

- Отримано нове підтвердження, що природні квазікристали мають космічне походження. Результати експедиції на Коряцьке нагір'я Чукотки, де вперше було знайдено мінерал хатиркіт із вмістом квазікристалів, дають змогу впевнено стверджувати, що виникли вони не на Землі.

- Виявлено, що тварини здатні до самостійного засвоєння енергії Сонця. Чи можливо це? Група французьких та ізраїльських учених опублікувала результати дослідження, з яких випливає, що бобова попелиця є фотогетеротрофом.

- За допомогою методу, який зазвичай використовують для вивчення шляхів еволюції та поширення хвороб, показано, що індоєвропейські мови виникли понад 8 тис. років тому в Анатолії, на території сучасної Туреччини. Такий результат дав аналіз 103 стародавніх і сучасних мов.

### КВАЗІКРИСТАЛИ ПРИБУЛИ НА ЗЕМЛЮ З КОСМОСУ

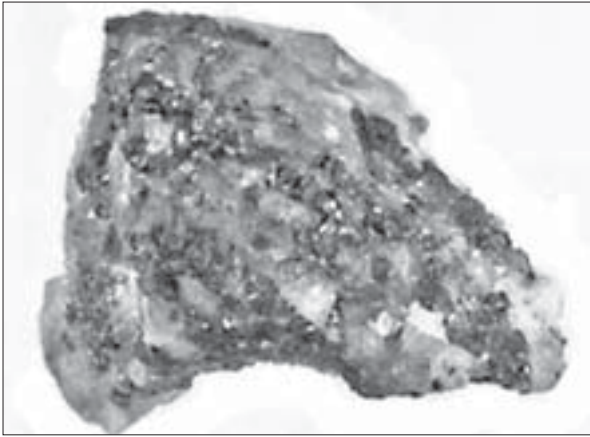
Квазікристали — унікальна форма організації матерії, структура якої впорядкована, однак, на відміну від звичайних кристалів, не періодична. Їхня кристалічна ґратка має осі симетрії різних порядків, що раніше суперечило уявленням кристалографів.

Спочатку квазікристали було отримано штучно в 1982 р. у лабораторії ізраїльського вченого Данієля Шехтмана (Dan Shechtman), якому в 2011 р. за це досягнення було присуджено Нобелівську премію з хімії.

Коли Д. Шехтман уперше повідомив про атомну структуру квазікристалів, це буквально шокувало наукову спільноту. Замість регулярно повторюваних елементів ґратки, як у будь-якому звичайному кристалі, атоми в квазікристалі були розташовані за шаблоном, що був упорядкований, але ніколи не повторювався, утворюючи складну тривимірну аперіодичну мозаїку. Наукове співтовариство спочатку просто висміяло результати Шехтмана. Впродовж двох років він не мав змоги опублікувати свої дослідження в жодному з провідних рецензованих журналів. Нарешті, його стаття з'явилася у «Physical Review Letters», спричинивши революцію в кристалографії, і досі входить до десятки найбільш цитованих публікацій цього журналу. (Докладніше див. «Вісник НАН України», 2012, № 1.)

Приблизно в той самий час фізик Пол Штейнхардт (Paul Steinhardt), який тоді працював в Університеті Пенсильванії у Філадельфії, разом із математиком Довою Левіном (Dov Levine) розробляли теорію таких неповторюваних візерунків. Раніше вважали, що всі тверді тіла, синтетичні й природні, здатні формувати упорядковані періодичні структури — кристали з безліччю однакових елементів, з'єднаних спільними гранями так, що вони заповнюють собою весь простір. З огляду на те, що потрібно замостити саме весь простір, без «щілин» і накладань, побутувало переконання, що кристали можуть мати лише чотири види симетрії: другого, третього, четвертого і шостого порядків. П. Штейнхардт і Д. Левін запропонували теоретичну конструкцію, яка дістала назву «квазікристали». В них два або більше типів елементів повторюються через різні інтервали з ірраціональним співвідношенням, що уможливорює існування будь-яких елементів симетрії, наприклад, осі п'ятого порядку.

З часу відкриття квазікристалів у лабораторії їх синтезували вже понад сотню видів. Практичні застосування їх різноманітні — від антипригарного покриття до шарикопідшипників і лез для гоління. Однак знайти квазікристали в природі не вдавалося. П. Штейнхардт почав пошук, буквально «прочісуєючи» бази даних рентгенівських знімків дифракційних ґраток відомих міне-



Зразок мінералу хатиркіту з колекції Музею природної історії у Флоренції, в якому вперше було виявлено природні квазікристали (фото зі статті Steinhardt P.J., Bindi L. *Rep. Prog. Phys.*, 2012, 75)

ралів і сплавів, щоб знайти можливих кандидатів. Проте все було безрезультатно до осені 2008 р., коли він познайомився з Лукою Бінді (Luca Bindi), мінералогом із Музею природної історії у Флоренції. Л. Бінді знайшов зерно квазікристала, близько 100 мкм у поперечнику, в невеликому шматку гірської породи з музейної колекції. На ящику з унікальним зразком було зазначено, що це — мінерал хатиркіт (хімічна формула  $Al_{63}Cu_{24}Fe_{13}$ ), знайдений у 1979 р. радянським геологом Валерієм Крячком у районі русла річки Хатирка на Чукотці.

У 2009 р. П. Штейнхардт і Л. Бінді з колегами опублікували статтю в журналі «*Science*» (Bindi L. et al. *Science*, 2009, 324, 1306), повідомивши світові, що знайдено природні квазікристали. Після цього відкриття стало можливим присудження Даніелю Шехтману Нобелівської премії.

Історія походження зразка хатиркіту також виявилася загадковою. Як розповідає П. Штейнхардт, музей Флоренції придбав його в Амстердамі в 1990 р. у приватного, нині покійного, колекціонера як частину колекції, що налічувала понад 10 000 зразків. Л. Бінді знайшов вдову колекціонера, яка дозволила вченим переглянути щоденник чоловіка, де вони натрапили на деталі «об-

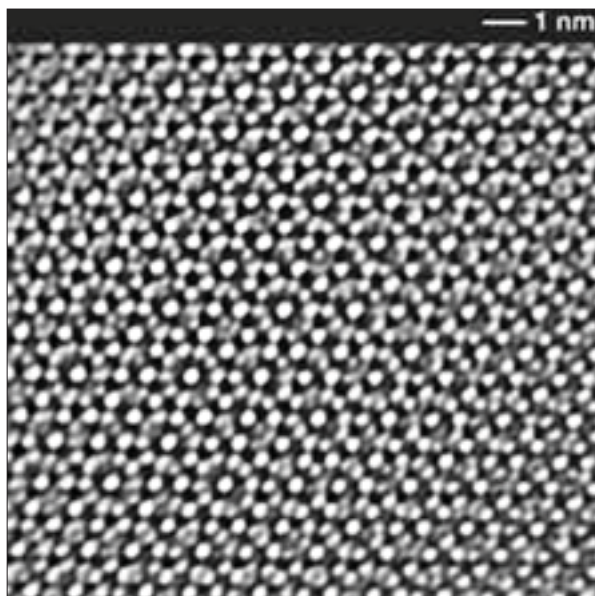
міну», або, простіше кажучи, контрабандної операції, здійсненої в Румунії. Подальше «розслідування» вивело вчених на колишнього секретного агента російських спецслужб, який допоміг вивезти породу з Росії, а через нього — на людину, яка в 1979 р. власноруч видовбала зразок мінералу у віддаленому районі Чукотки і знала, де шукати це місце.

У 2010 р. дослідники висловили припущення, що порода, в якій знайдено квазікристали, була метеоритного походження. У Принстонському університеті, де нині працює П. Штейнхардт, учені проаналізували пропорції ізотопів кисню в крихітному зразку, відколотому від того самого каменя. Результати виявилися ідентичними показникам найдавніших відомих метеоритів. Вдалося навіть визначити, що це вуглисті хондрит CV3, що сформувався близько 4,5 млрд років тому, на початку утворення Сонячної системи.

Влітку минулого року невтомні Штейнхардт і Бінді організували експедицію на Чукотку, де їм для того, щоб виявити нові зразки квазікристалів, довелося вручну промити півтори тонни породи.

Докладний і яскравий звіт про цю експедицію, в ході якої десять учених, два водії та кухар заглибилися на 230 км у Коряцьке нагір'я, а також результати досліджень знайдених нових зразків природних квазікристалів було опубліковано в серпні 2012 р. у журналі «*Reports on Progress in Physics*» (Steinhardt P.J., Bindi L. *Rep. Prog. Phys.*, 2012, 75 (9), doi: 10.1088/0034-4885/75/9/092601). Ці дані дають змогу впевнено стверджувати, що такі природні структури виникли не на нашій планеті, а прибули з космосу. Автори показали, що на Землі просто не існує достатньо екстремальних умов, за яких можливе формування квазікристалів. Більше того, вдалося встановити приблизну дату «прибуття» зразків на Землю — це сталося під час останнього льодовикового періоду, близько 15 тис. років тому.

«Це відкриття є важливим свідченням того, що квазікристали можуть утворюватися в природі в астрофізичних умовах. Ще



Знімок одного з квазікристалічних зерен, отриманий за допомогою трансмісійного електронного мікроскопа високої роздільності (HRTEM) (фото Science/AAAS)

воно надає докази, що така фаза речовини може залишатися стабільною впродовж мільярдів років. Що такого знає природа, чого ще не знаємо ми? Як усередині метеорита формуються настільки досконалі квазікристали, тоді як у лабораторії нам доводиться докладати неймовірних зусиль, щоб хоч наблизитися до такої структури? Які ще нові фази ми можемо знайти в цьому метеориті, і що ще він може розповісти нам про молоду Сонячну систему? Зараз ми лише на вершині айсберга», — підсумував ці дослідження П. Штейнхардт.

Джерела:

<http://www.nature.com>

<http://www.iop.org>

### ЗЕЛЕНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОПЕЛИЦЬ

Взагалі біологія попелиць (тлі) вельми цікава й незвичайна. Їхній життєвий цикл дуже складний, у ньому чергуються покоління, що різняться між собою як за морфологічними ознаками, так і за способом розмноження. Ці комахи можуть народжуватися вже вагітними, деякі самці не мають травного каналу, що призводить до смерті

майже одразу після парування. Добре відомий тісний симбіоз попелиць і мурах. Попелиця живиться соком рослин, висмоктуючи його безпосередньо з судин, що транспортують цукор від листя до кореня. При цьому ці комахи споживають цукру набагато більше, ніж можуть засвоїти, — вони фільтрують із рослинного соку потрібні амінокислоти, жири, вітаміни й мікроелементи. Надлишками цукрового сиропу попелиці діляться з мураками, які за це доглядають за ними, захищають від ворогів, у буквальному сенсі випасаючи і доячи своїх симбіонтів.

Нещодавно опублікована стаття (Valmalle J.C. et al. *Scientific Reports*, 2012, 2, 579, doi: 10.1038/srep00579) групи вчених під керівництвом ентомолога Алена Робішона (Alain Robichon) із Франції (Institut Sophia Agrobiotech) додає до списку особливостей те, що ці комахи можуть уловлювати світло та використовувати його енергію для метаболізму.

Відомо, що в процесі життєдіяльності попелиця активно застосовує каротиноїди — поширені пігменти, які відіграють важливу роль у діяльності імунної системи та виробленні різних вітамінів. Донедавна вважали, що тварини отримують каротиноїди тільки з їжею, а джерелами цих речовин є бактерії, гриби, водорості, вищі рослини та коралові поліпи.

Однак у 2010 р. у журналі «Science» побачила світ стаття (Moran N.A., Jarvik T. *Science*, 2010, 328 (5978), doi: 10.1126/science.1187111) американських біологів, у якій вони показали, що попелиці синтезують каротиноїди самостійно. Хоча це і винятковий випадок серед тварин, в інших царствах така здатність досить поширена. Рослини й водорості, а також деякі гриби та бактерії також можуть синтезувати каротиноїди, і в усіх перелічених організмах ці пігменти беруть участь у фотосинтезі. Виявилося, що попелиці скопіювали у грибів, які, ймовірно, колись були їхніми паразитами, цілу ділянку ДНК, що містить 7 генів і кодує ферменти синтезу каротиноїдів. У роботі було надійно показано вкрай рідкісне горизонтальне перенесення генів у багатоклітинних організ-



Попелиця горохова *Acyrthosiphon pisum*

мах. Все ж таки, залишилося незрозумілим, навіщо попелицям самостійно синтезувати каротиноїди і чому в їхніх тілах міститься так багато цих речовин.

Ален Робішон та його колеги спробували з'ясувати, для чого ці комахи виробляють такі метаболічно дорогі сполуки. Вони припустили, що у попелиць ці пігменти можуть абсорбувати енергію Сонця і перетворювати її на клітинні механізми, задіяні у виробництві енергії.

Об'єктом дослідження стала попелиця горохова *Acyrthosiphon pisum*. Каротиноїди відповідають за пігментацію, а забарвлення піддослідних комах залежало від температури навколишнього середовища. Попелиці, яких вирощували за температури 8°C, ставали зеленими, ті, що виростили в оптимальних умовах, за 22°C — помаранчевими, а комахи, які жили в умовах нестачі поживних речовин, — блідими. Учені вимірювали в комах рівень аденозинтрифосфату (АТФ) — універсального джерела енергії для біохімічних процесів у живих системах. Результат виявився вражаючим. Зелені попелиці, що мали найвищий рівень каротиноїдів, виробляли набагато більше АТФ, ніж білі, що

були практично позбавлені цього пігменту. Більш того, вироблення АТФ зростало, коли помаранчевих комах, що мали середній рівень каротиноїдів, поміщали на світло, і знижувалося, коли їх переміщували в темне середовище.

Виявилося, що рівень каротиноїдів в організмі комахи безпосередньо пов'язаний з «енергетичністю» процесів життєдіяльності попелиці. За словами вчених, це природно, оскільки для виробництва каротиноїдів потрібно досить багато енергії. Причому в зелених попелиць енергетичне підзарядження відбувається значно швидше, ніж у помаранчевих.

Дослідники вирішили також виділити й очистити каротиноїди помаранчевих попелиць, щоб показати, що саме ця витяжка могла абсорбувати світло та передавати енергію. Пігмент виявився розподіленим безпосередньо під поверхнею кутикули (0–40 мкм) комахи, там, де можливе найбільше проникнення сонячних променів. Крім того, аналіз каротиноїдів, отриманих із попелиці, показав, що вони дуже нагадують пігменти, що утворюються під час фотосинтезу в бактеріях, грибах тощо.

Із викладених у статті даних напрашується висновок, що в організмі попелиці відбувається своєрідний процес фотосинтезу: комахи використовують у своїй життєдіяльності енергію Сонця. Результати мають явно сенсаційний характер, і більшість фахівців реагує однозначно — цього не може бути, тому що цього не може бути ніколи. Заради справедливості варто зазначити, що можливість фототрофії у попелиць автори пропонують лише як гіпотезу і зовсім не вважають її доведеною.

Постає безліч запитань, які залишаються поки що без відповіді. Не зрозуміло, як саме передається електронне збудження, що накопичується каротином; які гени беруть участь у процесі; в яких саме клітинах зростає вміст АТФ — у тих, що містять каротиноїди, чи в якихось інших; де відбуваються спостережувані зміни — в клітинах попелиці чи всередині її численних ендосимбіонтів?

Однак головним є питання: а навіщо попелиці взагалі потрібен фотосинтез? Автор згаданої вище статті в журналі «Science», Ненсі Моран (Nancy A. Moran), генетик із Єльського університету, прокоментувала нову роботу так: «Отримання енергії – найменш значна проблема в житті попелиці. Її раціон перевантажений цукром, більшу частину якого вона не здатна використовувати». У відповідь один із авторів статті Марія Каповілла (Maria Capovilla) припускає, що такий, схожий на акумулятор, додаток може допомагати комахам під час екологічного стресу, наприклад, коли вони мігрують до іншої рослини-хазяїна.

Очевидно, що така серйозна заява потребує детальної перевірки. Команда Алена Робісона вважає, що знадобляться додаткові експерименти, щоб підтвердити, що це все ж таки фотосинтез, а одержані дані свідчать про реальну можливість цього.

Джерело:

<http://www.newscientist.com>

#### АНАТОЛІЯ – КОЛИСКА ІНДОЄВРОПЕЙСЬКИХ МОВ?

Індоєвропейська мовна сім'я є найпоширенішою в світі: нині число її носіїв перевищує 2,5 млрд. Однак питання про походження індоєвропейських мов – одне з найскладніших в історичній лінгвістиці. Деякі дослідники вважають, що ці мови поширилися по Європі й Азії разом із сільськогосподарськими технологіями з Малої Азії 8,0–9,5 тис. років тому (анатолійська гіпотеза). Інші наполягають, що витоки слід шукати в мовах носіїв кочової «курганної» культури Центральної Азії та причорноморських степів, що існувала близько 6 тис. років тому (курганна, або каспійська, гіпотеза). Є ще балканська гіпотеза, яка припускає розселення носіїв мови з Балканського півострова.

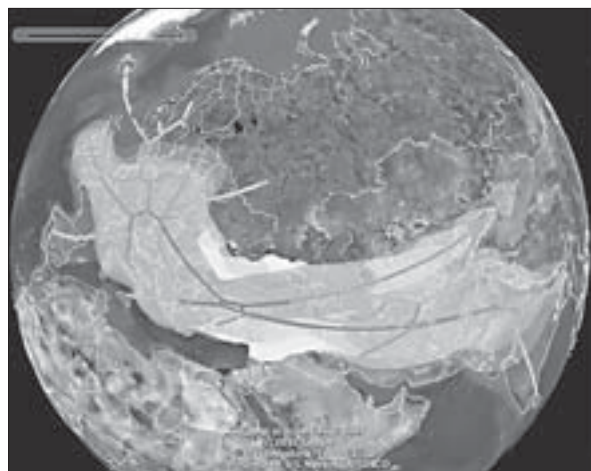
Археологічні докази знайдено на підтримку всіх цих теорій. Проте генетичні дослідження індоєвропейців, на які свого часу покладали великі надії, виявилися безрезультатними, що завело в глухий кут «най-

більш інтенсивно досліджувану, але найнепокірнішу проблему історичного мовознавства».

У 2003 р. Рассел Грей (Russell Gray) і його тодішній аспірант Квентін Аткінсон (Quentin Atkinson) із Оклендського університету (University of Auckland) у Новій Зеландії спровокували нову хвилю суперечок, зробивши заяву про те, що комп'ютерне моделювання вказує на Малу Азію як прабатьківщину індоєвропейських мов (Gray R.D., Atkinson Q.D. *Nature*, 2003, 426, doi: 10.1038/nature02029). Однак обидва автори не є лінгвістами і користувалися комп'ютерними алгоритмами еволюційної біології для пошуку родинних зв'язків між різними штамми вірусів, що викликало у фахівців цілком природне роздратування.

Р. Грей і К. Аткінсон стверджували й продовжують стверджувати, що закони еволюції мов і біологічних видів багато в чому подібні. Схожі слова з різних мов можна подати як мутовані послідовності ДНК. Відповідно, можна оцінити й швидкість мутацій.

Автори розглядали так звані когнати – однокореневі слова, що мають спільне походження і подібне звучання в різних мовах. Найчастіше вони означають поняття, які з'являються в мові одними з перших: «мати», «полювання», «небо» тощо, і зазнають найменших змін у ході еволюції мови. Вчені по-



рівняли слова із 103 «мертвих» і сучасних індоєвропейських мов та оцінили ступінь їхньої спорідненості, уподібнюючи когнати генам, а відмінності когнатів — мутаціям. Потім вони використали історичні дані про передбачуваний час дивергенції мов. Наприклад, вважають, що мови романської групи почали відокремлюватися від латини в 270 р., коли імператор Авреліан вивів римських колоністів із провінції Дакія. Крім того, вчені використовували інформацію про сучасне географічне поширення мов.

Поєднавши всі ці дані, дослідники склали еволюційні дерева індоєвропейських мов на основі двох гіпотез — анатолійської та курганної, наклавши одержаний результат на карту Євразії. Виявилось, що «анатолійське дерево» найбільш вірогідне з погляду статистики і корені індоєвропейських мов беруть свій початок в анатолійських діалектах, які існували 7,8–9,8 тис. років тому.

Критики готові були прийняти датування, але до твердження про географічну локалізацію поставилися досить скептично. Р. Грей і К. Аткинсон, розуміючи, що це найслабше місце їхньої моделі, додали до неї програмне забезпечення, яким користуються епідеміологи для моніторингу географічного поширення захворювань і виявлення джерела спалаху. «Ареали» сучасних індоєвропейських мов добре відомі, а місця поширення відмерлих діалектів здебільшого реконструйовані істориками. Їхню нову роботу було нещодавно опубліковано в журналі «Science» (Bouckaert, R. et al. *Science*, 2012,

337, 957). В результаті знову таки вийшла Анатолія.

Немає жодних сумнівів, що значна частина лінгвістів та археологів — прихильників поширеної «курганної» гіпотези — так легко не відмовляться від звичних поглядів. Лінгвіст Ендрю Гаррет (Andrew Garrett) із Каліфорнійського університету в Берклі (США) і американський антрополог Девід Ентоні (David Anthony) з Хартвік-коледжу (Hartwick College) в один голос заявляють, що модель спрощена й ігнорує лінгвістичні та археологічні свідчення. За словами лінгвіста Віктора Мейра (Victor Mair) з університету штату Пенсильванія (США), «в цій роботі дуже багато змінних, значення яких визначає воля випадку. Курганна гіпотеза заснована на археологічних даних, вік і походження яких можна реально з'ясувати». Навіть ті дослідники, які визнали використання біологічних методів цілком виправданим, розкритикували авторів за те, що вони не перевірили спроможність «балканської» гіпотези походження індоєвропейських мов.

«Мені здається, що ми надали найпереконливіший набір доказів про місце походження індоєвропейської мовної сім'ї. Крім того, нам також вдалося показати, що мови можна використовувати для відстеження історії народів як у просторі, так і в часі», — наполягає керівник групи дослідників Квентін Аткинсон.

Джерело:

<http://www.nature.com>