



ЄМЕЦЬ

Алла Іванівна —

член-кореспондент НАН
України, завідувач відділу
клітинної біології та
біотехнології Державної
установи «Інститут харчової
біотехнології та геноміки НАН
України»

ЦИТОСКЕЛЕТ ЯК ВНУТРІШНЬОКЛІТИННИЙ РЕГУЛЯТОР І МІШЕНЬ ДЛЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ СПОЛУК

**Стенограма доповіді на засіданні
Президії НАН України 2 липня 2025 року**

У доповіді наведено актуальні результати фундаментальних досліджень, проведених у ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України» і спрямованих на розкриття ролі цитоскелета в забезпеченні структурної й сигнальної організації еукаріотичних клітин. Розглянуто можливості використання цитоскелета як мішені для пошуку природних і синтетичних біологічно активних речовин.

Шановні члени Президії!

Шановні колеги!

Як відомо, розроблення будь-якої нової технології ґрунтується передусім на результатах фундаментальних досліджень. Мою сьогоднішню доповідь присвячено вивченню такої дуже важливої внутрішньоклітинної структури, як цитоскелет, його будови, функцій та ролі в забезпеченні структурної й сигнальної організації еукаріотичних клітин, а також новим підходам та розробкам, які постають на основі отриманих нами результатів дослідження цієї структури.

Що ж таке цитоскелет? Це каркас, який пронизує кожну клітину нашого організму і має досить складну структуру (рис. 1). Цитоскелет являє собою мережу різних білкових волокон, яка виконує різноманітні функції: підтримує або змінює форму клітини; фіксує деякі органи в певних положеннях; забезпечує рух цитоплазми та везикул у клітині; уможливорює рух клітини у відповідь на подразники тощо. У цитоскелеті є три основні види компонентів: актинові філаменти, або мікрофіламенти, проміжні філаменти, які бувають різних типів, та тубулінові мікротрубочки. Кожна з цих структур є полімерною і складається з окремих білків. Вивчення саме цих білків є вкрай важливим для науковців.

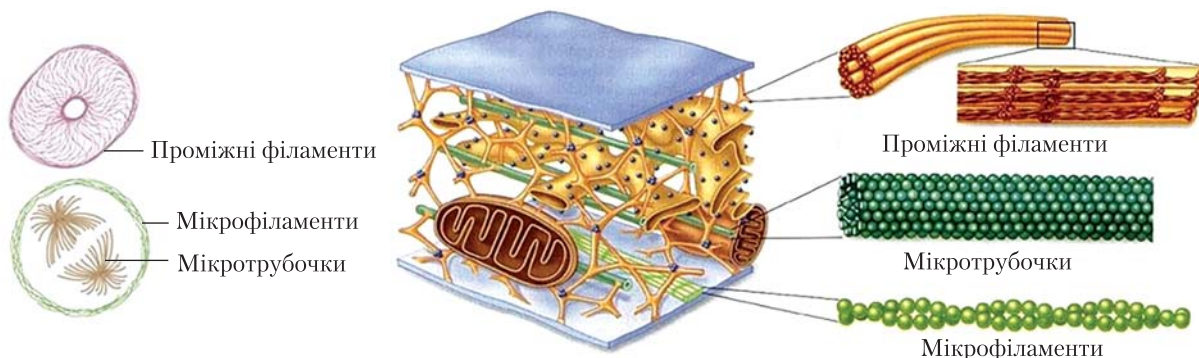


Рис. 1. Основні компоненти цитоскелета: мікрофіламенти, мікротрубочки та проміжні філаменти (LibreTexts. <https://surli.cc/ejxyhz>)

Цитоскелет виконує такі основні функції:

- визначає форму і підтримує об'єм клітини;
- бере участь у процесах росту, поділу та диференціації клітин, що дуже важливо, оскільки якщо клітина ділиться коректно, вона й функціонує правильно, не перетворюючись на ракову, як це притаманно організму тварин і людини;
- забезпечує внутрішньоклітинну організацію і логістичну функцію — транспорт органел і везикул, тобто цитоскелет можна порівняти з рейками, по яких спрямовано рух різних органел у потрібні місця;
- бере участь у забезпеченні руху клітини;
- контролює відкладання клітинної стінки у рослин та респірацію, тобто дихання рослинних клітин;
- опосередковує відповідь клітини на біотичні та абіотичні стресові фактори.

Оскільки наші дослідження було сфокусовано переважно на рослинних об'єктах, ми сьогодні розглянемо цитоскелет рослинних клітин, який має певні відмінності від цитоскелету тваринних клітин.

У рослин є своя специфіка: вони нерухомі, а також не мають, наприклад, нігтів, кігтів, пір'я, волосся чи нейронів, до складу яких входять білки проміжних філаментів. Тому однією з найголовніших особливостей цитоскелета рослинних клітин є те, що він складається переважно з мікротрубочок та актинових мікрофіламентів, що взаємодіють між собою, і не

містить проміжних філаментів, притаманних тваринним клітинам. Хоча слід зазначити, що деякі білки, подібні до проміжних філаментів, а також ламіни (один із типів білків, що належить до цих структур) знайдено й у рослин. У рослинних клітин, на відміну від тваринних, немає також центріолей — циліндричних органел, що входять до складу клітинного центру, або центросоми. Це зумовлює особливості формування мітотичного веретена та фрагмoplastу під час поділу клітин. До того ж у рослин цитоскелет взаємодіє з жорсткою клітинною стінкою, що обмежує рух клітини, але водночас забезпечує її механічну стабільність та слугує захисним бар'єром.

І саме такі еволюційні особливості визначають ключову роль цитоскелета в рості і розвитку рослин, а також у формуванні їхньої відповіді на різні стресові фактори. Проведені нами фундаментальні дослідження з вивчення процесів функціонування цитоскелета дозволили розробити певні біотехнологічні підходи, які дають змогу регулювати відповідь клітини і загалом рослинного організму на різні біотичні та абіотичні виклики.

Як уже зазначалося, клітинний поділ залежить від коректного функціонування цитоскелета клітини, і нами було показано, з яких саме елементів складаються центри, в яких формується мітотичне веретено поділу в рослин. За відсутності центріолей у рослин мітотичне веретено поділу формується безпосередньо в

так званих центрах організації мікротрубочок, розташованих безпосередньо в цитоплазмі, в результаті активації і взаємодії певних білків, що й приводить до утворення веретеноподібної структури.

Мікротрубочки складаються з основного білка — тубуліну, який є димером. Його α - і β -субодиниці полімеризуються, утворюючи довгі ланцюги — протофіламенти. Зазвичай 13 протофіламентів, розміщуючись по колу, утворюють порожнисту циліндричну структуру мікротрубочки (рис. 2). Ключову роль у процесі збирання мікротрубочок у рослинних клітин відіграє білок γ -тубулін, який входить до складу центрів їх організації. Вивчаючи саме ці структури, ми знайшли деякі речовини, які дозволили нам у подальшому регулювати функціонування рослинного організму [1, 2].

Крім того, нами вперше було виявлено функціональну роль деяких посттрансляційних модифікацій тубуліну. Встановлено, що фосфорилювання тубуліну, як основного білка мікротрубочок [3, 4], відбувається переважно по тирозинових залишках, а не по серинових чи треонінових, як у тваринних організмів. З'ясувалося, що саме ця модифікація залучена до відповіді рослин на дію холоду [5].

Розуміючи, що фосфорилювання — це важлива посттрансляційна модифікація, притаманна майже всім білкам, і саме вона специфічно регулює функції цитоскелета, нами знайдено речовини, які безпосередньо впливають на перебіг цього процесу, — інгібітори тирозинкінази і фосфатази, та встановлено, як саме вони регулюють організацію і функціонування мікротрубочок [6, 7]. Це допомогло нам у подальшому розробити нові підходи до підвищення частоти генетичної трансформації у рослин.

Зважаючи на те, що однією з найважливіших функцій цитоскелета є відповідь на різноманітні стресові фактори, ми дослідили, як саме він реагує на екстремальні температури, вплив важких металів, а також на дію ультрафіолету В. Нами показано, що цитоскелет рослинних клітин реагує на всі ці виклики, переорієнтовується, що й зумовлює резильєнтність організмів рослин, тобто їхню стійкість до стрес-

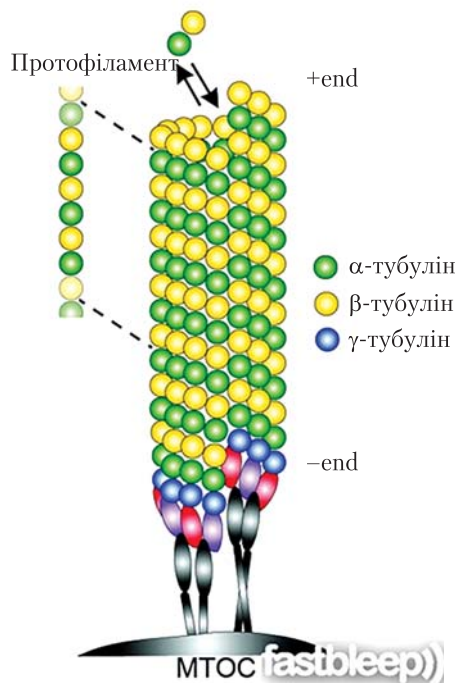


Рис. 2. Схематична структура мікротрубочок (The Mittermaier Lab.
<https://www.mcgill.ca/mittermaierlab/research>)

сових чинників. І ми знайшли молекулу, яка є ключовою в цьому сигнальному каскаді, — це монооксид азоту (NO) [8—11]. Крім того, нами вперше було показано, що за певної дії NO відбувається ще одна посттрансляційна модифікація — нітрування тубуліну. За цикл робіт за цією тематикою в 2019 р. нашому науковому колективу було присуджено премію імені М.Г. Холодного НАН України.

Далі ми вирішили дослідити, як цитоскелет може бути задіяний у розвитку автофагії. Нагадаю, що за відкриття механізмів автофагії у 2016 р. японському вченому Йосінорі Осумі було присуджено Нобелівську премію з фізіології та медицини.

Автофагія — це цілком природний клітинний процес «самопідання», за допомогою якого клітини очищуються від пошкоджених молекул, токсичних «відходів» або вже непотрібних для життєдіяльності елементів. Для цього в клітині утворюються автофагосоми — мемб-

ранні везикули, які оточують компоненти, що підлягають утилізації. Нами показано, що до руху автофагосоми залучено мікротрубочки, тобто цитоскелет дійсно бере участь у процесі автофагії, зокрема під дією стресу [12].

Важливою науковою проблемою є вирощування рослин в умовах космосу. Ми зацікавилися питанням, як рослинні клітини реагують на змінення гравітації, і провели порівняльні дослідження того, як автофагія відбувається в нормі та під дією гравітаційного стресу. Нами також досліджено, як саме на рівні геному експресуються гени, залучені до розвитку автофагії, і як еволюційно ці гени з'явилися у рослин у відповідь на їхній нерухомий спосіб життя [13].

Тепер розглянемо цитоскелет як мішень для біологічно активних сполук. Як відомо, для лікування ракових захворювань використовують, зокрема, антими́тотичні препарати, оскільки вони, взаємодіючи з тубуліном мікротрубочок, зупиняють процес поділу клітини і не дають їй неконтрольовано ділитися та метастазувати. Серед таких речовин найбільш поширеними в медичній практиці є таксол, вінкристи́н та вінбла́стин. Ми встановили, що антими́тотичні сполуки можуть бути також ефективними гербіцидами, селективними агентами в генетичній інженерії; агентами для підвищення частоти генетичної трансформації; індукторами поліплоїдизації клітин, фунгіцидами та нематоцидами.

Коли дослідники створюють гербіциди, перед ними стоїть завдання знайти речовини, які є високоселективними до рослин (мають вражати лише бур'яни) і нетоксичними для тваринного і людського організму. Таким критеріям відповідають динітроаніліни і фосфоаміди [14]. У співпраці з нашими колегами з Інституту органічної хімії НАН України, які надали нам для досліджень різні динітроанілінові сполуки, було проведено їх скринінг, вивчено, як вони взаємодіють із тубуліном, і виокремлено серед них найбільш ефективні та найбільш селективні щодо певних груп однодольних і дводольних рослинних організмів, що є бур'янами [15].

Антими́тотичні сполуки можна використувати і в генній інженерії як селективні агенти [16]. Ми отримали мутантні лінії рослин за генами білків мікротрубочок і продемонстрували, що вони мають стійкість до різних класів гербіцидів, зокрема й фенілкарбаматних [1]. Спочатку ми спробували перенести цю ознаку за допомогою методів соматичної гібридизації. Це дуже тонкий, можна сказати ювелірний, метод, коли беруть клітини від двох різних рослин і зливають їх одна з одною, а далі дивляться, чи здатні ці гібридні клітини успадковувати гени, які намагаються перенести. Нам це вдалося зробити, тобто ми перенесли ознаку стійкості до гербіцидів в інші види рослин [17], і це навело нас на думку використати ці гени для подальшого створення векторних конструкцій для генетичної трансформації. Ми клонували мутантний ген тубуліну, зробили векторні конструкції, провели трансформацію різних видів рослин (льон, ячмінь, просо та ін.) і довели, що саме цей селективний маркерний ген є безпечною альтернативою генам стійкості до антибіотиків у генетичній інженерії [18].

Вивчаючи ці процеси, ми помітили, що якщо зупинити поділ клітини на певній стадії, можна отримати так звані мікропротопласти. Це корисно в разі, якщо потрібно перенести полігенні ознаки, тобто не один ген, а відразу кілька генів від одного організму до іншого. І ми розробили метод такого перенесення за допомогою мікропротопластів [19].

Серед речовин, що підвищують частоту генетичної трансформації, нами знайдено ті, які регулюють процес фосфорилування. Це важливо, оскільки генетичну трансформацію можна здійснювати кількома різними шляхами, один з яких — це використання агробактерій. Коли агробактерія проникає в клітину, вона переносить туди ген інтересу, і ми з'ясували, що, регулюючи за допомогою певних інгібіторів процес фосфорилування цитоскелета, можна підвищити частоту генетичної трансформації [20].

Серед речовин, які специфічно зупиняють мітоз на певній стадії, якраз і були цікаві для нас з точки зору поліплоїдизації, тобто збіль-

шення кількості хромосом. Класичним агентом поліплоїдизації є колхіцин, який видобувають із пізньоцвіту осіннього (*Colchicum autumnale*), але він надзвичайно токсичний і для рослин, і для людини, а також має низьку афінність до тубуліну. Гарними індукторами поліплоїдизації виявилися сполуки — представники динітроанілінового ряду. Крім того, нами показано, що, використовуючи їх, можна значно підвищити вихід ефірних олій з лікарських рослин [21].

Також було проведено подібні дослідження з перспективною енергетичною культурою — міскантусом. Річ у тім, що *Miscanthus giganteus* має 57 хромосом, тобто непарне число, а отже, з нього не можна отримувати насіння. Ми його поліплоїдизували, тобто збільшили вдвічі кількість хромосом — до 114, і одержали лінії цієї рослини з більшою біомасою, що сприяє підвищенню виходу біоетанолу [22, 23].

Що стосується використання антимітотичних сполук як фунгіцидів і нематоцидів, то, досліджуючи разом з колегами з Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України розроблені ними біостимулятори природного походження, ми помітили, що ці івермектинвмісні препарати надзвичайно ефективно підвищують стійкість пшениці до посухи, а також до сольового стресу. Ми зацікавилися, яка саме речовина в препараті може бути тригером, що запускає процеси підвищення стресостійкості. Однією з таких сполук виявився івермектин — відомий протипаразитарний препарат, за відкриття якого було присуджено Нобелівську премію 2015 р. Нами було досліджено, як рослинні клітини реагують на дію івермектину, знайдено сайт його взаємодії з тубуліном і показано, що рослини (зокрема, арабідопсис) є малочутливими до дії цієї речовини [24].

Потім ми з'ясували, як івермектин діє на фітопатогени, зокрема штами фітопатогенних грибів роду *Fusarium* — збудників найпоширеніших грибних хвороб, що вражають важливі зернові й овочеві культури, вперше виявивши специфічність його зв'язування з грибним тубуліном [25], що відкриває можливості для подальшого пошуку ефективних фунгіцидів.

Далі, враховуючи те, що крім грибних фітопатогенів, рослини часто потерпають від нематод, ми вперше встановили, що фітонематоди також дуже вразливі до дії івермектину.

І ще один напрям наших робіт, про який я хотіла б сьогодні розповісти, — це візуалізація мікротрубочок за допомогою квантових точок для імуофлуоресцентних досліджень у живих клітинах. Нами розроблено метод «зеленого синтезу» для отримання таких квантових точок, всебічно досліджено їх [26—29] та створено кон'югати між срібловмісними квантовими точками і антитілами проти тубуліну [30]. Цей метод дає змогу швидко візуалізувати структури [31] безпосередньо в живих клітинах [30].

На завершення свого виступу наведу слова президентки Європейської дослідницької ради Марії Лептін на нещодавньому засіданні Єврокомісії в Брюсселі: «Фундаментальні дослідження — це не розкіш. Вони є основою інновацій». Цей вислів свідчить про розуміння керівництвом ЄС того, що довгострокові суспільні вигоди та економічне зростання ґрунтуються на фундаменті, закладеному науковими дослідженнями, спрямованими на розуміння природи та розширення людських знань, навіть якщо вони не мають негайного комерційного застосування.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання
підготувала О.О. Мележик

REFERENCES

1. Yemets A., Stelmakh O.A., Kundelchuk O.P., Blume Ya.B. Obtaining and analysis of isopropyl-N-phenyl carbamate resistant lines of *Nicotiana* species. *Cell Biol. Int.* 2003. **27**(3): 307—310. [https://doi.org/10.1016/S1065-6995\(02\)00348-7](https://doi.org/10.1016/S1065-6995(02)00348-7)
2. Yemets A., Stelmakh O., Blume Ya. Effects of the herbicide isopropyl-N-phenyl carbamate on microtubules and MTOCs in lines of *Nicotiana sylvestris* resistant and sensitive to its action. *Cell Biol. Int.* 2008. **32**(6): 623—629. <https://doi.org/10.1016/j.cellbi.2008.01.012>
3. Blume Ya., Yemets A., Sheremet Ya., Nyporko A., Sulimenko V., Sulimenko T., Draber P. Exposure of beta-tubulin regions defined by antibodies on *Arabidopsis thaliana* microtubule protofilament model and in the cells. *BMC Plant Biol.* 2010. **10**: 29. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-29>
4. Karpov P.A., Nadezhdina E.S., Yemets A.I., Matusov V.G., Nyporko A.Yu., Shashina N.Yu., Blume Ya.B. Bioinformatic search of plant microtubule- and cell cycle related serine-threonine protein kinases. *BMC Genomics.* 2010. **11**(1): 14. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-11-S1-S14>
5. Blume Ya., Yemets A., Sulimenko V., Sulimenko T., Chan J., Lloyd C., Dráber P. Tyrosine phosphorylation of plant tubulin. *Planta.* 2008. **229**(1): 143—150. <https://doi.org/10.1007/s00425-008-0816-z>
6. Sheremet Ya.A., Yemets A.I., Vissenberg K., Verbelen J.-P., Blume Ya.B. Effects of inhibitors of serine/threonine protein kinases on *Arabidopsis thaliana* root morphology and microtubule organization in its cells. *Cell Tiss. Biol.* 2010. **4**: 399—409. <https://doi.org/10.1134/S1990519X10040139>
7. Yemets A., Sheremet Ya., Vissenberg K., Van Orden J., Verbelen J.-P., Blume Ya.B. Effects of tyrosine kinase and phosphatase inhibitors on microtubules in *Arabidopsis* root cells. *Cell Biol. Int.* 2008. **32**(6): 630—637. <https://doi.org/10.1016/j.cellbi.2008.01.013>
8. Yemets A.I., Krasylenko Yu.A., Lytvyn D.I., Sheremet Ya.A., Blume Ya.B. Nitric oxide signaling via cytoskeleton in plants. *Plant Sci.* 2011. **181**(5): 545—554. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.04.017>
9. Lytvyn D.I., Raynaud C., Yemets A.I., Bergounioux C., Blume Ya.B. Involvement of inositol biosynthesis and nitric oxide in the mediation of UV-B induced oxidative stress. *Front. Plant Sci.* 2016. **7**: 430. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00430>
10. Blume Ya.B., Krasylenko Yu.A., Demchuk O.M., Yemets A.I. Tubulin tyrosine nitration regulates microtubule organization in plant cells. *Front. Plant Sci.* 2013. **4**: 530. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00530>
11. Krasylenko Yu.A., Yemets A.I., Blume Ya.B. Nitric oxide synthase inhibitor L-NAME affects *Arabidopsis* root growth, morphology, and microtubule organization. *Cell Biol. Int.* 2019. **43**(9): 1049—1055. <https://doi.org/10.1002/cbin.10880>
12. Olenieva V., Lytvyn D., Yemets A., Bergounioux C., Blume Y. Tubulin acetylation accompanies autophagy development induced by different abiotic stimuli in *Arabidopsis thaliana*. *Cell Biol. Int.* 2017. **43**(9): 1056—1064. <https://doi.org/10.1002/cbin.10843>
13. Yemets A., Shadrina R., Blume R., Plokhovska S., Blume Ya. Autophagy formation, microtubule disorientation, and alteration of ATG8 and tubulin gene expression under simulated microgravity in *Arabidopsis thaliana*. *npj Microgravity.* 2024. **10**(1): 31. <https://doi.org/10.1038/s41526-024-00381-9>
14. Blume Ya.B., Yemets A.I., Nyporko A.Yu., Baird W.V. Structural modeling of plant α -tubulin interaction with dinitroanilines and phosphoramidates. *Cell Biol. Int.* 2003. **27**(3): 171—174. [https://doi.org/10.1016/S1065-6995\(02\)00298-6](https://doi.org/10.1016/S1065-6995(02)00298-6)
15. Ozheredov S.P., Yemets A.I., Brytsun V.M., Ozheredova I.P., Lozynsky M.O., Blume Ya.B. Screening of new 2,4- and 2,6-dinitroaniline derivatives for phytotoxicity and antimutagenic activity. *Cytol. Genet.* 2009. **43**(10): 297—304. <https://doi.org/10.3103/S0095452709050016>
16. Yemets A., Radchuk V., Bayer O., Pakhomov A., Baird V.W., Blume Ya.B. Development of transformation vectors based upon a modified plant α -tubulin gene as the selectable marker. *Cell Biol. Int.* 2008. **32**(5): 566—570. <https://doi.org/10.1016/j.cellbi.2007.11.012>
17. Yemets A.I., Blume Ya.B., Kundelchuk O.P., Smertenko A.P., Solodushko V.A., Rudas V.A., Gleba Yu.Yu. Transfer of amiprofosmethyl resistance from *Nicotiana plumbaginifolia* mutant by somatic hybridisation. *Theor. Appl. Genet.* 2000. **100**(6): 847—857. <https://doi.org/10.1007/s001220051361>
18. Yemets A.I., Baird W.V., Blume Ya.B. Modified tubulin genes as selectable markers for plant transformation. In: *The Plant Cytoskeleton: Key Tool for Agro-Biotechnology*. Springer, 2008. P. 435—454. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8843-8_21
19. Yemets A.I., Blume Ya.B. Antimitotic drugs for microprotoplast-mediated chromosome transfer in plant genomics, cell engineering and breeding. In: Blume Ya.B., Baird W.V., Yemets A.I., Breviario D. (eds) *The Plant Cytoskeleton: Key Tool for Agro-Biotechnology*. Springer, 2008. P. 419—434. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8843-8_20
20. Yemets A.I., Fedorchuk V.V., Blume Y.B. Enhancement of *Agrobacterium*-mediated transformation of plants using trifluoperazine and genistein—protein kinase inhibitors. *Cytol. Genet.* 2016. **50**(2): 1—7. <https://doi.org/10.3103/S0095452716010047>

21. Mitrofanova I.V., Zilbervarg I.R., Yemets A.I., Mitrofanova O.V., Blume Ya.B. The effects of dinitroaniline and phosphoramidate herbicides on polyploidization in vitro of *Nepeta* plants. *Cell Biol. Int.* 2003. **27**(3): 229—231. [https://doi.org/10.1016/s1065-6995\(02\)00317-7](https://doi.org/10.1016/s1065-6995(02)00317-7)
22. Melnychuk O.V., Ozheredov S.P., Rakhmetov D.B., Yemets A.I., Blume Ya.B. Induction of polyploidy in giant *Miscanthus* (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.). *Proc. Latv. Acad. Sci. Sect. B: Nat. Exact. Appl. Sci.* 2020. **74**(3): 206—214. <https://doi.org/10.2478/prolas-2020-0032>
23. Melnychuk O.V., Ozheredov S.P., Rakhmetov D.B., Rakhmetova S.O., Yemets A.I., Blume Ya.B. The technology used for synthetic polyploid production of miscanthus as cellulosic biofuel feedstock. *Open Agriculture Journal.* 2020. **14**: 164—173. <https://doi.org/10.2174/1874331502014010164>
24. Kustovskiy Ye., Karpov P., Blume Ya., Yemets A. Ivermectin affects *Arabidopsis thaliana* microtubules through predicted binding site of β -tubulin. *Plant Physiol. Biochem.* 2024. **206**(1): 108296. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108296>
25. Kustovskiy Ye.O., Buziashvili A.Y., Ozheredov S.P., Blume Ya.B., Yemets A.I. β -Tubulin of *Fusarium* as a potential target for realization of antifungal activity of ivermectin. *Cytol. Genet.* 2024. **58**: 1—10. <https://doi.org/10.3103/S009545272401002X>
26. Vus K., Tarabara U., Danylenko I., Pirko Ya., Krupodorova T., Yemets A., Blume Ya., Turchenko V., Klymchuk D., Smertenko P., Zhytniakivska O., Trusova V., Petrushenko S., Bogatyrenko S., Gorbenko G. Silver nanoparticles as inhibitors of insulin amyloid formation: A fluorescence study. *J. Mol. Liq.* 2021. **342**: 117508. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117508>
27. Garmanchuk L.V., Borovaya M.N., Nehelia A.O., Inomistova M., Khranovska N.M., Tolstanova G.M., Blume Ya.B., Yemets A.I. CdS quantum dots obtained by “green” synthesis: comparative analysis of toxicity and effects on the proliferative and adhesive activity of human cells. *Cytol. Genet.* 2019. **53**(2): 132—142. <https://doi.org/10.3103/S0095452719020026>
28. Garmanchuk L., Borova M., Kapush O., Dzhagan V., Valakh M., Blume Ya., Yemets A. “Green” synthesis of CdTe quantum dots and their effect on human and animal cells. *Cytol. Genet.* 2023. **57**(3): 229—238. <https://doi.org/10.3103/S0095452723030040>
29. Borovaya M., Naumenko A., Horiunova I., Plokhovska S., Blume Y., Yemets A. “Green” synthesis of Ag₂S nanoparticles, study of their properties and bioimaging applications. *Appl. Nanosci.* 2020. **10**(12): 4931—4940. <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01365-3>
30. Borova M., Kapush O., Dzhagan V., Naumenko A., Blume Ya., Yemets A. Conjugates of biofabricated Ag₂S quantum dots with monoclonal antibodies for microtubule visualization. *Cytol. Genet.* 2025. **59**(4): 359—368. <https://doi.org/10.3103/S0095452725040036>
31. Yemets A., Plokhovska S., Pushkarova N., Blume Ya. Quantum dot-antibody conjugates for immunofluorescence studies of biomolecules and subcellular structures. *J. Fluoresc.* 2022. **32**(5): 1713—1723. <https://doi.org/10.1007/s10895-022-02968-5>

Alla I. Yemets

Institute of Food Biotechnology and Genomics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6887-0705>

THE CYTOSKELETON AS AN INTRACELLULAR REGULATOR AND TARGET FOR BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, July 2, 2025

The report presents the current results of fundamental research conducted at the Institute of Food Biotechnology and Genomics of the National Academy of Sciences of Ukraine and aimed at revealing the role of the cytoskeleton in ensuring the structural and signaling organization of eukaryotic cells. The possibilities of using the cytoskeleton as a target for natural and synthetic biologically active substances are considered.

Cite this article: Yemets A.I. The cytoskeleton as an intracellular regulator and target for biologically active compounds (transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, July 2, 2025). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2025. (9): 43—49. <https://doi.org/10.15407/vsn2025.09.043>