



НАУКОВІ ПРОРИВИ 2014 року ЗА ВЕРСІЄЮ ЖУРНАЛУ SCIENCE

19 грудня 2014 р. у спеціальному випуску журналу *Science* за традицією було опубліковано рейтинг найважливіших, на думку експертів, наукових досягнень минулого року.

Уже 18 років поспіль наприкінці року редакція одного з найавторитетніших наукових видань світу — журналу *Science* підбиває підсумки року, що минає, і пропонує своїм читачам десятку найвидатніших наукових досягнень. У вступній статті шеф-редактор видання Марсія МакНатт (Marcia McNutt) наголошує, що думка редакторів *Science* є суб'єктивною, і, можливо, через деякий час головним науковим досягненням 2014 р. назвуть відкриття, яке взагалі не привернуло увагу редакції. Позначився 2014 рік і кількома прикрими розчаруваннями — іноді відкриття зникають у момент народження. Так сталося з очікуваним методом отримання плюрипотентних стовбурових клітин зі звичайних та з передчасними заявами щодо виявлення на телескопі VISER2 сигналів, які надають докази на користь інфляційної моделі Всесвіту (див. «Вісник НАН України» 2014, № 7, с. 87–91). Проте вибір найголовнішого наукового прориву минулого року особливих суперечок не викликав — ним було визнано висадку спускного апарата Philae на поверхню комети Чурюмова–Герасименко.

Рандеву з кометою

Навіть попри прикри неполадки з деякими системами, місія Rosetta Європейського космічного агентства, без жодного сумніву, заслуговує на звання найважливішого наукового прориву року.

Після багатьох років планування і десятирічної подорожі, подолавши 6,5 млрд км, виконавши 4 гравітаційні маневри навколо Землі та Марса, зібравши безліч цінної наукової інформації, космічний апарат досяг комети 67P/Чурюмова–Герасименко і здійснив першу в історії м'яку посадку зонда Philae на поверхню комети. Людство неодноразово вже відправляло свої місії

до комет (докладніше див. «Вісник НАН України» 2014, № 8, с. 40–56), однак Rosetta, рухаючись по орбіті комети на висоті всього 10 км, дає змогу місяцями спостерігати всі метаморфози, що відбуваються з цим космічним тілом з наближенням до Сонця й віддаленням від нього. За влучним висловом журналу Science, це «ріг достатку» наукової інформації.

Крім того, комета 67P — це лише сьомий об'єкт за межами Землі, досліджений за допомогою спускних апаратів. До того були Венера, Марс, Місяць, Титан і два астероїди. Здійснити м'яку посадку на поверхню комічного тіла з мікрогравітацією (приблизно у 8 тис. разів слабшою за земну), яке рухається зі швидкістю понад 10 км/с, прикріпитися і зібрати необхідні дані — надскладне технічне завдання. Починаючи з 12 листопада впродовж трьох діб більша частина прогресивного людства, затамувавши подих, спостерігала за зондом Philae. Через відмову двигуна малої тяги апарат лише з третьої спроби вдалося зафіксувати на поверхні, причому в не надто вдалому місці — у затінку між двома пагорбками, де світла недостатньо для живлення батареї, на твердій скельній породі. Заряду акумулятора вистачило лише на 57 годин, але й за цей короткий час гарячкової роботи все ж таки вдалося виконати програму-мінімум.

Наукове значення цієї місії важко переоцінити. Вже отримано багато інформації про структуру комети, склад газів у її комі. Тепер ми знаємо, якщо комети й принесли воду на Землю, то це точно були не комети типу 67P з поясу Койпера, оскільки співвідношення водню і дейтерію в ній зовсім інше, ніж на Землі.

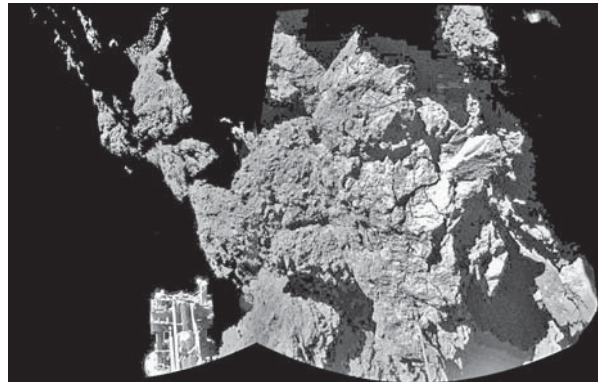
Це спростовує цілу низку гіпотез про виникнення життя на нашій планеті. У результаті буріння ядра комети, хоча й нештатного, отримано й проаналізовано зразок ґрунту. Крім того, вчені вже мають безліч знімків поверхні з високою роздільною здатністю.

Зараз Philae переведено в режим сну, проте інженери не втрачають надії на те, що його вдасться оживити з наближенням комети до Сонця. Засинаючи, зонд написав у своєму Twitter: «Мое життя на кометі не закінчено. Я ще розповім вам про мій новий дім...».

Колектив без боса

З кожним роком поліщується взаємодія роботів з людиною, але тоді як робототехніки в усьому світі все ще намагаються навчити роботів правильно реагувати на зміни в оточенні чи виникнення нових ситуацій, може здатися передчасним бажання дозволити команді роботів самостійно виконувати свої завдання. Однак цього року кілька дослідницьких груп показали, що ці машини можуть працювати разом, без участі людини [1].

Після кількох років роботи дослідники створили програмне забезпечення, що дає змогу роботам взаємодіяти один з одним без будь-якого контролю з боку людини. В одному



Перший знімок Philae після посадки на поверхню комети Чурюмова–Герасименко. Фото: ESA



Група мініроботів — лише один із прикладів роботосистем, що самоорганізуються. Фото: Harvard University

дослідженні тисячі роботів розміром з монету змогли самостійно організовуватися в прості фігури, букви та інші 2D-утворення. У рамках іншого проекту 10 квадрокоптерів, коригуючи дії по рації, організовували свій рух так, щоб уникати зіткнень, і в польоті утворювали різні фігури. Третя група дослідників створила флот роботів-човнів, який може здійснювати відносно складні маневри, хоча й під командуванням центрального комп'ютера, який відстежує дії роботів за допомогою системи камер. В іншому експерименті вчених з Гарвардського університету надихнули суспільні комахи, такі як мурахи, терміти, бджоли. Ці істоти можуть взаємодіяти один з одним для виконання складних завдань, хоча жоден індивідуум ними фактично не керує. Дослідники розробили програму, яка дозволяє 1024 мініроботам самостійно об'єднуватися в групи для виконання певного завдання, працювати, зважаючи на дії «сусіда», а не спираючись на команди з центру. Роботи живляться від літєвих акумуляторів, за потреби самостійно заряджаючи їх на базовій станції. Вони пересуваються на трьох жорстких ніжках, а за комунікацію відповідає інфрачервоний приймач: сигнал посиляється на підлогу і відклик розпізнається кількома найближчими «сусідами».

Поки що колективи роботів покладаються на первинну локальну інформацію про навколишнє середовище і своїх «сусідів», але їх



Предки птахів — динозаври *Kulindadromeus* мали пір'я. Зображення: Andrey Atuchin

датчики швидко вдосконалюються. Можна сподіватися, що найбільш вражаючі подвиги кооперативних роботів ще попереду.

Птахи і динозаври

Ученим знадобилося 20 років, щоб проаналізувати появу птахів після ери динозаврів і науково обґрунтувати, як тиранозаври перетворювалися на крихтінних колібри чи вишуканих лебедів. Цього року відразу кілька дослідницьких груп еволюційних біологів завершили докладне вивчення цього етапу еволюції [2].

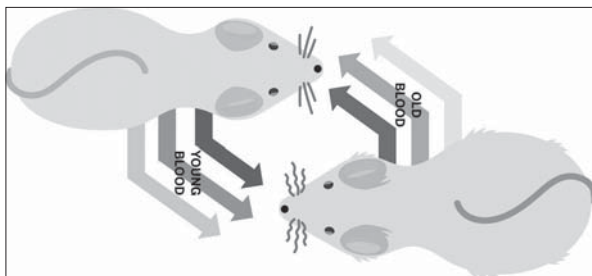
Команда дослідників на чолі з палеонтологами з Единбурзького університету збрала найбільшу базу даних про еволюційну трансформацію динозаврів у птахів. Проаналізувавши анатомічні конфігурації понад 850 частин тіла 150 вимерлих видів і використавши статистичні методи аналізу, вони побудували генеалогічне дерево. Масштабне дослідження іншої групи на 426 видах виявило поступове, впродовж тривалого часу стоншення кісток ніг і загальне зменшення розмірів цих тварин.

Інші дослідження показали, що деякі анатомічні особливості птахів, такі як пір'я, крила, вилочка, вперше з'явилися ще у динозаврів. Причому пір'я спочатку було потрібне не для польотів, а, скоріше, для теплоізоляції.

Отримані результати вказують на те, що поява птахів близько 150 млн років тому відбувалася дуже повільно, динозаври набували пташиних анатомічних особливостей поступово, і провести чітку межу між зникненням динозаврів і появою птахів неможливо. Однак щойно з'явилися перші повноцінні птахи, почався еволюційний вибух. Цей процес прискорив розвиток пернатих так, що сьогодні ми спостерігаємо понад 10 тис. їх видів. Птахи злетіли, але їх розбіг забезпечили предки-динозаври.

Молода кров

Молода кров може зупинити процес старіння. Дослідження довели, що кров піддослідних молодих мишей омолоджує м'язи і мозок старих гризунів. Якщо результати експериментів під-



Старі миші почуваються краще, якщо їм вливають кров молодшої тварини. Зображення: G. Grullón/Science

твердяться й на людях, ці ідеї допоможуть у боротьбі з руйнівним процесом старіння і на крок наблизять людство до мрії про джерело вічної молодості [3].

Цікаво, що новини про омолоджувальні властивості молодого крові насправді вже близько 150 років. Саме тоді в експерименті вчені зшили шкіру старої і молоді мишей, щоб поєднати їх кровообіг. На початку 2000-х років цей підхід відродився з метою вивчення стовбурових клітин. У кров старих гризунів вводили стовбурові клітини молодих тварин, що поліпшувало регенерацію м'язів старих особин.

У дослідженні, опублікованому в 2014 р., учені Гарвардського інституту стовбурових клітин в експериментах на мишах показали, що протеїн GDF11, який є також і в організмі людини, може значно поліпшити стан серця, позитивно вплинути на функції скелетних м'язів, а також стимулювати ріст нейронів головного мозку. Виявилось, що в молодості рівень GDF11 є вищим, і втрата цього протеїну з віком призводить до загального старіння організму. В іншій роботі було доведено, що молода кров здатна поліпшити просторову пам'ять у літніх тварин.

Усі випробування проводили на мишах, але вже зараз тривають клінічні дослідження й на людях. 18 добровольців середнього і похилого віку, що страждають на хворобу Альцгеймера, отримують ін'єкції плазми крові від молодих донорів. Результати очікуються через рік, і тоді ми з'ясуємо, чи спроможна молода кров боротися проти однієї з найтяжчих хвороб людства.

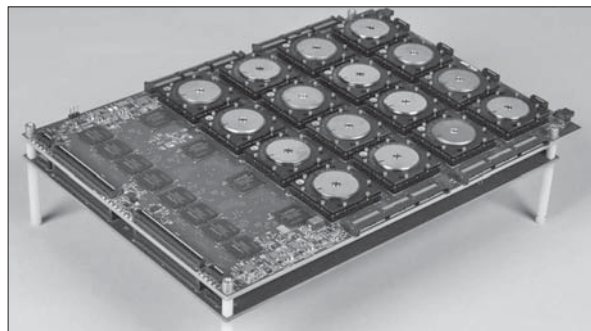
Нейроморфні чипи

Фахівці IBM створили чип з новою архітектурою, що копіює архітектуру людського мозку [4].

Можливо, Джон фон Нейман нарешті зустрів гідного суперника. Майже 70 років тому математик угорського походження заклав основні принципи архітектури сучасних комп'ютерів. Однак цього року комп'ютерні інженери запропонували перші масштабні нейроморфні чипи, призначені для оброблення інформації подібно до найскладніших процесів у головному мозку.

Процесори на основі архітектури фон Неймана довели свою ефективність у здійсненні послідовних логічних операцій, але їм важко впоратися із завданнями, які мають величезні масиви даних, наприклад оброблення візуальної інформації. Людський мозок використовує зовсім інший підхід. Окремі нейрони взаємодіють з тисячами сусідніх за допомогою хімічних сигналів, що дозволяє обробляти велику кількість інформації в паралельному режимі. Причому різні ділянки мозку мають різну спеціалізацію.

Звісно, людський мозок — мережу зі 100 млрд клітин, сполучених за допомогою 100 трлн синапсів, поки що не можна порівнювати з новим чипом TrueNorth від IBM. Однак цей нейроморфний чип на сьогодні не має аналогів — він містить 5,4 млрд транзисторів, 1 млн модельних «нейронів» і 256 млн емулятованих «синапсів». До того ж новостворений процесор має рекордно низькі показники



Плата з 16 нейроморфними чипами TrueNorth від компанії IBM

енергоспоживання — енергії йому потрібно не більше, ніж слуховому апарату. Компанія ІВМ працює тепер над побудовою складних мереж із таких чипів.

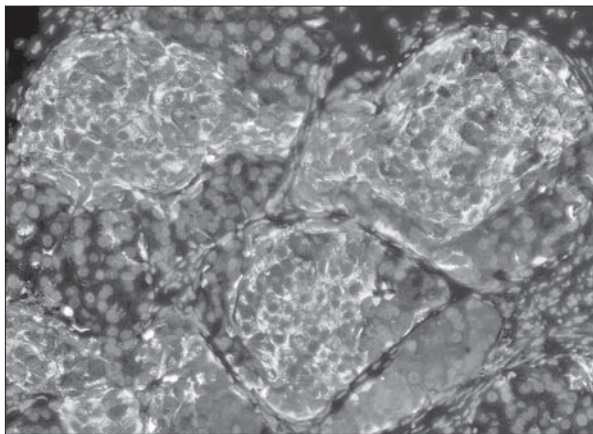
З цією розробкою людство ще на крок наблизилося до створення комп'ютера, який функціонує як людський мозок.

Стовбурові клітини для лікування діабету

Ученим вдалося перетворити ембріональні стовбурові клітини на клітини, подібні до β -клітин підшлункової залози. Очікують, що це відкриття започаткує нову еру в боротьбі з цукровим діабетом I типу [5].

З часу відкриття людських ембріональних стовбурових клітин світ сподівався, що вони стануть панацеєю від багатьох хвороб. Однак розвиток цього напрямку відбувався надто повільно і невпевнено. Понад 10 років лабораторії по всьому світу намагалися перетворити ембріональні стовбурові клітини на β -клітини підшлункової залози, які продукують інсулін, реагуючи на зростання рівня цукру в крові. Ушкодження або порушення функції β -клітин призводить до цукрового діабету I типу.

Цього року дві групи дослідників опублікували методи для вирощування клітин, які



Бета-клітини, отримані в лабораторії, виробляють достатньо інсуліну, щоб вилікувати діабет у миші за 2 тижні після пересадки. Фото: Douglas Melton

нагадують β -клітини людини, наблизившись як ніколи до можливості лікування цієї страшної хвороби. Співробітники Фонду вивчення стовбурових клітин у Нью-Йорку взяли генетичний матеріал клітини шкіри пацієнтки з цукровим діабетом і перенесли його в без'ядерну яйцеклітину. Дослідникам вдалося отримати клітини, які в подальшому зберегли можливість розвиватися в клітини різних тканин, насамперед у β -клітини підшлункової залози. За цією методикою в теорії за 7 тижнів можна виростити 200 млн β -подібних клітин. За іншою методикою процес триває 6 тижнів і дає змогу з кожних двох стовбурових клітин отримати одну β -подібну.

Щоб використовувати ці методи для лікування цукрового діабету, дослідники мають ще розробити способи захисту отриманих клітин від аутоімунної реакції організму, яка вбиває їх. Учені вже почали порівнювати β -клітини, вирощені з клітин шкіри здорових людей, з тими, що одержані з клітин пацієнтів з цукровим діабетом, сподіваючись виявити основні відмінності.

Переворот у наскельному живописі

Дивовижні наскельні графіті в печерах острова Сулавесі виявилися на 30 тис. років старшими, ніж вважали досі. Тепер вони конкурують з європейськими зразками печерного мистецтва за звання найстаріших у світі. Це відкриття може переписати історію розвитку людства [6].

Десятиліттями відвідувачі дивувалися до історичним графіті, що заповнює печери індонезійського острова: трафарети рук, зроблені за допомогою видудання ротом червоної фарби, зображення різних тварин. Раніше вважали, що цим зразкам живопису 10 тис. років, але цього року вчені довели, що вони в 4 рази старші, принаймні такі ж давні, як знамениті витвори печерного мистецтва в Європі. Це відкриття значною мірою може вплинути на історію ключового етапу розвитку людства. В Африці люди гравірували геометричні візерунки на шматках гематиту і шкаралупі страусових



Наскельний живопис у печерах індонезійського острова Сулавесі. Фото: nationalgeographic.com

яець уже 78 тис. років тому. Однак вважалося, що символічне мистецтво з'явилося між 35 тис. і 39 тис. років тому в Європі, де стародавні художники малювали яскраві картини з носорогами, конями, левами і жінками, зокрема в печері Шові у Франції. Деякі археологи стверджують, що європейський творчий вибух відображує новий стрибок людських здібностей, водночас інші наполягають, що здатність до символічного вираження була притаманна вже давнім жителям Африки, ще до того, як сучасні люди покинули цей континент, щоб розселитися по світу.

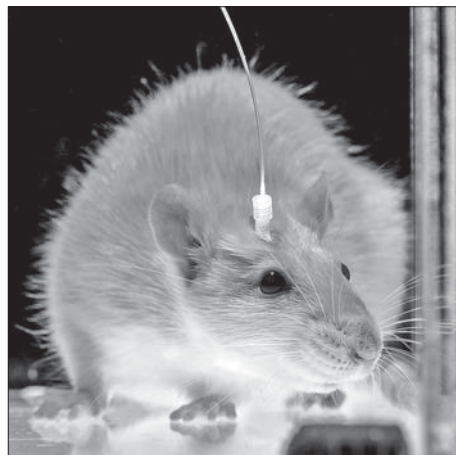
Нове датування в індонезійській печері кладе край монополії Європи на появу символічного мистецтва. Група австралійських та індонезійських учених вирішила замість використання традиційного методу радіовуглецевого аналізу кісткових решток оцінити, вимірюючи радіоактивний розпад урану, вік кальцитових бляшок — утворень, які з часом наростають поверх малюнків на стінах печер. Виявилося, що найстаріший трафарет руки було зроблено не пізніше як 39,9 тис. років тому, а зображенню тварин — принаймні 35,4 тис. років. Якщо це так, то підтверджується теорія, що предки сучасних людей, які залишили Африку приблизно 60 тис. років тому або навіть раніше, одночасно з Європою та Близьким Сходом колонізували також Австралію і Південно-Східну Азію.

Маніпуляції зі спогадами

Якщо ви вважаєте, що можете розраховувати на свої спогади, це не так. У досліджах з гризунами вчені навчилися керувати певними фрагментами пам'яті, перемикаючи мозкову діяльність мишей за допомогою світлових лазерних променів. Їм вдалося змінити фактичний емоційний зміст спогадів, перетворюючи погані моменти життя на хороші і навпаки [7].

Як відомо, на пам'ять покладатися не можна. Наші спогади іноді зникають, а іноді ми пам'ятаємо те, чого навіть ніколи не було. Однак як це відбувається в нашому мозку, залишається загадкою. Останнім часом учені приділяли значну увагу фізичним основам роботи пам'яті. Торік японські й американські нейрофізіологи знайшли спосіб маніпулювання конкретними спогадами у мишей за допомогою оптогенетики — потужної техніки, яка заснована на збудженні певних нейронів мозку світлом через імплантований оптоволоконний кабель. У серії експериментів вони показали, що можуть видалити вже наявні спогади.

Цього року дослідники пішли ще далі. Вони навчилися перемикати емоційний зміст пам'яті у мишей з поганого на хороший і навпаки. Одну групу мишей у тренувальній камері били електричним струмом, тому миші починали її уникати. Іншій групі мишей-самців у цій каме-



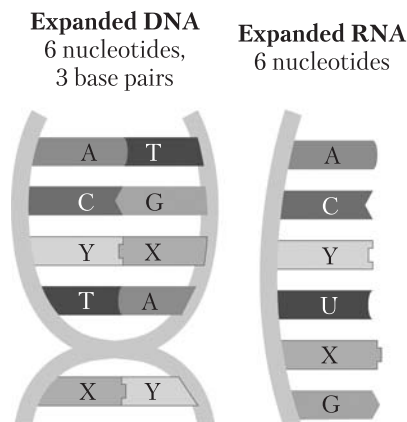
Учені навчилися перетворювати погані спогади мишей на хороші і навпаки. Фото: Karl Deisseroth

рі влаштовували побачення із самками, тому вони до неї прагнули. На другому етапі експерименту мишей не саджали в тренувальну камеру, але першу групу допустили до самок і в цей момент збуджували світлом їхні нейрони, а друга група, навпаки, зазнала удару струмом разом із активацією нейронів. На третьому етапі мишей знову помістили в камеру. Тепер перша група, яка сприймала її як небезпечну, прагнула до неї, а друга група, для якої камера була кімнатою побачень, почала її уникати.

Чи відчували миші яскраві, але помилкові спогади, чи це були просто розпливчасті почуття задоволення або страху, залишається неясним. Також невідомо, чи можна в такий спосіб маніпулювати з пам'яттю людини і отримати довгоочікувані терапевтичні методи лікування посттравматичного стресового розладу. Одне можна сказати напевно: пам'ять, нарешті, починає відкривати свої секрети.

Розширення генетичного алфавіту

Життя на Землі, як відомо, кодує генетичну інформацію, використовуючи чотири літери ДНК. Дослідники додали ще дві літери, створивши в лабораторії нові бази ДНК. За допомогою такої штучної ДНК вони сподіваються кодувати білки, яких немає в природі, але які можуть знадобитися для боротьби з невиліковними хворобами [8].



До чотирьох літер генетичного алфавіту вчені додали ще дві. Зображення: Synthorx

Всюди на Землі генетичний код живих істот складається з чотирьох генетичних букв: А, Т, G і С. Всюди, за винятком колби з кишковою паличкою *Escherichia coli* на лабораторному столі дослідного інституту Скріппса в Південній Каліфорнії. У цій колбі бактерії мають у геномі додаткову пару нуклеотидів — X і Y. До цього часу вчені по всьому світу вже розробляли пари неприродних нуклеотидних основ, які можна помістити у подвійну спіраль ДНК. Вони також отримали «копіювальну машину» для ДНК — фермент ДНК-полімерази. Однак лише цього року все це вдалося поєднати в живому організмі.

Зараз нові літери в ДНК кишкової палички нічого не кодують, але в принципі дослідники можуть використати їх для створення дизайнерських протеїнів, які містять у собі неприродні будівельні блоки, оскільки генетичні прийоми, щоб зробити це з природної ДНК, сьогодні вже відомі. Додавання нової ХУ-комбінації має навіть полегшити цей процес. Це може стати знахідкою для виробників лікарських засобів, а також для академічних досліджень, щоб з'ясувати, чи можуть бактерії, оснащені надлишковими літерами, розвивати нові навички, яких немає в їхніх родичів.

Загалом усе це нагадує сценарій моторошного технотрилеру, але вчені запевняють, що хвилюватися немає причин. Неприродні ДНК не можуть існувати поза лабораторією, бактеріальні «втікачі» не змогли б самі повторити їхні штучно розширені генетичні інструкції і передати їх своїм нащадкам.

Цікаво, що цього року редакція журналу Science уперше провела онлайн-опитування серед читачів свого видання щодо визначення найголовніших наукових проривів року. Результат, як визнає редакція, виявився несподіваним. Як не дивно, саме неприродні ДНК стали переможцем читачького рейтингу, потіснивши навіть висадку на комету.

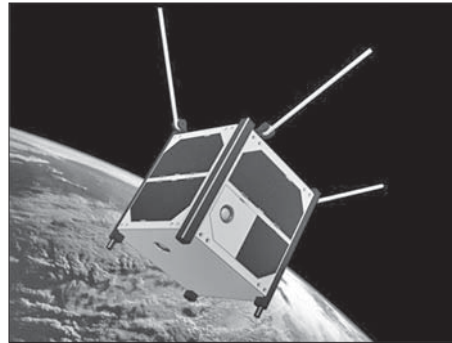
Поступ CubeSat

Ще 10 років тому мініатюрні супутники серії CubeSat були просто навчальними посібниками

для студентів. Тепер почався справжній cubesat-бум. У цьому році було запущено рекордну їх кількість. Більше того, маленькі коробочки починають робити справжню науку [6].

Цього року значних успіхів вдалося досягти в розвитку технології CubeSat — супутників, маса яких не перевищує 10 кг. Уже розроблено супутники з масою кілька десятків грамів. Їх вартість набагато нижча, ніж традиційних супутників — сотні тисяч доларів замість сотень мільйонів. Зазвичай такі апарати використовують для навчання або відпрацювання нових технологій, однак сфера їх застосування постійно розширюється. Можливості одного такого кубика не надто вражають, однак разом, зібрані в комплекс, вони здатні проводити спостереження за земною поверхнею, недоступні іноді традиційним супутникам. Крім того, їх можна масово запускати з великих супутників чи, скажімо, з борту МКС. Найчастіше CubeSat оснащено кількома науковими приладами, деякі мають невеликі висувні антени і сонячні батареї.

Проте малі розміри CubeSat мають також і недоліки: недостатня площа сонячних батарей, невелика швидкість передачі даних, низька



Мікросупутник серії CubeSat

потужність мініатюрного передавача і антени, якої вистачає лише для роботи поблизу Землі. Однак ці проблеми можна вирішити, і останнім часом великі компанії дедалі більше фінансують розвиток технологій CubeSat. Наприклад, нещодавно фахівці МІТ запропонували нові антени у вигляді «повітряних кульок», для наддування яких використано хімічні речовини, здатні до сублімації в умовах космосу, зокрема бензойну кислоту. Експериментальні випробування довели, що така надувна антена може в 7 разів збільшити граничну відстань, на якій сигнал від супутника прийматиметься на Землі.

1. Pennisi E. *News from Science* (13 February 2014) free access; Augugliaro F. et al. *IEEE Control Systems Magazine* **34**, 4; Werfel J. et al. *Science* **343**, 6172; Rubenstein M. et al. *Science* **345**, 6198.
2. Foth C. et al. *Nature* **511**, 7507; Godefroit P. et al. *Science* **345**, 6195; Lee M.S.Y. et al. *Science* **345**, 6196; Benson R.B.J. et al. *PLOS Biology* (6 May 2014); Wogan T. *Science* (2 July 2014); Balter M. *News from Science* (24 July 2014) free access; Brusatte S.L. et al. *Current Biology* **24**, 20; Xu X. et al. *Science* **346**, 6215.
3. Kaiser J. *Science* **344**, 6184; Katsimpardi L. et al. *Science* **344**, 6184; Sinha M. et al. *Science* **344**, 6184; Hall S.S. *Science* **345**, 6202.
4. Merolla P.A. et al. *Science* **345**, 6197; Service R.F. *Science* **345**, 6197; Service R.F. *Science* **346**, 6206.
5. Rezaia A. et al. *Nature Biotechnology* **32**, 11; Pagliuca F.W. et al. *Cell* **159**, 2; Vogel G. *News from Science* (9 October 2014) free access; Vogel G. *Science* **346**, 6206.
6. Balter M. *News from Science* (14 May 2012) free access; Gibbons A. *News from Science* (8 October 2014) free access; Pons-Branchu E. et al. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* **111**, 2 (2015); Aubert M. et al. *Nature* **514**, 7521; Balter M. *Science* **323**, 5915; Roebroeks W. *Nature* **514**, 7521.
7. Underwood E. *News from Science* (28 August 2014) free access; Redondo R.L. et al. *Nature* **513**, 7518; Ramirez S. *Science* **341**, 6144.
8. Malyshev D.A. et al. *Nature* **509**, 7500; Service R.F. *Science* **344**, 6184.

Джерело:

<http://www.sciencemag.org/content/346/6216.toc>

Заступник головного редактора
журналу О.О. МЕЛЕЖИК