



<https://doi.org/10.15407/scin16.04.087>

Л.І. БУЮН<sup>1</sup>, Р.В. ІВАННІКОВ<sup>1</sup>, В.М. ЯКИМЕЦЬ<sup>2</sup>,  
Р.С. СТЕПАНЬКОВ<sup>3</sup>, І.П. ХАРИТОНОВА<sup>1</sup>, А.А. КОЖОКАРУ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України,  
вул. Тімірязєвська, 1, Київ, 01014, Україна,  
+380 44 285 2647, nbg@nbg.kiev.ua

<sup>2</sup> Державна наукова установа «Центр інноваційних медичних технологій» НАН України,  
Вознесенський узвіз, 22, Київ, 04053, Україна,  
+380 44 272 2205, cimtnanu@ukr.net

<sup>3</sup> ТОВ «ТОПЕНЕРДЖИ»,  
Звул. Миколи Василенка, 7, оф. 314, Київ, 03680, Україна,  
+380 44 220 9013, roman@topenergy.com.ua

<sup>4</sup> Українська військово-медична академія Міністерства оборони України,  
вул. Московська, 45/1, корп. 33, Київ, 01015, Україна,  
+380 44 280 0034, umma@ukrpost.ua

## ФІТОМОДУЛЬНИЙ КЛАСТЕР ЯК СТРУКТУРНИЙ ЕЛЕМЕНТ ІНТЕР'ЄРУ ВНУТРІШНІХ ПРИМІЩЕНЬ РІЗНОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Вступ.** Сьогодні людину оточують нові токсичні речовини, які супроводжують технічний прогрес, а тому пошук нових способів очищення повітря набуває все більшої актуальності.

**Проблематика.** У сучасних умовах виникає гостра необхідність розробки методів фітореMediaції повітря приміщень, в яких упродовж тривалого часу перебуває значна кількість людей — профілактично-лікарняних закладів, аудиторій, військових казарм, житлових приміщень тощо.

**Мета.** Створення кластерних фітореMediaційних модулів для оптимізації повітряного середовища приміщень.

**Матеріали й методи.** Використано анатомо-морфологічні, фізіолого-біохімічні, мікробіологічні методи, методи світлової та скануючої електронної мікроскопії.

**Результати.** Здійснено відбір з колекції тропічних рослин Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка рослин-біофільтрів, що вирізняються підвищеною здатністю до поглинання шкідливих речовин з повітря. Визначено кількісні та якісні критерії будови листка та фотосинтетичного апарату, що визначають цю здатність рослин. Здійснено біотехнологічні методи розмноження рослин для фітототулів. Підібрано типи контейнерів із системою автополиву та субстрати з низькою часткою органічної речовини. Спроектовано та виготовлено світлодіодні фітолампи, кількісні та якісні характеристики яких відповідають оптимуму фотосинтетичних процесів. Проведено скринінг антимікробної активності фітототулів за умов стаціонарних відділень ДНУ «Центр інноваційних медичних технологій НАН України». Показано, що контамінація повітря *Staphylococcus saprophyticus* після двотижневої експозиції зменшилась удвічі.

Цитування: Буюн Л.І., Іванніков Р.В., Якимець В.М., Степаньков Р.С., Харитонова І.П., Кожокару А.А. Фітототульний кластер як структурний елемент інтер'єру внутрішніх приміщень різного функціонального призначення. *Nauka innov.* 2020. Т. 16, № 4. С. 87–101. <https://doi.org/10.15407/scin16.04.087>

**Висновки.** До впровадження у лікарняно-профілактичних закладах та у місцях закритої дислокації підрозділів силових структур запропоновано фітомодулі, які містять види рослин, що є нетоксичними, мають високу ремедіаційну здатність та толерантні до різних абіотичних чинників.

**Ключові слова:** тропічні рослини, фіторемедіаційні модулі, антимікробна активність, адаптаційна здатність, смарт-фітоламп.

В епоху глобальної екологічної кризи проблема забруднення навколишнього середовища ксенобіотиками стає все більш нагальною. Гостро постає необхідність покращення стану атмосферного повітря в містах, тоді як вміст поллютантів у повітрі всередині приміщень, порівняно з повітрям відкритих міських зон, вищий у 10 разів [1]. Разом з тим, за даними U.S. Environmental Protection Agency (EPA, USA) [12] людина 80–90 % часу перебуває саме у закритих приміщеннях, що робить проблему оптимізації середовища її існування особливо актуальною.

Контамінація повітряного середовища існування людини у внутрішніх приміщеннях ксенобіотиками (формальдегіди, ксилол, толуол, монооксид та діоксид карбону, монооксид та діоксид азоту, оксиди сірки тощо) призводить до виникнення різних симптомів (головний біль, подразнення слизових оболонок тощо), що обумовлюють розвиток так званого «синдрому хворого приміщення» («*Sick building syndrome*»), від якого потерпають жителі мегаполісів у всьому світі [2, 3]. Дехто з дослідників висловлюють припущення про існування зв'язку між довготривалою дією низьких концентрацій летких органічних сполук (ЛОС) та підвищеним ризиком виникнення онкологічних захворювань [4–6].

Для закладів лікарняного типу характерним є певний перелік поллютантів, пов'язаний із специфікою їхнього функціонування. Зокрема, відомо, що для повітряного середовища лікарняних закладів найбільш характерними є такі забруднювачі: монооксид (CO) і діоксид (CO<sub>2</sub>) карбону, свинець (Pb), діоксид нітрогену (NO<sub>2</sub>); озон, леткі органічні сполуки, діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), формальдегід (CH<sub>2</sub>O), глютаральдегід (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>). Останнім часом перелік шкідливих речовин поповнив 2-етилгексанол,

який утворюється внаслідок гідролізу ди-2-етилгексил фталату (DEHP), пластифікатора, який використовується при виробництві електричних кабелів [7].

Окрему групу, так звані «біополютанти», утворюють збудники нозокоміальних бактеріальних інфекцій, які становлять загрозу для пацієнтів і медичних працівників [8–10]. Такі інфекції виникають часто і призводять до великої кількості ускладнень та збільшення смертності, не лише в країнах, що розвиваються, а й в країнах з високим рівнем економічного розвитку. Крім того, нозокоміальну інфекцію часто спричиняють мікроорганізми, які резистентні до лікарських препаратів, зокрема й нечутливий до метициліну штамп *Staphylococcus aureus* (MRSA) і грамнегативні бактерії, які виробляють β-лактамазу [11]. У зв'язку з цим існує ціла низка технічних рекомендацій щодо створення оптимальних гігієнічних умов у лікувально-профілактичних закладах.

Зважаючи на вищевикладене, одним із способів поліпшення стану повітряного середовища приміщень профілактично-лікувальних закладів є використання рослин, що мають фіторемедіаційні властивості. Тому метою роботи було створення та впровадження кластерів з «фітомодулів» тропічних та субтропічних рослин у лікувально-профілактичних закладах, реабілітаційних центрах для гармонізації та поліпшення стану повітряного середовища всередині приміщень.

Досягнення мети передбачало виконання низки експериментальних досліджень, спрямованих на з'ясування фіторемедіаційного потенціалу тропічних рослин, та розробку практичних заходів для раціонального використання кластерних фітомодулів в умовах приміщень лікувально-санаторних закладів з ура-

хуванням специфіки їхнього функціонування. Як експериментальний майданчик для впровадження та апробації ефективності фітомодулів було обрано лікувальні стаціонарні відділення Державної наукової установи «Центр інноваційних медичних технологій НАН України».

У Національному ботанічному саду імені М.М. Гришка розробки, спрямовані на використання тропічних рослин для санації повітряного середовища, тривають понад 40 років і пов'язані, передусім, з роботами академіка НАН України А.М. Гродзинського і чл.-кор. НАН України, проф. Т.М. Черевченко та їхніх учнів [13–22]. Експериментальну частину роботи було виконано у відділі тропічних і субтропічних рослин Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України.

Загалом серед досліджених 131 виду тропічних рослин для створення «фітомодулів» було відібрано 50 видів із 15 родин покритонасінних рослин: *Amaryllidaceae*, *Asparagaceae*, *Araceae*, *Araliaceae*, *Arecaceae*, *Begoniaceae*, *Bromeliaceae*, *Commelinaceae*, *Euphorbiaceae*, *Lamiaceae*, *Malvaceae*, *Moraceae*, *Piperaceae*, *Saxifragaceae*, *Vitaceae*, а також представників відділу *Polypodiophyta*. Вибір об'єктів досліджень обумовлено, передусім, наявністю фітореMediaційної здатності, характеристики якої було з'ясовано в результаті опрацювання низки літературних джерел або виявлено в результаті власних досліджень.

### АНАЛІЗ АНАТОМО-МОРФОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ ЛИСТКІВ РОСЛИН ЗА УМОВ ОРАНЖЕРЕЙНОЇ КУЛЬТУРИ

Визначення взаємозв'язку життєвої форми та функцій у рослин — пріоритетне завдання при вивченні пристосувань організму до умов навколишнього середовища. Анатомічну будову листка розглядаємо як одну із діагностичних ознак, за допомогою якої можна зробити висновки щодо реакції рослин на зміни умов вирощування.

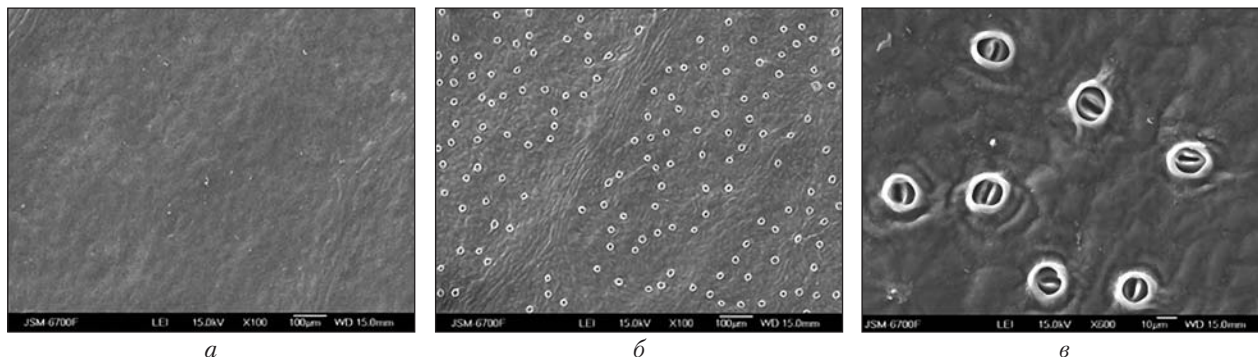
Кількісно-анатомічні ознаки листка, а саме: розміри клітин верхнього та нижнього епідер-

місу, товщина їхньої зовнішньої оболонки, розміри продихів та їхня кількість на одиницю поверхні листка, ступінь розвитку палісадної й губчастої паренхіми та інші показники — визначають здатність рослин до поглинання шкідливих домішок із повітря приміщень. Варто зазначити, що такі показники як товщина листкової пластинки та число продихів варіюють у межах одного виду. Більш стабільними є ознаки: кількість шарів мезофілу, зімкненість його клітин, характер розташування продихів та кількість побічних клітин (тип продихів).

Загалом було досліджено особливості продигового апарату у 131 виду тропічних рослин, які належали до 15 родин, у яких було виявлено основні тенденції у розвитку адаптаційних пристосувань рослин на різних структурних рівнях, що передбачає можливість різної їхньої реакції щодо зміни температурного та водного режимів, освітлення в приміщеннях, а також здатності поглинати шкідливі домішки з повітря.

Як приклад, наводимо результати анатомостоматографічного аналізу для представників двох родів — *Sansevieria* Thunb. (*Asparagaceae* Juss.) та *Ficus* L. (*Moraceae* Link.), які належать до двох класів покритонасінних, — *Liliopsida* і *Magnoliopsida*, відповідно.

При дослідженні особливостей структурної організації листкової пластинки у 12 видів роду *Sansevieria* з'ясовано, що види в межах роду проявляють високу екологічну пластичність. Наявність продихів на нижньому й верхньому боці листка забезпечує інтенсивну дифузію водяної пари та транспірацію. Це, в свою чергу, сприяє інтенсивнішому переміщенню мінеральних речовин, покращує вуглеводне живлення рослин за рахунок збільшення об'єму надходження вуглекислоти. Зменшення кількості продихів на одиницю поверхні листка та їхнього розміру у таких видів як *S. senegambica* Baker і *S. cylindrica* Vojer ex Hook. свідчить про те, що за рахунок обмеження газообміну спостерігається різке зменшення надходження токсичних газоподібних речовин, що дозволяє



**Рис. 1.** Мікроморфологія поверхні листка *Ficus benjamina* L.: а – адаксіальна поверхня; б – абаксіальна поверхня; в – прорихи

використовувати ці рослини для фітодизайну в найбільш екстремальних умовах промислових приміщень. Тобто рослина, не втрачаючи свого життєвого потенціалу, постійно знешкоджує шкідливі домішки повітря.

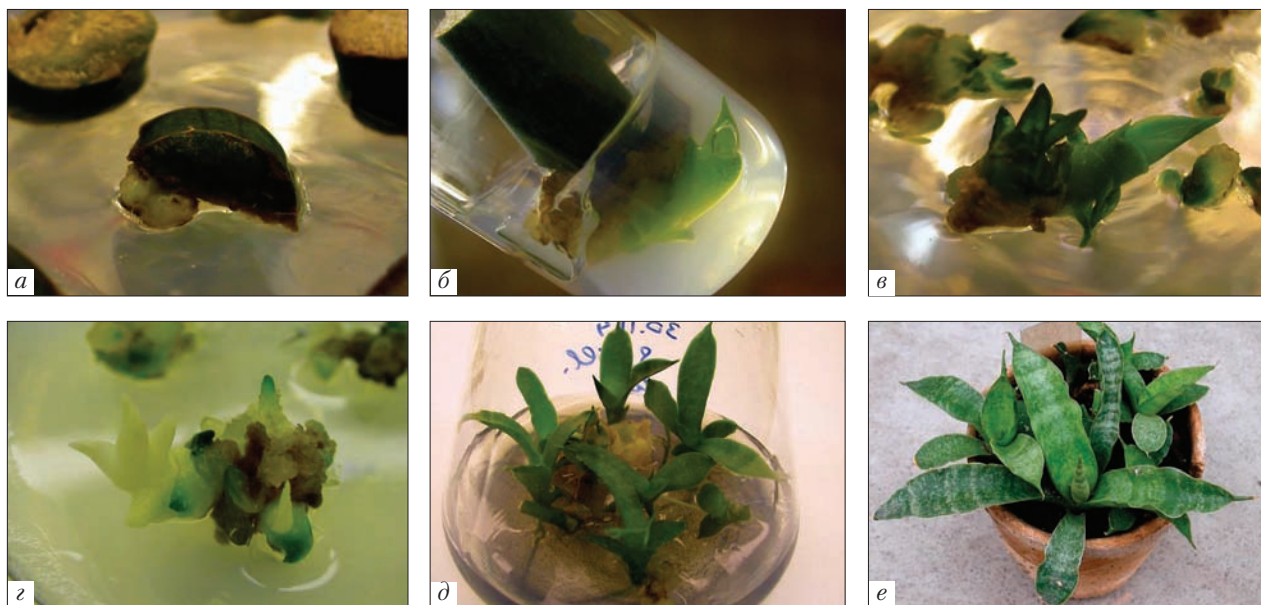
Для 12 видів роду *Ficus* з родини *Moraceae* характерною є наступна структурна організація листкової пластинки: наявність прорихів на нижньому епідермісі, потовщені та щільно розташовані клітини палісадного мезофілу, що свідчить про високу фотосинтетичну здатність листків (рис. 1). Загальна кількість епідермальних клітин на одиницю поверхні листка, за винятком двох видів – *F. elastica* Roxb. ex Hornem. і *F. benghalensis* L., досить висока. Хлоропласти займають значну частину об'єму клітини, пластиди невеликих розмірів і розміщені парастрофно. Особливо чітко це можна бачити в палісадній паренхімі. Пластидний апарат відрізняється значними показниками поверхневої щільності хлоропластів, що пов'язано зі стимулюючою дією світла на реплікацію хлоропластів та щільною клітинною структурою листків. Наявність прорихів малого розміру свідчить про низький дифузійний опір, який сприяє підвищенню газостійкості рослин. Така структурна організація листка вказує на середню тіншовитривалість рослин, низьку ефективність використання води, середній сольовий статус і середню продуктивність росту. До найбільш тіншовитривалих видів можна віднести *F. pumila* L.

Отримані результати показали, що в організації фотосинтетичного апарату далеких у систематичному відношенні рослин (*Sansevieria* Thunb. (*Asparagaceae* Juss.) та *Ficus* L. (*Moraceae* Link.)) простежуються екологічно обумовлені конвергентні риси. Так, для видів, які вирощували при низькій освітленості службового інтер'єру, у досліджуваному варіанті – за умов лікарняних стаціонарів, характерним є зменшення концентрації хлоропластів на одиницю площі листка, збільшення вмісту фотосинтетичних пігментів. І, навпаки, за умов промислового інтер'єру при освітленості в межах 3,0–5,0 клк показники поверхневої щільності хлоропластів виявилися досить високими, що зумовлено збільшенням їхньої чисельності. При цьому спостерігалось зменшення площі листків та розмірів клітин мезофілу.

Таким чином, отримані показники анатомічної будови листків доповнюють загальну біологічну характеристику рослин досліджуваних видів та розширюють розуміння щодо здатності рослин до пристосування до умов інтер'єрів різного функціонального призначення.

#### **БІОТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ РОЗМНОЖЕННЯ РОСЛИН ДЛЯ СТВОРЕННЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНИХ МОДУЛІВ**

Однією з суттєвих переваг фітореємедіації, порівняно з традиційними стратегіями біореємедіації, є низька її вартість. Натомість одним із



**Рис. 2.** Етапи мікроклонального розмноження *Sansevieria cylindrica* Vojer ex Hook.: *a* – утворення твердого морфогенного калусу на первинних експлантах; *б, в* – непрямої органогенез – формування перших мікропагонів; *г* – формування етіюльованих мікропагонів в умовах темряви; *д, е* – рослини-регенеранти (*д* – *in vitro*; *е* – *ex vitro*)

недоліків є наявність певних обмежень швидкості росту рослин та способів їхнього розмноження. Останнє можна подолати шляхом застосування сучасних біотехнологічних методів розмноження [23].

У роботі спиралися на раніше проведені дослідження в цій галузі для рослин з близьких родин загалом і представників роду *Sansevieria* зокрема [24]. Схема методики мікроклонального розмноження складалася з декількох етапів – отримання калусних тканин з листових експлантів, ініціація процесів гомогенезу в калусі та отримання пагонів, укорінення рослин-регенерантів і подальша їхня постасептична адаптація. На різних етапах мікророзмноження використовували прописи середовищ МС і Піріка (рис. 2).

Відбір рослинного матеріалу з інтактних рослин виконували в жовтні. Стерильну культуру було отримано з листових експлантів. Процедура стерилізації складалася з декількох етапів, на яких використовували спирт (70 %) – 2 хв; thimerosal (0,01 %-й) – 17 хв; хлоракс (10 %-й) – 15 хв;  $H_2O_2$  – 8 хв.

Аналізуючи отримані результати щодо регенерації та подальшого органогенезу калусних тканин *S. cylindrica*, зазначимо, що найбільшу частоту регенерації відмічено на середовищі Піріка з 1 мг/л бензиламінопурину (6-БАП). Причому, в темряві ці процеси проходили інтенсивніше, ніж на світлі.

Надалі такі пагони відокремлювали від калусу та переносили на світло. Кожен з них розділяли на окремі сегменти за кількістю міжвузль. Із пазушних бруньок кожного недорозвиненого листка рослин-регенерантів на середовищі МС (з 4 мг/л аденіну) в умовах освітленості формувалася окрема розетка, яка з часом укорінювалася на цьому ж середовищі. Через 45–55 діб було отримано рослини, придатні до висаджування в субстрат. Таким чином, комбінуючи методи світлової та темної культури, в 2–4 рази було підвищено кількість отриманих рослин-регенерантів.

У серії дослідів на світлі найбільш ефективним виявилось теж середовище Піріка. Рослини-регенеранти висаджували в попередньо простерилізований субстрат (2 атм. при

130 °С/2 год), який складався з листяної землі і піску (1:1). Постасептичну адаптацію рослин-регенерантів проводили в кліматичній камері: відносна вологість повітря 80–90 %, температура 23–25 °С і 8-ми годинний світловий день. За таких умов рослини-регенеранти адаптувалися на 100 %, а через 35–40 днів їх переводили в умови оранжерей. Листки циліндричної форми, характерні для генеративних рослин цього виду, з'являлися у рослин-регенерантів лише через 120–150 днів.

За подібною схемою біотехнологічні методи розмноження були також відпрацьовані для цілої низки видів з інших родин, представники яких були рекомендовані для використання у кластерних фітомодулях.

### ОЦІНКА ФІТОНЦИДНОЇ ЗДАТНОСТІ РОСЛИН ОКРЕМИХ ВИДІВ, ЩО ВХОДЯТЬ ДО СКЛАДУ ФІТОМОДУЛІВ

Доведено, що рослини здатні поглинати пил, шкідливі токсичні хімічні речовини, зменшувати кількість вуглекислоти в повітряному середовищі приміщень, зволожувати та іонізувати повітря, пригнічувати розвиток низки патогенних для людини мікроорганізмів [25]. У закритих приміщеннях рослини, завдяки різноманіттю життєвих форм, забарвлення та запаху створюють ілюзію контакту з живою природою та позитивно впливають на центральну нервову

систему, сприяють покращенню емоційного стану й зняттю стресового навантаження.

Відомо, що за однакових умов вирощування фітонцидна активність рослин залежить від їхніх видових особливостей. При цьому тропічні рослини зберігають здатність до виділення летких сполук упродовж всього року, хоча кількість останніх також пов'язана з кліматичними умовами та фазами розвитку рослин [25].

Зважаючи на зазначене, було проведено серію експериментальних робіт з дослідження фітонцидної властивості різних видів рослин. На першому етапі експерименту як об'єкти досліджень було обрано 6 видів рослин з родини *Araceae*, що суттєво відрізнялися між собою за структурою та забарвленням листків, а саме: *Aglaonema commutatum* Schott, *Anthurium andraeanum* Linden ex André, *Dieffenbachia macrophylla* Poepp. (syn. *D. maculata* (Lodd.) Sweet), *Thaumatococcus bipinnatifidum* (Schott ex Endl.) Sakur. (син. *Philodendron bipinnatifidum* Schott ex Endl.), *Epipremnum aureum* (Linden & André) G.S. Bunting (син. *Scindapsus aureus* (Linden & André) Engl.), *Spathiphyllum blandum* Schott.

Дослідні рослини утримували у спеціальному боксі. Підрахунок колоній мікроорганізмів проводили через 24 та 48 год. Контролем слугували чашки Петрі з тест-культурами, які розміщувалися у подібному боксі, але без рослин. Фітонцидну активність дослідних видів вивча-

Таблиця 1. Характеристика фітонцидної активності досліджуваних видів з родини *Araceae* Juss.

Вид	Інтенсивність фотосинтезу, мг CO <sub>2</sub> (дм <sup>2</sup> · г)	Вміст фотосинтетичних пігментів, мг/100 г сирої речовини			
		Хлорофіл			Каротиноїди
		a	b	a+b	
<i>Aglaonema commutatum</i>	5	59,6	18,6	78,2	23,8
<i>Anthurium andraeanum</i>	8	90,8	27,6	118,4	33,8
<i>Dieffenbachia macrophylla</i>	4	37,1	8,6	45,7	15,8
<i>Thaumatococcus bipinnatifidum</i> (син. <i>Philodendron bipinnatifidum</i> )	22	237,7	52,6	290,3	68,8
<i>Epipremnum aureum</i>	20	224,0	43,8	267,8	64,3
<i>Spathiphyllum blandum</i>	15	181,6	32,0	213,6	50,3
HCP <sub>0,05</sub>	—	7,93	1,28	—	3,41

ли за допомогою найбільш часто використовуваних тест-культур мікроорганізмів, зокрема *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus pyogenes* (β-гемолітичний стрептокок групи А), *Micrococcus luteus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*.

Отримані результати свідчать про наявність антимікробної дії у всіх досліджуваних видів рослин. Цікаві результати було отримано при порівняльному аналізі фотосинтетичної активності досліджуваних видів (табл. 1). Зокрема, у рослин *Ph. bipinnatifidum*, яким властива висока фітонцидна здатність, фотосинтез складає 22 мг CO<sub>2</sub> (дм<sup>2</sup>/год), для *D. macrophylla* цей показник становить лише 4 мг CO<sub>2</sub> (дм<sup>2</sup>/год).

Аналогічну закономірність виявлено також при дослідженні пігментного комплексу листків. Так, рослинні тканини видів, для яких властива максимальна фітонцидна здатність, відрізняються високим вмістом хлорофілів. Із даних, наведених в таблиці 1, видно, що загальна кількість хлорофілів у листках *Thaumatococcus bipinnatifidum* складає 290,4 мг/100 г, а для *D. macrophylla* – 45,8 мг/100 г рослинної маси.

Таким чином, отримані результати свідчать про наявність прямої залежності між анатомо-фізіологічними показниками фотосинтетичного апарату та фітонцидною здатністю рослин. Доведено перспективність використання усіх дослідних видів для санації повітряного простору приміщень. Крім того, рівень бактерицид-

ної активності та фотосинтетичної продуктивності рослин може слугувати тестом для визначення екологічної пластичності різних видів з метою введення їх в озеленення інтер'єрів.

Протягом останніх років для озеленення інтер'єрів різного функціонального призначення широко використовують деревні рослини, зокрема фікуси, шефлери, гібіскуси, які характеризуються орнаментальною кроною, яскравим забарвленням цілісних або розсічених листків, декоративністю суцвіть. Крім декоративності, цим рослинам, як показали дослідження, притаманна висока фітонцидна активність. Тому на другому етапі експериментальної роботи як об'єкти було обрано 6 видів з роду *Ficus*: *F. benjamina*, *F. benjamina* 'Exotica' – із зеленими, завдовжки до 10 см листками; *F. benjamina* 'Golden King' – із золотисто-жовтими листками; *F. elastica* – великими, довжиною до 35 см глянцевими темно-зеленими листками; *F. elastica* 'Rubra' – з темним зелено-вишневим кольором листової пластинки; *F. pumila* – ліана з дрібними, зелено-білими листками довжиною до 3 см. Отримані результати свідчать, що всі відібрані види характеризуються різною фітонцидною здатністю щодо патогенних мікроорганізмів (табл. 2).

Найвищу інгібуючу дію на патогени виявлено у рослин *F. pumila*. Рослини *F. elastica* на 71–73% пригнічують розвиток *Staphylococcus aureus*, а *F. benjamina* відрізняється високою фітонцидною дією щодо *S. saprophyticus* та *S. epidermidis*.

Таблиця 2. Фітонцидна активність видів роду *Ficus* L., % пригнічення розвитку патогенних мікроорганізмів

Вид	<i>S. aureus</i>	<i>S. saprophyticus</i>	<i>S. epidermidis</i>	<i>Streptococcus pyogenes</i>	<i>Micrococcus luteus</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Escherichia coli</i>
<i>Ficus benjamina</i>	44,3	85,5	68,3	5,7	12,8	11,4	48,4	19,1
<i>F. benjamina</i> 'Exotica'	48,1	67,3	51,5	8,1	9,4	9,8	22,8	19,3
<i>F. benjamina</i> 'Golden King'	33,8	35,3	32,2	3,9	7,5	29,2	18,7	22,3
<i>F. elastica</i>	71,2	12,3	17,8	4,3	3,8	4,9	43,4	20,1
<i>F. elastica</i> 'Rubra'	73,5	13,8	13,2	10,5	2,1	8,1	48,1	21,3
<i>F. pumila</i>	43,8	78,2	67,3	80,3	53,4	5,4	9,6	55,2
НСР <sub>0,05</sub>	6,54	1,98	2,11	1,35	0,83	1,07	3,28	2,56

Необхідно зазначити, що всі дослідні рослини проявили високу фітонцидну активність відносно *Staphylococcus aureus*, *S. saprophyticus* і *S. epidermidis* — найбільш небезпечних для людини мікроорганізмів. Менш чутливими виявилися мікроорганізми *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*. У всіх відібраних для експерименту видів, за виключенням *F. pumila*, відсутня бактерицидна дія щодо *Streptococcus pyogenes* і *Micrococcus luteus*.

Отже, висока адаптаційна здатність рослин з роду *Ficus* та представників родини *Araceae* до різноманітних умов вирощування, їхня декоративність і висока фітонцидна активність дали підставу рекомендувати їх для широкого впровадження в озеленення інтер'єрів.

При оцінці санітарного стану закритих приміщень залежно від завдань дослідження визначають загальне мікробне число, наявність санітарно-показових мікроорганізмів (стафілококів, стрептококів як показників контамінації мікрофлорою носоглотки людини). Спираючись на вищенаведені дані, для дослідження загального мікробного складу повітря здійснювали висіви проб повітря з приміщеннях вестибюльної зони хірургічного відділення та відділення відновного лікування.

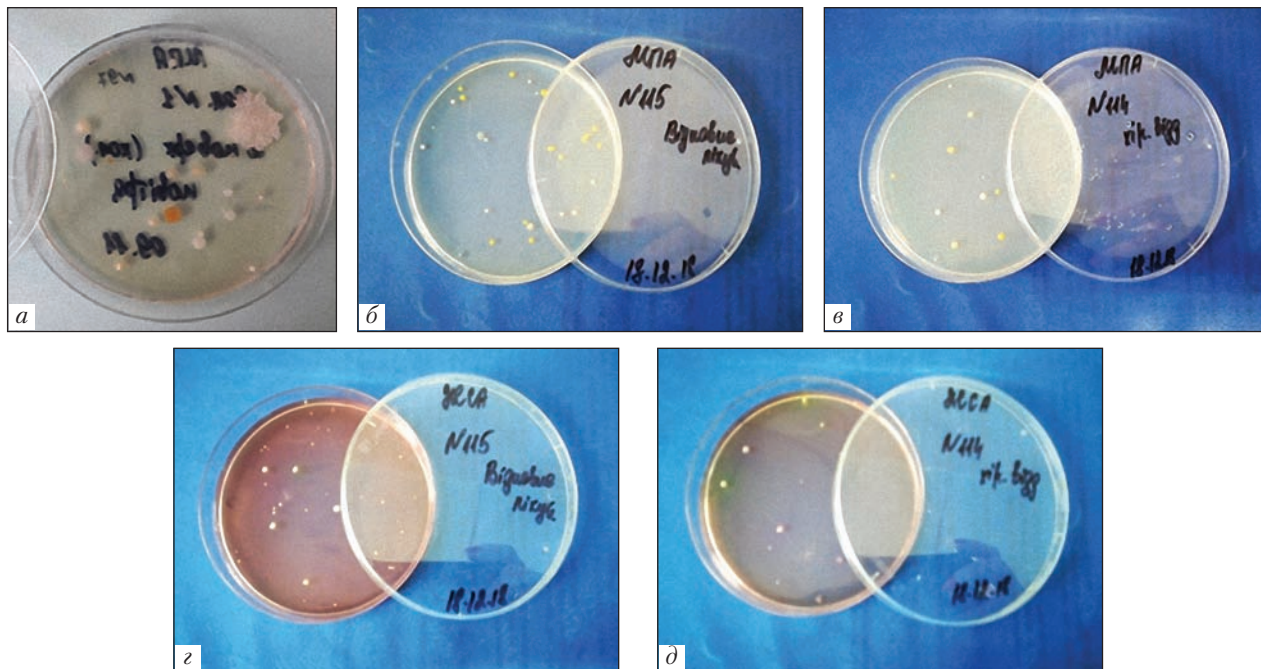
Із застосуванням загальноприйнятих у клінічній мікробіології методів було проведено скринінг антимікробної активності фітотомодулів за умов стаціонарних відділень ДНУ «Центр інноваційних медичних технологій НАН України». Перед початком експерименту було проведено визначення мікробного числа повітря приміщень, визначених як місця локалізації фітотомодулів аспіраційним методом з використанням апарату Кротова [27]. Так, загальна кількість мікроорганізмів з повітряного середовища відділення відновного лікування на 2 чашках Петрі становила 360 та 50 колоній відповідно, а у хірургічному відділенні — 380 та 200 колоній. Санітарно-показових мікроорганізмів, золотистого стафілококу та  $\alpha$ - й  $\beta$ -гемолітичних стрептококів виявлено не було. Через два

тижні після облаштування фітотомодулів у відповідних відділеннях було проведено повторне мікробіологічне дослідження повітря вестибюльних приміщень. Результати цих досліджень наведено нижче (рис. 3).

За результатами проведених досліджень контамінації повітря у приміщеннях на виявлення загального мікробного числа в 1 м<sup>3</sup> повітря та санітарно-показових мікроорганізмів (золотистого стафілококу,  $\alpha$ - та  $\beta$ -гемолітичних стрептококів, дріжджових та пліснявих грибків), було зафіксовано зменшення загального мікробного числа мікроорганізмів у 1,75 разів (від середньоарифметичного значення — 297,5 колоній до 170 колоній, відповідно). Таким чином, кількість колоній *Staphylococcus saprophyticus* на чашках Петрі після двохтижневої експозиції зменшилася у 1,75 разів, що свідчить про високу фітонцидну активність рослин до цього мікроорганізму — потенційного збудника нозокоміальних інфекцій у хворих лікарняних стаціонарів. Натомість, санітарно-показових мікроорганізмів —  $\alpha$ - та  $\beta$ -гемолітичних стрептококів, золотистого стафілококу — виявлено не було.

Для кожного виду рослин існує певний комплекс параметрів оточуючого середовища, найбільш оптимальний для їхнього розвитку. Незначні відхилення окремих параметрів або їхньої сукупності визначають зону толерантності, в якій рослини розвиваються, не відчуваючи негативного впливу оточуючого середовища. Суттєві відхилення вимагають від рослинних організмів активізації адаптивних механізмів, а за умов дуже великої амплітуди відхилень спостерігаються незворотні зміни, що призводять до загибелі рослин. Здатність рослин функціонувати в умовах інтер'єрів, де головним лімітуючим фактором переважно є світло, можна оцінити низкою методів, з яких кожен сам по собі не досконалий, але застосування їх у сукупності дозволяє отримати повну інформацію щодо механізмів, що дозволяють рослині задовільно переносити екстремальні умови зовнішнього середовища.





**Рис. 3.** Загальний вигляд чашок Петрі з колоніями мікроорганізмів: *a* – ріст колоній *Staphylococcus saprophyticus* перед впровадженням фітомодулів у стаціонарні відділення ДНУ «Центр інноваційних медичних технологій НАН України»; *б* – загальна мікробна контамінація у холі хірургічного відділення (100 колоній); *в* – загальна мікробна контамінація у відділенні відновного лікування (240 колоній); *г* – результати скринінгу на наявність *Staphylococcus aureus* на жовточно-сольовому агарі в холі хірургічного відділення та *д* – в холі відділення відновного лікування



**Рис. 4.** Контрольна та дослідна групи рослин-регенерантів *Ananas comosus* (L.) Merr.: *a* – смарт-лампи; *б* – природне світло



**Рис. 5.** Загальний вигляд композицій у холі хірургічного відділення Центру медичних інноваційних технологій НАН України: *а, б* – фітотули без застосування смарт-фітоламп; *в, з* – фітотули з лампами

Оскільки рослини є типовими автотрофами і повністю залежать від фотосинтезу, то при проектуванні джерел штучного світла необхідно правильно оцінювати кількісні та якісні параметри світлового потоку. При конструюванні фітоламп показники ефективності їхнього світлового потоку варто оцінювати на виході. Під ефективністю розуміємо сукупність двох параметрів – світловіддачі (кількісна характеристика) і спектра (якісна характеристика).

Тропічні та субтропічні рослини, які використовують в оздобленні інтер'єрів, для свого нормального росту та розвитку потребують збалансованого сонячного опромінення. Відповідно до цього критерію їх умовно поділяють на три основні групи: світлолюбні, тіньовитривалі і тінеіндиферентні. При формуванні рослинних композицій здебільшого було використано рослини з останніх двох груп. Це переважно полікарпії, трав'янисті або чагарникові рослини підліску, ліани, здатні витримувати тривале або значне затінення. Зазвичай, вони здатні адаптуватися до умов, що змінюються і витривалі до умови житлових приміщень.

При проектуванні джерел штучного освітлення прагнули максимально адекватно врахувати потреби рослин у спектральному скла-

ді світла. За спектром випромінювання сонячне світло неоднорідне. До його складу входять промені, що мають різну довжину хвилі. Довжина світлового дня змінюється упродовж року, що й було враховано при формуванні алгоритму освітлення фітотул, оскільки тривалість світлового дня в місцях природного зростання тропічних та субтропічних рослин – відносно стала величина (10–12 год) і практично не змінюється упродовж року. У помірних широтах найкоротший день триває 8 год, а найдовший – більше 16 год. З метою нівелювання цієї різниці в смарт-лампах було вбудовано контролери, здатні підтримувати тривалість світлового дня в межах 12 год.

Метою цього етапу робіт було, з урахуванням вищезазначених аспектів, вивчити вплив різних типів тестованих світильників на ростові потенціали рослин обраних видів. При цьому враховували, що в середньому, червоний світлодіод потужністю 1 Вт видає 30–40 лм, синій – 20–30 лм, натомість, білий – 100–110 лм. У сонячний літній день на широті помірної пояси на один квадратний метр припадає близько 2000 мк Моль/м<sup>2</sup>. Світлодіодна лампа потужністю 130 Вт з відстані 30 см видає приблизно 1570 мк Моль/м<sup>2</sup>. Разом з тим, відомо, що найсприятливішими для вирощування світлолюбних рослин є інтенсивності в

межах 150–220 Вт/м<sup>2</sup>, а оптимальний склад випромінювання має наступне співвідношення енергій за спектром: 30 % – у синій області (380–490 нм), 20 % – у зеленій (490–590 нм) і 50 % – у червоній області (600–700 нм). Саме такі розрахунки було взято до уваги при проектуванні й розробці смарт-ламп. Світлові потоки експериментальних світильників досліджували спектрально. Тестові світильники застосовували як єдине джерело освітлення. Фотоперіод становив 12/12 год, вологість 80–90 %, температура 22–26 °С. Відстань від верхніх лампи до верхніх частин рослин становила в середньому 30–40 см.

Аналіз отриманих результатів показав, що остаточна світлодіодна композиція світильників має кращі показники порівняно з люмінесцентними джерелами освітлення, застосовуваними в щоденній практиці. Візуально у різних груп рослин це проявлялося в набутті ділянками стебла й листків характерного пурпурового відтінку. Вегетативні органи набували характерного габітусу (розміри і форми), коротшали міжвузля – зникав ефект «втягнутих» рослин (рис. 4).

До відмічених позитивних ефектів росту та розвитку дослідних груп рослин можна віднести наступне:

- ◆ встановлено активний приріст біомаси дослідних груп рослин, який був у 1,3–2,2 рази вищим порівняно з контролем. Ймовірно, це є наслідком більш ефективної роботи обох фотосистем, що проявлялося, насамперед, в активізації метаболічних реакцій, пов'язаних з біосинтезом допоміжних фотосинтетичних пігментів (різних типів каротинів, ксантофілів) та їхнє активне залучення до процесів фотосинтезу та пластичного обміну;
- ◆ активний приріст біомаси та гармонізація морфогенетичних процесів, нормалізація габітусу очевидно є результатом впливу оптимізованого спектру ламп. Припускаємо, що внаслідок цього стає можливим нормальне функціонування другої світлочутливої системи. В цьому ланцюгу реакцій відповідаль-

ними за сприйняття сигналу є фототропін та криптохроми. Вони здатні прийняти сигнал такого типу та визначають реалізацію локальних рішень: різні типи тропізмів (визначення напрямку максимальної освітленості, оптимальна орієнтація асимілюючих органів у просторі, відкривання/закривання продихів). В результаті цього підвищується коефіцієнт корисної дії фотосинтезу, нормалізується водний та мінеральний обмін.

Використання оптимізованого в ході робіт спектру смарт-ламп спричинило нормалізацію роботи системи фітохромів. Це проявлялося, перш за все, у формуванні вегетативних органів (листок, стебло) з властивою конкретному виду морфологією. Крім того, у деяких видів було відмічено випадки формування генеративних органів. Вважаємо, що це свідчить про збалансованість світлового потоку тестованих світильників розробленої комплектації.

Створення фітокомпозицій передбачає опрацювання кількох складових: підбір асортименту рослин з високою фіторемедіаційною здатністю, типів контейнерів, опрацювання методів розмноження рослин, зокрема й з використанням біотехнологічних прийомів, дотримання технології культивування.

У ході виконання проекту було виготовлено 21 фітомодуль (рис. 5), відмінності між якими полягали у формі ємності (співвідношення висоти/ширини/діаметру), наявності/відсутності фітоламп та за систематичним, біоморфологічним складом рослин, а відтак – і фіторемедіаційною здатністю кожного конкретного фітомодуля.

При створенні контейнерних композицій було використано види рослин, здатних поглинати шкідливі домішки, та які мають підвищену адаптаційну здатність, зокрема асимілятивні властивості за неоптимальних умов та підтримання балансу основних функцій у середовищі. Оскільки різні види рослини здатні поглинати різні групи полютантів, поєднання їх у композиціях підвищує загальну фіторемедіаційну здатність. Перед висаджуванням у

контейнери для формування фітомодулів рослини культивували в умовах оранжерей. При компонуванні рослин використовували широкодоступні напольні, настільні та підвісні кашпо типу *Lechuza*. Всі ємності оснащені системою автополиву, завдяки чому будь-яка рослина отримує необхідну кількість води та добрив залежно від розміру горщика, а зйомні внутрішні контейнери дають можливість змінити рослину, не пошкоджуючи кореневу систему.

Для створення оптимальних умов вирощування декоративних рослин в приміщеннях першочергове значення має правильний підбір ґрунтового субстрату. При його приготуванні необхідно враховувати фізичні властивості всіх компонентів для того, щоб забезпечити достатню аерацію кореневої зони, стійку структуру й високу буферну здатність останнього. В роботі було досліджено значну кількість природних і синтетичних матеріалів як ґрунтових субстратів. Найбільш придатними для культивування декоративних рослин в умовах приміщення виявилися торф'яні продукти, листяний опад різних видів дерев, наповнювачі синтетичного походження. Завдяки підбору компонентів суміші було отримано оптимальні та порівняно дешеві субстрати, хоча й з низькою структурною стійкістю.

Серія експериментів з вивчення дії біогенних елементів на розвиток рослин та їхнього впливу на співвідношення біомаси коренів до біомаси надземної частини в умовах закритого приміщення показала, що величина співвідношення корінь:пагін значно вище при нестачі азоту. За цих умов збільшувалася довжина коренів, але їхній об'єм залишався без змін, а адсорбційна поверхня зменшувалася. При більш значному дефіциті азоту (30–50 мг/л субстрату) спостерігалася наступна залежність: спочатку зменшувалася вага коренів, потім їхній об'єм і адсорбційна поверхня, а згодом припинявся ріст кореневої системи. Фізіологічний стан ризосфери при низькій забезпеченості азотом характеризується збільшенням вмісту

води у тканинах коренів і високим співвідношенням К:Са. Так, у варіанті досліді з мінімальною дозою азоту вміст води у тканинах коренів для всіх видів був у середньому на 21–37 % вищим, порівняно з вмістом води в рослинах при оптимальному рівні забезпеченості азотом. При цьому спостерігалася збільшення вмісту К в тканинах рослин в середньому у 1,9–2,5 рази.

Певні зміни в розміщені та розмірах корневих систем пов'язані з агрофізичними показниками ґрунтових субстратів. Експериментально було доведено, що погіршення розвитку кореневої системи у всіх досліджуваних видах спостерігається за умов підвищення щільності субстрату від 1 до 1,6 мг/см<sup>3</sup>, а при його значеннях 1,88 мг/см<sup>3</sup> (0,52 МПа) ріст коренів майже повністю припинявся. При цьому різко погіршувалася адсорбція коренями сполук фосфору, калію і кальцію.

Виявлено пряму залежність між листопадом та зменшенням об'єму тонких коренів. Таку закономірність спостерігали у декоративних рослин в інтер'єрах в період з листопада до лютого за умов нестабільних температур повітря і низького рівня освітлення в приміщеннях. Доведено, що стан розвитку тонких коренів (а саме, вага, довжина, чисельність коренів та розміри їхньої адсорбційної поверхні) доцільно використовувати як дуже чутливі індикатори для оптимізації умов вирощування інтродукованих рослин у приміщеннях різного функціонального призначення.

При розробці фітомодулів для лікарняно-профілактичних закладів було використано широкодоступний мінеральний субстрат *LECHUZA-PON*. Вибір саме цього типу субстрату, до складу якого входить пемза, цеоліт, лава, NPK – 15:11:14 (а також мікроелементи) було зумовлено необхідністю зменшити частку органічної речовини у суміші, оскільки остання може стати середовищем для розвитку мікроорганізмів та пліснявих грибів, що є неприйнятним для лікарняних закладів.

Отже, отримані результати свідчать, що фітореMediaція повітряного простору закритих приміщень, зокрема й лікарняно-профілактичних закладів, є надзвичайно ефективним, економічно вигідним та екологічно безпечним способом очищення повітря, який сприяє покращенню фізичного та психологічного здоров'я.

Таким чином, в результаті реалізації проекту розроблено методологічну основу для створення та використання декоративних фітомодульних композицій з тропічних рослин для використання у закритих приміщеннях лікувально-профілактичних закладів та у місцях великого скупчення і тривалого перебування підрозділів силових структур (шпиталі, казарми, аудиторії). Останній тип приміщень було обрано як модельний, тобто такий, що має певний тип забруднювачів повітря, а, отже, й потребує використання при створенні фітомодулів видів рослин, здатних знешкоджувати саме ці групи речовин.

На основі оцінки фітореMediaційної здатності окремих видів тропічних рослин (з використанням анатомічних, фізіолого-біохімічних та біолого-морфологічних маркерів, що визначають їхню ефективність щодо поліпшення стану повітряного середовища) було здійснено скринінг колекції тропічних рослин НБС щодо наявності рослин, придатних для фітореMediaції повітря закладів зі специфічним навантаженням шкідливих речовин та створено 21 фітомодуль для озеленення лікувально-профілактичних закладів.

З'ясовано кількісні та якісні критерії будови поверхні листка та фотосинтетичного апарату, що визначають здатність рослин поглинати шкідливі речовини та виявляти стійкість за умов стресу. Високу стійкість до умов середовища виявили рослини видів, що належать до родів *Nephrolepis*, *Dracaena*, *Ficus*, *Peperomia*, *Thaumatococcus*, *Spathiphyllum*, *Chlorophytum* тощо, які й рекомендовано для фітомодульних композицій.

Скринінг антимікробної активності фітомодулів за умов стаціонарних відділень ДНУ «Центр інноваційних медичних технологій НАН України» показав, що кількість *Staphylococcus saprophyticus* в пробах повітря після двохтижневої експозиції зменшилась майже вдвічі, що свідчить про високу фітонцидну здатність рослин по відношенню до цього мікроорганізму – потенційного збудника нозокоміальних інфекцій у хворих лікарняних стаціонарів.

Показано, що серед досліджених видів найвищою фітонцидною активністю щодо патогенних мікроорганізмів (*Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*) характеризуються рослини *Thaumatococcus bipinnatifidum*, *Epipremnum pinnatum*, *Spathiphyllum blandum* (*Araceae*) та *Ficus pumila* (*Moraceae*), що дає підставу рекомендувати їх при створенні фітомодулів для озеленення інтер'єрів різного функціонального призначення, передусім, лікарняно-профілактичних закладів.

Розробка відповідних регламентів догляду та світлодіодних smart-фітоламп, кількісні та якісні характеристики світлового потоку яких відповідають оптимуму проходження фотосинтетичних процесів, дозволить ефективно використовувати запропоновані фітомодульні системи з мінімальними фінансовими та трудовими затратами.

Таким чином, до впровадження запропоновані типові фітомодулі, тобто композиції, які включають певні види декоративних рослин, що є нетоксичними, мають високу реMediaційну здатність та толерантність до різних абіотичних чинників (недостатнього зволоження, різного рівня освітленості тощо) і, водночас, є малокомпонентними, що полегшує догляд за ними. Інноваційний аспект цієї розробки полягає у тому, що запропоновані «фітомодулі» призначені для використання, передусім, у лікарняно-профілактичних закладах, а також у місцях значного скупчення людей, якими є місця закритої дислокації підрозділів силових структур.

**Подяки.** На стадії впровадження розробку частково було підтримано за рахунок фінансування науково-технічного проєкту №394-ФМ «Впровадження «фітотомодулів» з тропічних рос-

лин для оптимізації середовища приміщень профілактично-лікувальних закладів» (№ державної реєстрації — 0118U000959), за що автори статті висловлюють щирю вдячність.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Vazquez K., Adams L. The level of volatile organic compounds exposure in new buildings: can adding indoor potted plants reduce exposure. *Proceedings of The National Conference On Undergraduate Research (NCUR)*. (April 3–5, 2014, Kentucky). University of Kentucky, Lexington, KY, 2014. P. 531–540.
2. Avaltroni R., Constantinidis C., Dipaolo G., Fields R., Gallo R., Glorie D., ... Tobin R. *Indoor air quality and sick building syndrome in health care facilities and commercial buildings*. Environmental Advisory Council, 2015. 23 p.
3. Burge P.S. Sick building syndrome. *Occup. Environ. Med.* 2004. V. 61. P. 185–190. doi: 10.1136/oem.2003.008813.
4. Vaughan T.L., Strader C., Davis S., Daling J.R. Formaldehyde and cancers of the pharynx, sinus and nasal cavity: II. Residential exposures. *Journal of Cancer*. 1986. V. 38. P. 685–688.
5. Wallace L.A. Personal exposure to 25 volatile organic compounds Epa's 1987 team study in Los Angeles, California. *Toxicology and Industrial Health*. 1991. V. 6. P. 203–208.
6. Wolkoff P., Nielsen G.D. Organic compounds in indoor air — their relevance for perceived indoor air quality? *Atmospheric Environment*. 2001. V. 35. P. 4407–4417.
7. Azuma K., Tanaka-Kagawa T., Jinno H. Health risk assessment of inhalation exposure to 2-ethylhexanol, 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate, and texanol in in-door environments. *Proceedings of X International Conference "Indoor Air Quality and Climate (Indoor Air)"*. (3-8 July, Ghent, Belgium). Paper ID 168. Ghent: ISIAQ, 2016.
8. Kim K.Y., Kim Y.S., Kim D. Distribution characteristics of airborne bacteria and fungi in the general hospitals of Korea. *Ind. Health*. 2010. V. 48, no. 2. P. 236–243.
9. El-Sharkawy M.F., Noweir M.E. Indoor air quality levels in a University Hospital in the Eastern Province of Saudi Arabia. *J. Family Community Med.* 2014. V. 21, no. 1. P. 39–47.
10. Dehghani M. Concentration and type of bioaerosols before and after conventional disinfection and sterilization procedures inside hospital operating rooms. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018. V. 164. P. 277–282.
11. Melzer M., Welch C. Outcomes in UK patients with hospital-acquired bacteraemia and the risk of catheter-associated urinary tract infections. *Postgrad. Med. J.* 2013. V. 89, no. 1052. P. 329–334. doi: 10.1136/postgradmedj-2012-131393.
12. U.S. Environmental Protection Agency. 1989. Report to Congress on indoor air quality: Volume 2. EPA/400/1-89/001C. Washington, DC.
13. Богатырь В.Б. *Биологические особенности растений семейства ароидных, перспективных для озеленения интерьеров*: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Киев, 1986. 20 с.
14. Гродзинский А.М. *Фитодизайн и фитонциды*. Киев: Наук. думка, 1981. 180 с.
15. Заїменко Н. В. *Наукові принципи структурно-функціонального конструювання штучних біогеоценозів (в системі: ґрунт — рослина — ґрунт)*: автореф. дис. ... докт. біол. наук. 03.00.16. Київ, 2001. 36 с.
16. Заїменко Н.В. *Наукові принципи структурно-функціонального конструювання штучних біогеоценозів у системі ґрунт — рослина — ґрунт*. Киев, 2008. 304 с.
17. Снежко В.В. *Декоративные и биоэкологические особенности растений в фитодизайне*: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. 03.00.05. Киев, 1983. 24 с.
18. Снежко В.В. *Рекомендации по использованию декоративных растений для озеленения производственных интерьеров*. Киев, 1987. 15 с.
19. Сніжко В.В. Типи інтер'єрів при озелененні предметного середовища людини. *Інтродукція та акліматизація рослин на Україні*. 1981. Т. 18. С. 77–79.
20. Харитоновна І.П. Дослідження питань фітодизайну в НБС ім. М.М. Гришка НАН України. *Інтродукція рослин*. 2004. № 1. С. 52–56.
21. Харитоновна І.П. *Біологічні особливості тропічних і субтропічних рослин в умовах інтер'єрів різного типу*: автореф. дисс. ... канд. біол. наук. 03.00.05. Київ, 2005. 25 с.
22. Черевченко Т.М., Снежко В.В. *Способы и приемы озеленения интерьеров (рекомендации)*. Киев, 1986. 198 с.
23. Черевченко Т.М., Лаврентьева А.М., Иванников Р.В. *Биотехнология тропических и субтропических растений in vitro*. Київ: Наукова думка, 2008. 560 с.
24. Черевченко Т.М., Рахметов Д.Б., Гапоненко М.Б. *Сучасні біотехнології в інтродукції видів тропікогенних флор як метод збереження їх генофонду ex situ та збагачення рослинних ресурсів України*. Київ: Фітосоціоцентр, 2012. 432 с.

25. Tsybulya N.V., Fershalova T.D., Yakimova Yu.L. Examination of the antimicrobial activity of some *Begonia* L. species as a possible piece of phytodesign. *Aerospace and Environmental Medicine*, 2010. V. 44, no. 1. P. 47–50.
26. Padhy P.K., Rashney C.K. Emission of volatile organic compounds (VOC) from tropical plant species in India. *Chemosphere*. 2005. V. 59. P. 1643–1653.
27. Лабинская А.С., Волина Е.Г. *Руководство по медицинской микробиологии*. Кн. 1. *Общая санитарная микробиология*. Москва: Бином, 2020. 1080 с.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.10.19

Статтю прорецензовано / Revised 17.12.19

Статтю підписано до друку / Accepted 15.01.20

Buyun, L.I.<sup>1</sup>, Ivannikov, R.V.<sup>1</sup>, Yakymets, V.M.<sup>2</sup>,  
Stepankov, R.S.<sup>3</sup>, Kharitonova, I.P.<sup>1</sup>, and Kozhokaru, A.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Gryshko National Botanic Garden, the NAS of Ukraine,  
1, Timiryazevskaya St., Kyiv, 01014, Ukraine,  
+380 44 285 2647, nbg@nbg.kiev.ua

<sup>2</sup> Center for Innovative Medical Technologies,  
the NAS of Ukraine,  
22, Voznesensky Uzviz, Kyiv, 04053, Ukraine,  
+380 44 272 2205, cimtnanu@ukr.net

<sup>3</sup> TOPENERGY LLC,  
of. 314, 7, Mykola Vasilenko St., Kyiv, 03680, Ukraine,  
+380 44 220 9013, roman@topenergy.com.ua

<sup>4</sup> Ukrainian Military Medical Academy of the Defense Ministry of Ukraine,  
45/1, build. 33, Moscovska St., Kyiv, 01015, Ukraine,  
+380 44 280 0034, umma@ukrpost.ua

#### PHYTOMODULE CLUSTER AS A STRUCTURAL ELEMENT OF INDOOR AREA OF VARIOUS FUNCTIONAL PURPOSES

**Introduction.** To date, people are surrounded by new toxic substances accompanying the development of technological progress, therefore the searching a new ways for amelioration of indoor air quality has acquired an increasing urgency.

**Problem Statement.** Nowadays, the development of methods for phytoremediation of indoor environment of premises, especially those where congestion of a significant number of people for a long time takes place (*treatment and preventive care establishments*, classrooms, military barracks or housing accommodations) is increasingly necessary.

**Purpose.** To create cluster of phytoremediation modules to be used for amelioration of indoor air quality.

**Materials and Methods.** The anatomical and morphological, physiological and biochemical, microbiological methods, light and SEM microscopy methods were used in the work.

**Results.** The selection of plants as biofilters with high potency to absorb the harmful substances from indoor air within the collection of tropical plants of Gryshko National Botanic Garden has been undertaken.

The quantitative and qualitative criteria of both the leaf structure and the photosynthetic apparatus, determining the ability of plants to absorb pollutants, were assessed. Biotechnological methods of plant propagation, involved in phytounits have been worked out. Different types of containers with an automatic watering system and substrata with low part of organic substances have been proposed. Additionally, plant compositions were equipped by LED lamps elaborated to provide plants with optimal full spectrum for photosynthetic performance. The screening of antimicrobial activity of phytounits was undertaken in the departments of the Center for Innovative Medical Technologies. It has been established that an air contamination by *Staphylococcus saprophyticus* after two-week exposition was reduced by half.

**Conclusions.** Thus, phytomodels, including the plants species which are nontoxic, with high remediation ability and tolerant to various abiotic factors have been provided to be introduced into indoor area of *treatment and preventive care establishments* and closed deployment places of security forces units.

Keywords: *tropical plants, phytoremediation modules, antimicrobial activity, adaptive ability, and smart phytolamps.*