

ПРОЛОГ

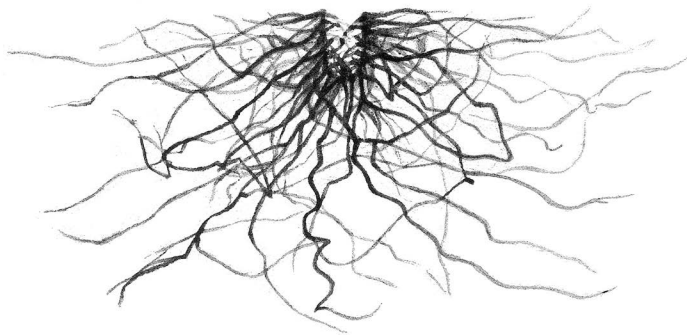
Я посмотрел вверх, на вершину дерева. От ствола, исчезающего в путанице лиан в пологе леса, ответвлялись орхидеи и папоротники. Высоко надо мной, громко захлопав крыльями, с резким криком взлетел со своего насеста тукан, и стая обезьян-ревунов разразилась медленно усиливающимися воплями. Дождь только-только прекратился, и тяжелые капли скатывались на меня с листьев неожиданными струями воды. Низко над землей стелился туман.

Корни дерева, изгибаясь, расползались прочь от основания ствола, теряясь в густых наносах опавших листьев, закрывавших почву в джунглях. Я постучал палкой по земле, отпугивая змей. Быстро пробежал и скрылся тарантул, и я опустился на колени. Проведя рукой вниз по стволу, я нащупал один из корней в мягкой как губка массе лесного мусора, в котором корни потоньше переплелись в плотный красно-коричневый клубок. Снизу волнами поднимался густой запах. По этому лабиринту сновали термиты, а тысяченожка свернулась кольцом, притворяясь мертвой. Мой корень спрятался в землю, и я совком осторожно расчистил место вокруг. Разрыхлив верхний слой почвы, я очень медленно, с максимальной осторожностью начал откапывать его, а он, извиваясь, удалялся от дерева у самой поверхности земли.

Через час я продвинулся примерно на метр. Мой корень стал теперь тоньше струны и начал бешено разрастаться. Трудно было проследить за ним, когда он переплетался

с соседними корешками, поэтому я лег на живот, почти касаясь лицом мелкой, прокопанной мною канавки. У некоторых корней был резкий ореховый запах, у других — запах древесный, с горчинкой. Но у корней моего дерева, когда я поскреб его ногтем, оказался смолистый пряный аромат. Несколько часов медленно и кропотливо продвигаясь вперед, я скреб корешки ногтем и принохивался к ним через каждые несколько сантиметров, чтобы не потерять след.

В течение дня я обнаруживал все больше отростков у откопанного мною корня. Выбрав несколько из них, я проследил их путь до самых кончиков, до того места, где они зарывались в гниющие листья или обломки сучьев. Окуная концы этих корешков в склянку с водой, я смывал с них грязь, а потом рассматривал под лупой. Отростки моего корня ветвились как маленькие деревья, и их поверхность была покрыта прозрачным, тонким как паутина слоем, выглядевшим влажным и липким. Именно эти хрупкие структуры я и хотел исследовать. От этих корешков в земле раскинулась, кружевным полотном оплетая корни соседних деревьев, грибница. Без нее не существовало бы моего дерева. Без подобных грибных сетей не было бы нигде ни одного растения. Все живое на Земле, включая меня, зависело от таких вот грибных сетей. Я тихонько потянул за мой корень и почувствовал, как шевельнулась земля.



ВВЕДЕНИЕ

БЫТЬ ГРИБОМ

Есть влажной любви мгновенья, когда небеса завидуют тому, что мы способны творить здесь, на земле.

— Хафиз Ширази

Грибы повсюду, но их легко не заметить. Они внутри и вокруг вас. Они поддерживают и питают и вас, и все то, что вам необходимо для жизни. Когда вы читаете эти слова, грибы продолжают изменять ход жизни, и так продолжается уже более миллиарда лет. Они поедают камень, создают почву, «переваривают» вредные, загрязняющие окружающую среду вещества, питают и убивают растения, выживают в космосе, вызывают видения, производят пищу, создают лекарства, управляют поведением животных и влияют на состав атмосферы Земли. Грибы дают нам ключ к познанию планеты, на которой мы живем, и того, как мы мыслим, чувствуем и ведем себя. И все же они живут тайной жизнью, большей частью скрытой от наших глаз, и более 90 % их видов остаются неописанными и неизученными. Чем больше мы узнаем о грибах, тем меньше видим смысла в жизни без них.

Грибы образуют одно из царств всего живого — категорию такую же многочисленную, как царство растений или животных. Микроскопические дрожжевые грибы и опенок настоящий, или *Armillaria*, грибница которого простирается на значительные расстояния и относится к самым большим организмам в мире, — все это грибы. Нынешней рекордсменке среди грибниц опенка настоящего сейчас от

2000 до 8000 лет, она находится в Орегоне, весит сотни тонн и расплзлась на 10 квадратных километров. Вероятно, есть экземпляры и большего размера, и старше, но они еще не открыты.

Многие из самых значительных событий на Земле были и являются результатом грибной активности. Растения выбрались из воды около 500 миллионов лет назад благодаря сотрудничеству с грибами, которые служили им в качестве корневой системы, пока растения не обзавелись собственными корнями. В наши дни жизнь более 90 % растений зависит от микоризных грибов — от греческого слова *μύκης*, означающего «гриб», и *ρίζα*, что значит «корень», — которые могут объединять деревья единой сетью. Эта сеть получила название *wood wide web*, то есть «вселесная паутина». Эта древняя связь породила всю известную жизнь на суше, будущее которой зиждется на способности грибов и растений непрерывно поддерживать здоровые взаимоотношения.

Возможно, растения и сделали нашу планету зеленой, но если бы мы смогли заглянуть на 400 миллионов лет назад, в девонский период, нас бы поразила иная форма жизни — прототакситы. Эти живые шпильки были частью ландшафта. Многие из них были выше двухэтажных домов. Ничто не могло сравниться с ними по размеру: растения уже существовали, но не достигали в высоту и метра, а ни одно позвоночное животное еще не покинуло водных глубин. В гигантских стволах селились мелкие насекомые, выедавая в них «залы» и коридоры. Эту загадочную группу организмов — считавшихся огромными грибами — составляли крупнейшие живые структуры на суше. Она просуществовала по крайней мере 40 миллионов лет, в 20 раз дольше, чем человеческий род на Земле.

И по нынешний день грибы создают новые экологические системы на Земле. Когда возникают вулканические острова или отступают, обнажая голые скальные породы, ледники, лишайники — союз грибов и водорослей или бактерий*, — первыми из живых организмов обосновываются

* Точнее, цианобактерий. — Прим. науч. ред.

там и создают почву, в которой после укоренятся растения. В хорошо развитых экосистемах дожди бы вскоре вымыли почву, не будь там густой мелкоячеистой грибной сети, которая удерживает ее. На нашей планете очень мало мест, где невозможно найти грибы. Они повсюду: в глубинных отложениях на морском дне, на поверхности пустынь, в ледяных долинах Антарктики, в наших телах. На листьях и стеблях одного-единственного растения могут существовать десятки и сотни различных видов грибов. Эти грибы проникают в промежутки между клетками растения, сплетаясь в бархатное полотно, и помогают защитить растение от болезней. Ни одно растение, выросшее в природных условиях, не обошлось без этих грибов; они такая же неотъемлемая его часть, как листья или корни.

Процветание грибов в таких разнообразных средах обитания зависит от многообразия их метаболических способностей. Метаболизм — это искусство химического преобразования. Грибы — мастера метаболизма, и они способны с бесконечной изобретательностью разведывать новые источники питания, кормиться отбросами, в чем с ними могут соперничать только бактерии. Используя смесь сильнодействующих ферментов и кислот, грибы способны разрушать самые устойчивые вещества на планете, начиная с лигнина — самой жесткой составляющей древесины — и заканчивая камнем. Им подойдут сырая нефть, полиуретан и взрывчатое вещество тринитротолуол, или просто тротил. Почти никакая среда не будет слишком агрессивной или экстремальной для выживания грибов. Вид грибов, выделенный из отходов горнодобывающей промышленности, является одним из самых устойчивых к радиации организмов и может помочь в очистке мест захоронения радиоактивных отходов. Взорвавшийся реактор в Чернобыле — место обитания большой популяции таких грибов. Некоторые такие грибы приспособляются даже к высокорadioактивным «горячим» частицам и, кажется, способны обуздать радиацию и использовать ее как источник энергии, подобно тому как растения используют солнечную энергию.

Когда мы пытаемся представить себе гриб, мы воображаем его плодовое тело. Но так же, как плоды растений представляют собой лишь часть значительно большей структуры, включающей ветви и корни, плодовое тело — это всего лишь место, где производятся споры. Для грибов споры — то же, что для растений семена, то есть возможность распространять потомство. Плодовое тело — это инструмент влияния на внешний мир — от ветра до белок, — которые должны помочь в распространении спор или хотя бы не мешать этому процессу. Плодовые тела — это видимая часть гриба, пикантная, соблазнительная, вкусная, а подчас и ядовитая. И все же плодовые тела — лишь один способ размножения среди многих других: подавляющее большинство видов грибов рассеивает споры, не формируя никакого плодового тела.

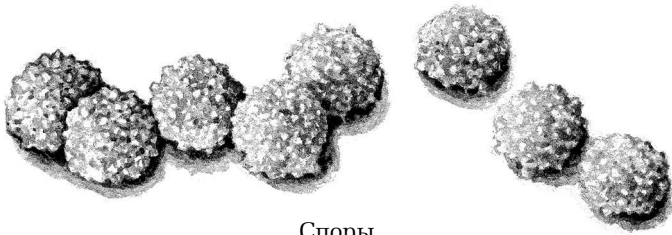
Мы все живем и дышим грибами благодаря изобилию всевозможных способов распространения грибных спор. Некоторые виды выбрасывают споры, которые ускоряются в 10 000 раз быстрее, чем космический челнок сразу после запуска, достигая скорости 100 километров в час. На свете мало живых организмов, способных передвигаться быстрее.

Другие виды грибов создают свой собственный микроклимат: споры поднимаются вверх вслед за испаряющейся с пластинок* влагой**. Грибы производят примерно 50 мега-тонн спор в год, что равно весу 500 000 голубых китов. Это делает их крупнейшим источником живых частиц в воздухе. Споры находятся в облаках и влияют на погоду, вызывая формирование капель воды, из которых образуется дождь, и ледяных кристаллов, из которых получаются снег и град.

Некоторые грибы, такие как дрожжи, путем брожения превращающие сахар в алкоголь и вызывающие подъем теста при выпечке хлеба, состоят из одиночных клеток, которые размножаются почкованием. Тем не менее большинство грибов образуют многоклеточные системы, известные

* Не только с пластинок. Гименофор может быть и трубчатым, и гладким. — *Прим. науч. ред.*

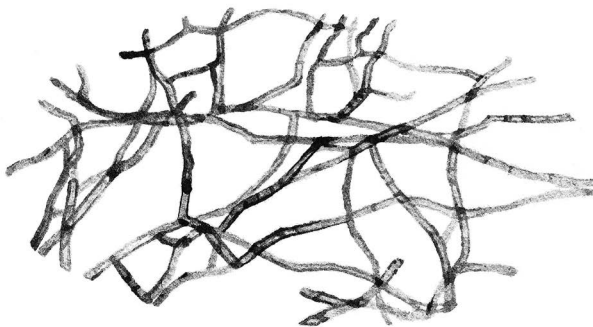
** Восходящие потоки воздуха возникают из-за разницы температур. То, что исходит от грибов и других организмов, только встраивается в эти потоки. — *Прим. науч. ред.*



Споры

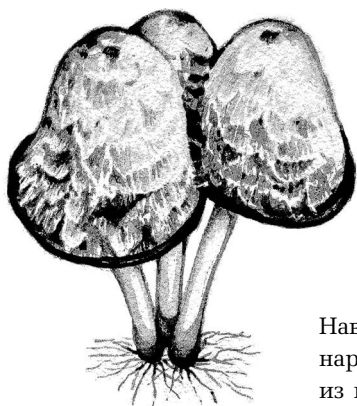
как гифы: тончайшие трубчатые структуры, которые разветвляются, сливаются и переплетаются в беспорядочную филигрань мицелия, или грибницы. Мицелий представляет собой самый распространенный тип организации грибов (габитус). Его разрастание точнее всего можно определить как тенденцию к исследованию, пусть и неупорядоченному. Вода и питательные вещества протекают через экосистемы внутри сетей мицелия. Мицелий некоторых видов грибов реагирует на электричество и проводит электрические волны по гифам подобно тому, как нейроны нервной системы животных передают электрические импульсы.

Гифы составляют мицелий, но из них состоят и более плотные структуры. Плодовые тела грибов возникают из спрессованных гифовых нитей. Плодовые тела в свою очередь способны и на другие подвиги, помимо разбрасывания спор. Некоторые, такие как трюфели, испускают дивные ароматы, что превратило их в одни из самых дорогих



Мицелий

пищевых продуктов в мире. Другие, такие как навозник белый (*Coprinus comatus*; копринус хохлатый), способны пробиться сквозь асфальт и приподнять тяжелые тротуарные плиты, хотя сами не отличаются жесткостью. Срезанный навозник белый можно поджарить и съесть. Если же вы оставите его в банке, его ослепительно-белая мякоть за несколько дней растворится, превратившись в черные как смоль чернила (иллюстрации к этой книге нарисованы чернилами из навозника белого).



Навозник белый, *Coprinus comatus*,
нарисованный чернилами
из навозника белого

Метаболическая изобретательность позволяет грибам вступать в разнообразные взаимоотношения. И корнями, и стеблями, и побегами растения во все время своего существования были тесно связаны с грибами, которые защищали их и снабжали питательными веществами*. Животные также зависят от грибов. Представители фауны, которые образуют одно из самых многочисленных и сложных сообществ после человеческих, это муравьи-листорезы. Численность их колоний может превышать 8 миллионов, и все особи населяют подземные гнезда, диаметр которых зачастую больше 30 метров. Жизнь муравьев-листорезов вращается вокруг гриба, который они выращивают в своих подземных пещерах и «кормят» кусочками листьев.

* Речь может идти о минеральных веществах. — Прим. науч. ред.

Существование человеческих сообществ переплетено с грибами не меньше. Грибковые болезни обходятся в миллиарды долларов убытков — пирикулярриоз риса (рисовая гниль) ежегодно губит столько риса, сколько было бы нужно, чтобы накормить более 60 миллионов человек. Древесные грибковые заболевания, от голландской болезни язвов до каштановой гнили (эндотиевого рака коры каштана съедобного), покоряют леса и ландшафты. Римляне молились богу Робигу, защищавшему всходы от грибка, который вызывает болезнь милдью, или ложномучнистую росу; однако они так и не смогли предотвратить голодные неурожайные годы, которые способствовали упадку Римской империи.

Влияние грибковых болезней увеличивается по всему миру: нерациональное ведение сельского хозяйства снижает способность растений образовывать связи с полезными грибами, от которых они зависят. Широкое использование противогрибковых химикатов привело к появлению новых грибковых форм, угрожающих здоровью как людей, так и растений. За последние 50 лет по миру распространилась благодаря торговле самая смертоносная среди известных болезней — грибок, инфицирующий земноводных. Из-за этой болезни вымерли уже 90 видов рептилий, и она грозит стереть с лица земли еще сотню. Сорт бананов «Кавендиш» (99 % импортных плодов именно этого сорта) сейчас уничтожается грибковой болезнью, уже в десятки раз сократившей его урожай. Она, возможно, приведет к его полному исчезновению в ближайшие десятилетия.

Однако подобно муравьям-листорезам люди научились использовать грибы для решения ряда насущных проблем. В действительности мы, вероятно, используем подсказанные грибами ходы значительно дольше, чем носим имя человека разумного. В 2017 году исследователи восстановили рацион неандертальцев, двоюродных братьев современного человека, вымерших примерно 50 тысяч лет тому назад. Они обнаружили, что один из них, страдавший дентальным абсцессом, употреблял с пищей плесневый грибок, производящий пенициллин, что указывает на осведомленность о его антибиотических свойствах. Существуют и другие,

не такие древние примеры, включая «ледяного человека», прозванного Этци. Его хорошо сохранившиеся останки, датированные примерно 5000 лет и относящиеся таким образом в эпоху неолита, были найдены в леднике. В день своей смерти Этци нес мешок, набитый кусками трутовика настоящего (*Fomes fomentarius*), вероятнее всего для разведения огня, и тщательно приготовленными кусочками березового трутовика (*Fomitopsis betulina*), которые наверняка собирался использовать в качестве лекарства. Коренное население Австралии обрабатывало раны плесневыми грибами, собранными с теневой стороны стволов эвкалиптов. В Талмуде рассказывается о лекарственном средстве на основе плесени, известном как «чамка», которое изготавливали из заплесневевшего зерна, вымоченного в финиковом вине.

Древнеегипетские папирусы, датируемые 1500 годом до н. э., упоминают лечебные свойства плесени, а в 1640 году королевский ботаник-травник, лондонец Джон Паркинсон описал использование плесени для лечения ран. Но только в 1928 году Александр Флеминг обнаружил, что некая плесень вырабатывает антибактериальное химическое вещество — пенициллин. Пенициллин стал первым современным антибиотиком и успел спасти бесчисленное количество жизней. Открытие Флеминга стало одним из поворотных пунктов в истории современной медицины. Возможно, оно могло изменить соотношение сил во Второй мировой войне.

Оказалось, что пенициллин — соединение, способное защитить грибы от бактериальной инфекции, — защищает также и людей. В этом нет ничего необычного: хотя грибы очень долго смешивали с растениями, они в действительности ближе к животным — образчик классификационной ошибки, которую исследователи регулярно допускают при попытках разобраться в жизни грибов. На молекулярном уровне люди и грибы достаточно схожи, чтобы испытывать благотворное влияние одних и тех же биохимических инноваций. Когда мы используем лекарства, созданные грибами, мы очень часто заимствуем решение, подсказанное ими, и применяем его к своему организму. Грибы широко применяются в фармацевтике, и сегодня мы используем их

для получения не только пенициллина, но и других химических веществ, таких как циклоспорин (иммуноподавляющее лекарство, которое делает возможной пересадку органов), понижающие содержание холестерина в крови статины, множество сильнодействующих противовирусных и противораковых средств (включая стоящее миллиарды долларов лекарство «Таксол» (*Taxol*), первоначально представлявшее собой экстракт из грибов, обитающих внутри тисовых деревьев). И я не говорю уже об алкоголе (получаемом благодаря брожению, вызванному дрожжевыми грибами) и псилоцибине (активном компоненте психоделиков, которые, как продемонстрировали клинические испытания, способны вывести из глубокой депрессии и избавить от тревожности). 60 % ферментов, используемых в промышленности, генерируются грибами, и 15 % всех вакцин производятся модифицированными штаммами дрожжей. Лимонная кислота, вырабатываемая грибами, необходима в производстве всех шипучих напитков. Мировой рынок съедобных грибов процветает: прогнозируется его рост с 42 миллиардов долларов в 2018 году до 69 миллиардов долларов в 2024 году. Продажи лекарственных грибов увеличиваются ежегодно.

Решения, которые подсказывают нам грибы, применимы не только в области человеческого здоровья. Радикальные грибные технологии могут помочь нам справиться со многими проблемами, возникающими из-за постоянных разрушительных воздействий на окружающую среду.

Противовирусные соединения, производимые грибным мицелием, позволяют бороться с синдромом разрушения пчелиных семей. Прожорливость грибов может быть использована для переработки и разложения вредных загрязняющих веществ, таких как сырая нефть, оставшаяся после разлива. Этот процесс известен как микоремедиация, или миковосстановление. Во время микофилтрации загрязненная вода пропускается через маты мицелия, которые задерживают тяжелые металлы и разлагают токсины. В процессе так называемого микопроизводства строительные материалы и текстиль, заменяющие пластики и кожу во многих областях человеческой деятельности, выращивают из мицелия.

Грибные меланины — пигменты, производимые грибами, — не подвержены влиянию радиации, и это многообещающий новый источник устойчивых к радиации биоматериалов.

Человеческие сообщества всегда учитывали паразитические виды грибного метаболизма. Перечисление пунктов длинного списка химических достижений грибов заняло бы не один месяц. И все же, невзирая на их потенциал, вопреки центральной роли, которую грибы сыграли во многих древних увлечениях человечества, им всегда уделяли лишь малую толику того внимания, которое отводили животным и растениям. По самым точным подсчетам, в мире существует от 2,2 до 3,8 миллиона видов грибов, то есть в 6–10 раз больше, чем предполагаемых видов растений. А это значит, что изучено и описано всего лишь 6 % всех видов грибов. Мы только начинаем познавать сложность и хитросплетения грибной жизни.

Сколько я себя помню, меня всегда зачаровывали грибы и те трансформации, которые случались благодаря им. Цельное бревно становится почвой, кусок сырого теста поднимается и превращается в хлеб, гриб вырастает за ночь. Но как? Подростком я справлялся со своей озадаченностью, находя способы как-то «связать» себя с грибами. Я собирал грибы и выращивал их у себя в спальне. Позднее я варил алкоголь в надежде узнать побольше о дрожжевых грибах и их воздействии на меня. Я восторгался тем, как мед превращается в медовуху, а фруктовый сок — в вино, и удивлялся тому, как результат этих трансформаций изменял ощущения — мои собственные и моих друзей.

К тому времени, как я начал изучать грибы систематически — стал студентом отделения прикладной ботаники в Кембридже (отделения прикладной микологии там не существует), — меня заинтересовал симбиоз, тесная взаимосвязь, возникающая между неродственными организмами. История жизни оказалась наполненной разными видами тесного сотрудничества.

Как я выяснил, грибы обеспечивают многие растения минеральными веществами, такими как фосфор и азот, а взамен получают углеводы и липиды, производимые растения-

ми в процессе фотосинтеза, когда те поглощают солнечный свет и углекислый газ из воздуха. Благодаря взаимоотношениям растений и грибов возникла биосфера, которую мы наблюдаем и ощущаем сейчас. Эти взаимоотношения и ныне поддерживают все живое на Земле, а мы, кажется, почти не разобрались в них. Как возникли эти взаимоотношения? Как растения и грибы общаются между собой? Как бы мне узнать побольше о жизни этих организмов?

Я решил продолжить занятия наукой в докторантуре, чтобы ближе рассмотреть микоризные взаимосвязи в тропических лесах Панамы. Вскоре после этого я перебрался в полевой лагерь на острове. Исследования проводились под эгидой Смитсоновского института тропических исследований. И мой остров, и окрестные полуострова, полностью покрытые лесом, были частью заповедника. Единственным расчищенным от зарослей местом была поляна, где находились общежития, столовая и лаборатории. Там же расположились теплицы для выращивания растений; сушильные шкафы, заполненные мешками с опавшими листьями; комната, уставленная микроскопами; морозильная камера, набитая образцами — бутылками с древесным соком, мертвыми летучими мышами, пробирками с клещами, вытасненными из спин удавов и щетинистых крыс. На доске объявлений предлагалось денежное вознаграждение за доставку свежего помета оцелотов из леса.

Джунгли кишели живностью. Там обитали ленивцы, пумы, змеи и крокодилы; маленькие американские ящерицы-василиски могли бегать по поверхности воды и не тонуть. Всего на нескольких гектарах произрастало столько же видов лесных растений, как во всей Европе. Многообразие флоры и фауны отражалось в богатом разнообразии специальностей полевых исследователей-биологов, приехавших изучать его. Некоторые из них забирались на деревья и наблюдали за муравьями. Другие каждый день уходили на заре отслеживать передвижения обезьян. Третьи следили за молниями, которые ударяли в деревья во время тропических гроз. Четвертые коротали дни, вися на подъемнике и замеряя уровень озона в сводах деревьев. Пятые

подогревали почву, чтобы определить, как бактерии будут реагировать на глобальное потепление. Шестые изучали то, как жуки ориентируются по звездам. Шмели, орхидеи, бабочки — казалось, в лесу не осталось ни одного вида, за которым кто-нибудь не наблюдал бы.

Меня поражали изобретательность и чувство юмора этого исследовательского сообщества. Лабораторные исследователи-биологи проводят большую часть своей жизни, держа под контролем ту частичку живой природы, которую они изучают. Их собственная человеческая жизнь проходит за пределами сосудов, в которых находится исследуемый ими материал. Полевым исследователям редко удается добиться такого уровня контроля. Мир — лабораторный сосуд, и они находятся внутри его. Соотношение сил другое. Грозовые ливни смывают флажки, которыми они отмечают объекты своих экспериментов. Деревья падают на их делянки. Ленивцы умирают там, где они собирались измерять содержание питательных веществ в почве. Их кусают муравьи-пули, когда они продираются сквозь заросли. Лес и его обитатели рассеивают любые иллюзии о том, что ученые чем-либо управляют. Очень быстро наступают отрезвление и смирение.

Взаимоотношения растений и микоризных грибов — это ключ к пониманию того, как устроены экосистемы. Мне хотелось побольше узнать о том, как питательные вещества проходят через грибные системы, но у меня голова шла кругом, когда я представлял себе, что творится под землей. Растения и микоризные грибы неразборчивы в связях: внутри корней одного растения может обитать множество грибов, а к единственной грибной системе могут присоединяться многочисленные растения. Таким образом растения могут обмениваться разнообразными веществами, от питательных веществ до сигнальных соединений, при помощи грибных связей. Проще говоря, грибы объединяют растения в социальную сеть. Именно это и подразумевается под словосочетанием «вселесная паутина». Тропические леса, где я работал, были местом обитания сотен видов растений и грибов. Эти «вселесные паутины» невообразимо слож-

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЛОГ	7
<i>Введение. БЫТЬ ГРИБОМ</i>	9
<i>Глава первая. СОБЛАЗН</i>	35
<i>Глава вторая. ЖИВЫЕ ЛАБИРИНТЫ</i>	60
<i>Глава третья. БЛИЗОСТЬ НЕЗНАКОМЦЕВ</i>	89
<i>Глава четвертая. МИЦЕЛИЕВОЕ СОЗНАНИЕ</i>	118
<i>Глава пятая. ЧТО БЫЛО ДО КОРНЕЙ</i>	152
<i>Глава шестая. «ВСЕЛЕСНАЯ ПАУТИНА»</i>	182
<i>Глава седьмая. РАДИКАЛЬНАЯ МИКОЛОГИЯ</i>	213
<i>Глава восьмая. ГРИБНАЯ СУТЬ</i>	249
<i>Эпilog. ВЕСЬ ЭТОТ КОМПОСТ</i>	275
Благодарности	279
Примечания	282
Библиография	372