ Jann O., Rockstroh J., Wilke O. et al. // *Texte — Umweltbundesamt*. — 2003. — 71. — P. i-iv, 1-159.

56. Gehr V. Emissions of volatile organic compounds from recycling papers and their relevance for indoor air quality / Gehr V., Jann O., Soeffge M., Wilke O. // *Wochenblatt fuer Papierfabrikation*. — 2004. — № 132 (17). — P. 1010-1012, 1014.

57. Black M.S. and Worthan T. Carpet cleaning and acceptable indoor air quality: A general review of carpet cleaning effectiveness/ M.S. Black, T. Worthan // *Annual Meeting & Exhibition Proceedings CD-ROM — Air & Waste Management Association*, 92nd, St. Louis, MO, United States, June 20-24, 1999. — 1999. — P. 3956-3968.

58. Photocatalytic oxidation of volatile organic compounds using fluorescent visible light / Chapuis Y., Klvana D., Guy C., Kirchnerova J. // *Journal of the Air & Waste Management Association*. — 2002. — № 52 (7). — P. 845-854.

59. Volatile flavor chemistry of black rice / D.S. Yang, K.S. Lee, O.Y. Jeong et al. // *J. Agri. Food. Chem*. — 2007.

Надійшла до редакції 18.10.2010.

Дослідження підтримане Грантом Університету Джорджія (США) у 2008 р. Супервайзер — професор Стенлі Д. Кейз.

Автор висловлює щире подяку професору Стенлі Д. Кейзу за стимулювання цієї дослідницької активності та допомогу у відвідуванні Університету Джорджія, США.