

ВСТУП

ЯК ЦЕ — БУТИ ГРИБОМ?

Трапляються миті у вологому коханні, коли небеса заздять нашим діянням на землі.

Гафіз

Гриби чигають на нас повсюди, проте їх легко не помітити. Вони всередині нас і довкруг. Вони підтримують життєдіяльність — нашу й усього, на що ми покладаємося. Доки читаєте ці рядки, гриби змінюють уклад життя, і так уже понад мільйон років. Вони розмелюють гірські породи, витворюють ґрунти, перетравлюють забруднювачі, живлять і вбивають рослини, виживають у космосі, спричиняють марення, продукують їжу, виготовляють ліки, маніпулюють поведінкою тварин і впливають на склад земної атмосфери. Гриби — ключ до розуміння планети, на якій ми живемо, а також до усвідомлення того, як ми думаємо, відчуваємо і поводимося. Водночас найчастіше вони живуть своє життя якнайдалі від людського ока, а понад 90 % видів залишаються незадокументованими. Що більше ми дізнаємося про гриби, то більше осягаємо, які вони важливі.

Гриби становлять одне із царств життя — таку саму велику й поважну категорію, як, скажімо, тварини чи рослини. До грибів належать і мікроскопічні дріжджі, і розгалужені мережі *Armillaria*, або ж опеньків, що є одними з найбільших організмів у світі. Нинішній рекордсмен, що знайшов прихисток в Орегоні, важить сотні тонн. Він розкинувся на 10 квадратних кілометрів, а вік його приблизно від 2000 до 8000 років. Ймовірно, існує безліч більших, старших зразків, що їх іще належить відкрити¹.

* Переклад М. Тимченка.

Багато найдраматичніших подій на Землі відбулися й відбуваються завдяки діяльності грибів. Рослини вибралися з води приблизно 500 мільйонів років тому лише внаслідок співпраці з грибами, що слугували їм кореневою системою впродовж десятків мільйонів років, доки рослини не розвинули власну. Сьогодні понад 90 % рослин залежать від мікоризних грибів — з грецької «гриб» (*mykes*) і «корінь» (*rhiza*). Останні обплітають дерева мережами, які ще подеколи називають грибним інтернетом. Цей давній зв'язок дав початок усьому знайомому життю на землі, і його майбутнє залежить від подальшої здатності рослин і грибів формувати здорові взаємини.

Рослини, можливо, й озеленили планету, та якби ми могли перенестися у девонський період 400 мільйонів років тому, то нас би приголомшила інша форма життя: прототаксити (*Prototaxites*). Ці живі шпили всівали всю поверхню. Чимало з них виструнчувалися вище за двоповерхові будинки. Годі було уявити бодай щось схоже за габаритами: рослини існували, але були не більш ніж метр заввишки, а жодна хребетна тварина ще не вийшла з води. Дрібна комашня облаштовувала домівки в гігантських стовбурах прототакситів, вигризаючи кімнатки й коридори. Ці таємничі організми, що їх схильні вважати велетенськими грибами^{*}, були найбільшими живими утвореннями на суходолі впродовж щонайменше 40 мільйонів років — удвадцятьоро довше, ніж існує рід *Homo*².

Гриби й донині дають поштовх створенню нових екосистем на суходолі. Коли виникають вулканічні острови або відступають льодовики, оголюючи скелі, найпершими постають лишайники — тандем грибів і водоростей або бактерій. Вони формують ґрунт, у якому згодом пустять коріння рослини.

^{*} У 2025 році оприлюднили препринт наукової статті з результатами хімічного аналізу викопних решток прототакситів. Дані вказують на те, що прототаксити не були грибами, а представляли загадкову зниклу лінію еукаріотичних організмів. На момент написання цих слів препринт ще не прорецензований (прим. наук. ред.).

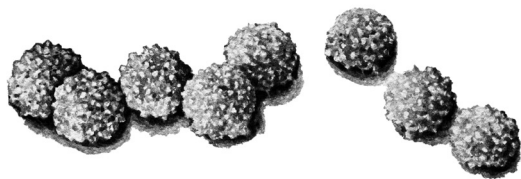
У добре розвинених екосистемах він стрімко вимивався б дощем, якби не щільна мережа грибної тканини, що тримає його вкупі. Від глибоких покладів на морському дні до поверхні пустель, замерзлих долин Антарктиди, наших кишок й отворів на тілі — на земній кулі заведеш знайдеш закуток, куди б не проникли гриби. Лиш у листку та стеблах однієї рослини здатні існувати десятки й сотні видів грибів. Вони мереживами вплітаються у проміжки між рослинними клітинами й захищають їх від хвороб. Жодна рослина, що росте в природних умовах, не обходиться без цих грибів; вони становлять таку саму невіддільну частину рослинного світу, як листки чи корені³.

Здатності процвітати в такому розмаїтті середовищ гриби завдячують своїм метаболічним можливостям. Метаболізм — це мистецтво хімічної трансформації. Гриби — справжні гуру метаболізму, вони здатні вигадливо досліджувати, поглинати й зберігати, а конкуренцію в цьому їм можуть скласти хіба що бактерії. Послугуючись коктейлями з потужних ферментів і кислот, гриби спроможні розщеплювати деякі з найстійкіших речовин на планеті — від лігніну, найміцнішого складника деревини, до гірських порід, сирої нафти, поліуретанових пластиків і вибухівки на кшталт тротилу. Деякі середовища їхнього існування видаються аж надто екстремальними. Вид, знайдений у відходах гірничодобувної промисловості, — один із найстійкіших (серед усіх виявлених організмів) до радіації, може стати в пригоді під час очищення сховищ із радіоактивним сміттям. Зруйнований реактор у Чорнобилі слугує прихистком для численної популяції таких грибів. Деякі з цих стійких до радіації видів навіть ростуть у напрямку до «гарячих» ділянок, що випромінюють радіоактивні частинки, і, певно, здатні використовувати радіацію за джерело енергії, як, наприклад, рослини, що послугуються енергією сонячного світла⁴.

.....

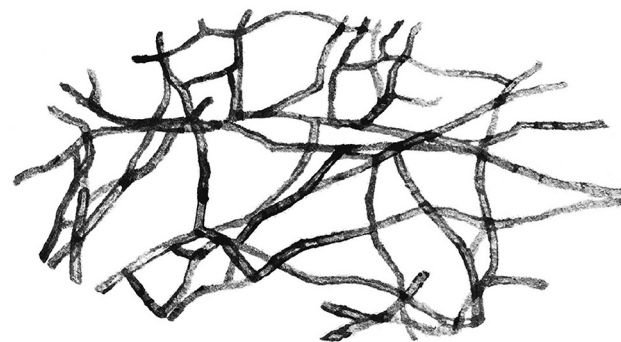
У масовому уявленні про гриби домінують створіння з ніжкою та шапинкою. Втім, як плоди рослин є частиною багато більшої структури, до якої належать гілки та коріння, так і звичні нам гриби є лиш плодовим тілом — місцем, де утворюються спори. Грибам потрібні спори подібно до того, як рослинам — насінина: для розсіювання. Плодові тіла, — результат того, як гриби ладнають із позагрибним світом, від вітру до вивірки, прохаючи допомоги в поширенні спор або ж навпаки, перешкоджаючи втручанню в їхнє розповсюдження. Плодові тіла — це частини грибів, що стають видимими, пікантними, жаданими, смачними, отруйними. Однак це лише одна з безлічі груп: переважна більшість грибів виділяє спори, не продукуючи плодові тіла.

Нашим захопленням грибами маємо завдячувати здатності їхніх плодових тіл розсіювати спори. Деякі з видів виділяють спори у вибуховий спосіб, зі швидкістю у 10 тисяч разів більшою за ту, що розвиває космічний шатл після запуску. Вони розганяються до сотні кілометрів на годину! А це — один із найшвидших рухів, що їх здатен розвивати будь-який живий організм. Інші види грибів творять власний мікроклімат: спори підносяться вгору потоками повітря, які виникають над плодовими тілами, коли вода випаровується з їхніх пластинок. Гриби — найбільше джерело живих частинок у повітрі, адже виробляють приблизно 50 мегатонн спор щороку. Це можна зіставити з вагою 500 тисяч синіх китів. Спори потрапляють у хмари, де впливають на погоду, спричиняючи утворення краплинок води, які потім проливаються дощем, та кристалів льоду, що їх ми спостерігаємо як сніг, сльоту і град⁵.



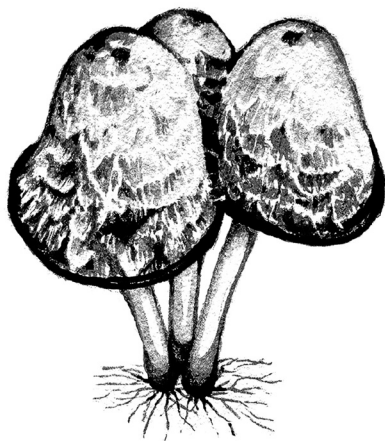
Спори

Певні гриби, скажімо дріжджі, які зброджують цукор на спирт чи зумовлюють пухкість хлібини, складаються з окремих клітин, що діляться брунькуванням і відтак розпадаються надвоє. Водночас більшість грибів утворюють мережі з багатьох клітин, відомих як гіфи — тонкі трубчасті структури, що розгалужуються, зливаються та сплутуються в анархічну філігрань грибниці. Грибниця (або міцелій) описує найпоширенішу з грибних звичок, уявляти яку ліпше як процес, аніж як річ — схильність до ненормованих експериментів. Вода й поживні речовини струменять через екосистеми всередині міцеліальних мереж. Міцелій деяких видів грибів електрично збудливий і проводить хвилі електричної активності вздовж гіф, подібно до імпульсів у нервових клітинах тварин⁶.



Грибниця або міцелій

Гіфи утворюють не лише міцелій, а й більш спеціалізовані структури. Плодові тіла, як-от гриби, постають в результаті сплетіння гіфових ниток. Ці органи здатні виконувати безліч функцій, окрім викидання спор. Візьмімо, приміром, трюфелі, що завдяки своєму аромату стали одними з найдорожчих харчів у світі. А от гнойовики білі (*Coprinus comatus*) можуть пробивати собі шлях крізь асфальт і здимати важку бруківку, хоча самі собою не є міцним матеріалом. Ви можете зібрати гнойовики, посмажити і з'їсти їх. А можете помістити до слоїка, і їхній яскраво-білий м'якуш за кілька



Гнойовики білі, *Coprinus comatus*, намальовані чорнилом з м'якуша цих самих грибів

днів розчиниться й обернеться на темне, мов смола, чорнило (ілюстрації в цій книжці виконані саме ним)⁷.

Метаболічна винахідливість дозволяє грибам налагоджувати найрізноманітніші взаємозв'язки. Відколи існують рослини, вони, як у корінні, так і в пагонах, покладаються на гриби, якщо йдеться про живлення й захист. Тварини так само залежать від грибів. Коли не брати до уваги людей, тваринами, що утворюють одні з найчисленніших і найскладніших суспільств на землі, є мурах-листорізи. Колонії можуть сягати понад 8 мільйонів особин, а підземні гнізда простягаються на 30 метрів. Життя мурах-листорізів обертається довкола гриба, який вони вирощують у запалих камерах і годують фрагментами листків⁸.

Існування людських суспільств так само тісно переплетене з грибами. Хвороби, спричинені грибами, завдають мільярдних збитків — гриб-збудник пірикуляріозу рису знищує таку кількість рису, якої б вистачило, аби щорічно прогодувати понад 60 мільйонів людей. Грибні недуги дерев — від голландської хвороби в'язів до фітофторозу каштанів — видозмінюють ландшафти й ліси. Римляни молилися богам цвілі Робігу, щоб відвернути грибні хвороби, та не змогли зупинити

голоду, який спричинив занепад Римської імперії. Вплив грибних захворювань зростає у всьому світі: несталі сільськогосподарські практики* зменшують потенціал рослин формувати відносини з добродійними грибами, від яких вони залежать. Повсюдне використання протигрибних хімікатів призвело до безпрецедентного зростання кількості нових грибних супермікробів, що загрожують здоров'ю і людей, і рослин. Розповсюджуючи хвороботворні гриби, ми створюємо нові можливості для їхньої еволюції. За останні 50 років найсмертоносніша з будь-коли зафіксованих хвороб — грибок, що вражає земноводних, — поширилася світом через торгівлю. Хітридієвий грибок призвів до вимирання дев'яноста видів земноводних і загрожують знищити ще понад сотню. Сорт бананів «кавендіш», на який припадає 99 % світового постачання бананів, винищується грибною хворобою і зникне в найближчі десятиліття⁹.

Втім, як і мурах-листорізи, люди навчилися використовувати гриби для розв'язання багатьох нагальних проблем. Правду кажучи, найімовірніше, ми послуговуємося здобутками грибів довше, ніж існуємо як *Homo sapiens*. 2017 року дослідники реконструювали раціон неандертальців, двоюрідних братів сучасних людей, що вимерли приблизно 50 тисяч років тому. Вони виявили, що людина із зубним абсцесом споживала різновид гриба — цвіль, яка виробляє пеніцилін. Це свідчить про знання антибіотичних властивостей останньої. Існують й інші, не такі давні приклади, зокрема Снігова людина або Етці — надзвичайно добре збережений неолітичний труп, що його знайшли в льодовиковій кризі приблизно 5000 років тому. У день власної смерті арктичний мандрівник мав при собі торбинку, наповнену грибами-трутовиками (*Fomes fomentarius*), які майже достеменно використовував

* Йдеться про практики, які негативно впливають на довкілля, як-от надмірне використання добрив, вирощування монокультур, яке виснажує ґрунт, надто глибока оранка тощо (прим. ред.).

для розпалювання вогню, а також дбайливо підготовленими фрагментами губки березової (*Fomitopsis betulina*), що, найімовірніше, слугувала ліками¹⁰.

Корінні народи Австралії лікували рани пліснявою, зібраною із затіненого боку евкаліптових дерев. У єврейському Талмуді описано засіб проти цвілі, відомий як чамка, що складається із запліснявілого зерна, замоченого у фініковому вині. Давньоєгипетські папіруси 1500 року до н.е. містять дані про лікувальні властивості плісняви, а в році 1640 королівський травник у Лондоні Джон Паркінсон описав використання плісняви для лікування ран. Проте лише 1928-го Александер Флемінг дослідив, що пліснява виробляє хімічну речовину, яка вбиває бактерії, — пеніцилін. Пеніцилін став першим сучасним антибіотиком і відтоді врятував незліченну кількість життів. Відкриття Флемінга вважається одним із визначальних моментів сучасної медицини і, можемо стверджувати, воно сприяло зміні балансу сил у Другій світовій війні¹¹.

Пеніцилін, сполука, здатна захищати гриби від бактеріальної інфекції, змогла захищати і людей. Це й не дивно: хоча гриби тривалий час пов'язували з рослинами, насправді вони ближчі до тварин — приклад категоріальної помилки, якої регулярно припускаються дослідники, намагаючись збагнути життя грибів. На молекулярному рівні гриби та люди достатньо схожі, аби отримувати користь від безлічі однакових біохімічних інновацій. Коли послуговуємося ліками, до створення яких доклалися гриби, ми часто запозичуємо грибні речовини і переносимо їх у власний організм. Гриби засвідчують неабияку продуктивність у фармацевтиці, і сьогодні, крім пеніциліну, ми залежимо від них у виробництві багатьох інших речовин: циклоспорину — імуносупресора, що уможливлює трансплантацію органів; статинів, які знижують рівень холестерину; безлічі потужних противірусних і протиракових сполук — зокрема й багатомільярдного препарату таксол, який початково видобули з грибів, що мешкають всередині тисів.

Що вже й казати про ферментований дріжджами алкоголь або псилоцибін, активний компонент психоделічних грибів, який, за результатами нещодавніх клінічних випробувань, здатний долати важку депресію та тривогу. Гриби виробляють 60 % ферментів, якими люди послуговуються в промисловості, а модифіковані штами дріжджів — 15 % усіх вакцин. Лимонну кислоту, яку продукують гриби, додають до більшості газованих напоїв. Світовий ринок їстівних грибів стрімко зростає, і, за прогнозами, збільшиться з 42 мільярдів доларів 2018-го до 69 мільярдів доларів до 2024-го. Продажі грибів з лікувальними властивостями щороку зростають¹².

Галузі використання грибів не обмежуються здоров'ям людини. Револьюційні грибні технології можуть допомогти розв'язати чимало проблем, що постають через постійне руйнування довкілля. Противірусні сполуки, які виробляє грибниця, зменшують ризик руйнування колоній у медоносних бджіл. Ненажерливі грибні апетити можна використати для розщеплення забруднювачів на кшталт сирої нафти у нафтових розливах, — процес, знаний як мікоремедіація. При мікофільтрації забруднену воду пропускають через міцеліальні підстилки, що фільтрують важкі метали та розщеплюють токсини. При міковиробництві з міцелію вирощують будівельні матеріали та текстиль, які в різних сферах замінюють пластик і шкіру. Грибні меланіни, пігменти, що їх продукують радіорезистентні гриби, — нове перспективне джерело стійких до радіації біоматеріалів¹³.

Людські суспільства завжди залежали від дивовижного метаболізму грибів. Щоб перелічити весь список хімічних досягнень грибів, знадобиться не один місяць. А втім, попри їхню провідну роль у багатьох давніх захопленнях людини, грибам приділяють мізерну частку уваги, на відміну від тварин й рослин. За найприскіпливішими підрахунками, у світі існує від 2,2 до 3,8 мільйона видів грибів — у 6–10 разів більше, ніж передбачувана кількість видів рослин. А це означає,

що описано тільки 6 % усіх видів грибів. Ми лише починаємо розуміти хитросплетіння й вишуканість їхнього світу¹⁴.

.....

Скільки себе пам'ятаю, мене завжди вабили гриби та трансформації, до яких вони причетні. Тверда колода обертається на ґрунт, грудка тіста перетворюється на хліб, зненацька постає плодове тіло — але як? У підлітковому віці я намагався дати раду своєму спантеличенню, шукаючи способи взаємодії з грибами. Я збирав гриби і вирощував їх у себе в спальні. Згодом варив алкоголь, плекаючи сподівання дізнатися більше про дріжджі та їхній вплив на свій організм. Я чудувався перетворенню меду на медівку, а фруктового соку — на вино, і тому, як винуватець цих перетворень може трансформувати мої відчуття та відчуття моїх друзів.

Моє офіційне вивчення грибів почалося зі вступу до Кембриджу на факультет біології рослин (факультету грибних наук там немає). Я захопився симбіозом — тісними взаєминами, що виникають між неспорідненими організмами. Історія життя виявилася повною взаємодії. Як я довідався згодом, більшість рослин залежать від грибів, що забезпечують їх поживними речовинами з ґрунту, зокрема фосфором і азотом. Це відбувається в обмін на енерговмісні цукри та ліпіди, що утворюються під час фотосинтезу — процесу, за допомогою якого рослини отримують поживу шляхом поглинання вуглекислого газу під впливом світла. Відносини між рослинами і грибами багато в чому зумовили нинішній стан біосфери. Їхній зв'язок і досі підтримує життя на землі, а проте як мало нам про нього відомо. Як постали ці відносини? Як гриби й рослини взаємодіють одне з одним? Як дізнатися більше про життя цих організмів?

Я прийняв пропозицію стати аспірантом, аби вивчати мікоризні відносини в тропічних лісах Панамі. Незабаром перебрався на острівну польову станцію, підпорядковану

Смітсонівському інституту тропічних досліджень. Острів і прилеглі півострови були частиною природного заповідника, цілковито вкритого лісом, за винятком ділянки, де стояли гуртожитки, їдальня та лабораторні будівлі. В останніх містилася всяка всячина: теплиці для вирощування рослин; сушильні шафи, наповнені мішками з опалим листям; кімната, заставлена мікроскопами; простора морозильна камера, заповнена найрізноманітнішими зразками — пляшками зі смолою дерев, мертвими кажанами, пробірками з кліщами, що їх видобули зі спин голчастих щурів та удавів. Афіші на дошці оголошень пропонували грошову винагороду всім, хто роздобуде свіжий слід оцелота в лісі.

У нетрях вирувало життя. Тут можна було натрапити на лівнівців, пум, змій, крокодилів або ж василісків, здатних пересуватися водною поверхнею і не тонути. Всього на кількох гектарах землі прихисток знайшли стільки видів деревних рослин, скільки і в цілій Європі не розшукати. Підтвердженням лісовому розмаїттю слугувала кількість польових біологів, що приїздили сюди проводити досліди. Деякі з них видряпувались на дерева й спостерігали за мурахами. Інші щодня на світанку вирушали досліджувати мавпяче життя. Третіх цікавили блискавки, що били у дерева під час тропічних штормів. Дні четвертих минали у висотах лісового пологу, де, підвішені на підіймальних механізмах, вони вимірювали рівень концентрації озону. П'яті прогрівали ґрунт за допомогою електричних елементів, аби побачити, як бактерії реагуватимуть на глобальне потепління. Шості вивчали, як жуки орієнтуються за зірками. Джмелі, орхідеї, метелики — здавалося, не існувало такого клаптика життя, за яким би ніхто не пильнував.

Мене приголомшили гумор і вигадливість дослідницької спільноти. Лабораторні біологи проводять більшість часу, опікуючись тими аспектами життя, що становлять для них науковий інтерес. Їхні людські життя протікають за межами колб, у яких містяться об'єкти їхніх досліджень. Польовим

біологам рідко таланить мати такий обсяг контролю. Світ — це колба, а вони — всередині неї. Баланс сил змінюється. Шторми змивають прапорці, якими науковці маркують власні дослідження. На їхні ділянки падають дерева. Там, де люди науки планували виміряти вміст поживних речовин у ґрунті, гинуть лінивці. Мурахи-кулі на льоту жалють тутешніх відчайдушів. Ліс і його мешканці відкидають будь-які сумніви щодо того, хто тут усім заправляє. Відтак з'являється покірливість.

Відносини між рослинами та мікоризними грибами — ключ до розуміння, як працюють екосистеми. Я волів зрозуміти більше, як поживні речовини проходять крізь грибні мережі. Але тільки-но починав думати про те, що відбувається під землею, як у голові одразу паморочилося. Рослини та мікоризні гриби нерозбірливі в стосунках: багато видів грибів можуть жити в коренях однієї рослини, немало рослин — з'єднуватися з однією грибною мережею. У такий спосіб різноманітні речовини — від поживних сполук до тих, що подають сигнали — здатні передаватися між рослинами через грибні мережі. Коротко кажучи, гриби відповідають за соціальні зв'язки рослин. Саме про це йдеться, коли ми говоримо про грибний інтернет. У тропічних лісах, де я працював, налічувалися сотні видів рослин і грибів. Ці мережі незбагненно заплутані, їхні впливи незмірні й донині кепсько вивчені. Уявіть собі здивованість інопланетного антрополога, який через десятиліття вивчення сучасного людства виявив би, що ми користуємося штукаю, яку називаємо інтернетом. Десь так почуваються сучасні екологи.

Силкуючись дослідити мережі мікоризних грибів, які прокладають собі шлях крізь землю, я зібрав тисячі зразків ґрунту та обрізків коріння дерев і розтер їх у пасту, аби видобути жири грибів, або їхню ДНК. Я виростив сотні рослин у горщиках із різними спільнотами мікоризних грибів і виміряв, наскільки великими виросли їхні листки. Теплиці я посипав густими кільцями чорного перцю, аби відлякати котів, що могли б прокрастися всередину й занести небезпечні

грибні спільноти. Рослини я обприскував хімікатами й простежував їхній шлях крізь коріння в ґрунт, аби зафіксувати, скільки з них потрапило до своїх грибних братів — а тоді знову розтирав все те у пасту. Я сплавлявся поміж лісистими півостровами на невеличкому моторному човні, що часто виходив з ладу, видирався на водоспади в пошуках рідкісних рослин, не один кілометр брів багnistими стежками з наплічником, повним заболоченого ґрунту, роз'їжджав на вантажівках заметами густої червонястої грязюки в нетрищах.

Серед безлічі організмів, що населяли тропічний ліс, найбільше мене зачарував вигляд маленьких квіточок, які проростали із землі. Заввишки з горнятка кави, ці рослини мали блідо-білі хиткі стебла й однеєнку яскраво-блакитну квітку на верхівці, що їх підважувала. Це був представник лісових тирличевих під назвою войрія (*Voyria*), що давно позбувся здатності до фотосинтезу. Річ у тім, що він втратив хлорофіл — пігмент, який уможливило фотосинтез і надає рослинам зеленого кольору. Войрія приголомшувала. Фотосинтез — одна з речей, що робить рослини рослинами. Тоді як їй поталанило вижити без нього?

Я підозрював, що стосунки войрії з її грибними партнерами відрізнялися від звичайних, тож мені кортіло запізнати, чи здатні ці організми розповісти мені щось про те, що коїться під поверхнею ґрунту. Минуло багато тижнів, доки я відшукав войрію в нетрях. Деякі екземпляри росли на відкритих ділянках лісу, і їх було важко не помітити. Інші ховалися, криючись за корінням дерев, що слугувало їм підпорою. На ділянках розміром зі чверть футбольного поля могли рости сотні пагонів, і я мав перелічити їх усі. Ліс де-не-де був пласким і відкритим, тож доводилося видряпуватися й пригинатися. Насправді я робив що завгодно, але не ходив. Щовечора я повертався до польової станції змореним і забрюханим. За вечерею голландські друзі-екологи кпинили з моїх чарівних квіточок із кволими стеблами. Нідерландці вивчали, як тропічні ліси зберігають вуглець. Поки я шкандибав

собі, вдивляючись у землю в пошуках крихітних пагонів, ці хлопці вимірювали окружність дерев. Войрія навряд чи відігравала важливу роль, коли йшлося про вуглецеві запаси лісу. Колеги дражнили мене через «ту тендітну екологічність» і «вишукані захоплення». Я відповідав кпинами на адресу їхньої неотесаної екологічності й мачизму. На світанку наступного дня я знову вирушав у дорогу, назираючи додолу в надії, що ці дивовижні рослини допоможуть мені віднайти шлях у прихований і сповнений скарбів світ підземелля.

.....