



Лесная сеть

Как деревья, грибы, почва и животные
поддерживают друг друга

Марк Тьюрин | ИИ

Марк Тьюрин

Лесная сеть: Как деревья, грибы, почва и животные поддерживают друг друга

<https://litres.ru/74451377>

SelfPub; 2026

Аннотация

Лесная сеть — это не просто множество деревьев, а живая система связей, где дерево, гриб, почва и животное зависят друг от друга. Книга показывает, как работает микориза, почему почва хранит память, как животные переносят семена, а засуха, огонь, буря, болезни и вырубка проходят по всей цепочке. Без мифов и простых виновников вы узнаете, почему хрупкой становится взаимность, как хозяйственные решения меняют лес на годы и что значит восстановить не картинку, а связи. Практические наблюдения, сезонные маршруты и разбор ошибок помогут читать лес, не ломая его систему, замечать ранние сигналы перемен и видеть в прогулке настоящее исследование.

Книга создана с помощью ИИ. Обложка: GPT Image -
Лицензия

Содержание

Лес начинается не с деревьев	4
Дерево как узел, а не одиночка	21
Грибы: посредники, разлагатели, партнёры	40
Почва, которая помнит всё	64
Цена света, воды и углерода	83
Микориза без мифов	104
Конец ознакомительного фрагмента.	109

Марк Тьюрин

Лесная сеть: Как деревья, грибы, почва и животные поддерживают друг друга

Лес начинается не с деревьев

Представьте, что вам поручили описать небольшой лесной участок. Вы записываете всё, что удалось заметить: берёзы, ели, рябину, чернику, папоротники, мхи, муравьёв, птиц, несколько грибов, траву и поваленное дерево. Список выглядит убедительно. В нём есть названия, количество и, возможно, даже фотографии.

Но чего в нём нет?

Не видно, где именно растут эти организмы. Неясно, кто находится в тени, а кто получает прямой свет. Не записано, где после дождя задерживается вода, куда она уходит по склону и какой участок пересыхает первым. Не указано, какое дерево каждый год пополняет почву листьями, где лежит древесина на разных стадиях разложения и какие следы оставляют животные. Список называет участников, но молчит о связях между ними.

С этого расхождения начинается полевое чтение леса. Наблюдателю предстоит перейти от вопроса «какие виды здесь есть?» к вопросам «как они расположены?», «что между ними перемещается?» и «какие условия поддерживают их совместное существование?». После знакомства с общей идеей лесной сети этот переход меняет сам способ смотреть на участок. Перед нами уже не набор объектов, а работающая система.

Список, который не работает

Список видов полезен. Он позволяет заметить, что на участке растёт берёза, а не осина, что среди трав есть папоротник, а в подстилке видны следы работы грибов. Без названий невозможно точно обсуждать наблюдения. Но список отвечает только на один вопрос: кто здесь присутствует.

Для понимания леса этого мало по четырём причинам.

Во-первых, присутствие не показывает численность. Одна рябина на краю участка и десятки рябиновых всходов под пологом будут записаны одинаково: «рябина есть». Однако экологическая роль этих двух ситуаций различна.

Во-вторых, список не показывает состояние организма. Берёза может быть молодой, старой, повреждённой или затенённой; она может расти на сухом бугре или у влажной ложбины. Одно и то же название скрывает разные условия жизни.

В-третьих, перечень ничего не говорит о расположении. Два участка могут содержать одни и те же виды, но на одном

они перемешаны, а на другом собраны в отдельные пятна: берёзы растут на возвышении, еловый подрост держится в тени, мхи занимают понижение, а травы тянутся вдоль тропы.

В-четвёртых, список не показывает процессов. Он не говорит, откуда приходит вода, куда уходит углерод, кто измельчает опад, где накапливаются минеральные вещества и почему одни семена закрепляются, а другие исчезают.

Поэтому список видов следует считать не картой, а её легендой. Он сообщает, какие обозначения могут понадобиться, но не показывает саму территорию и связи на ней.

В полевых записях удобно разделять три уровня утверждений.

«Я вижу» — это наблюдение. Например: «На северной стороне поваленной берёзы кора отслаивается, под ней много мелких ходов».

«Это может означать» — гипотеза. Например: «Древесина используется мелкими беспозвоночными и грибами, поэтому постепенно переходит в почву».

«Нужно проверить» — следующий шаг. Например: «Сравнить эту древесину с недавно упавшим стволом на сухом открытом месте».

Такой порядок защищает от поспешных выводов. Следы ходов действительно видны, но по одному признаку не всегда можно определить конкретный организм. Влажная почва может быть связана с рельефом, близостью грунтовых вод,

плотной подстилкой или недавним дождём. Наблюдение и объяснение должны оставаться разными строками.

Берёзовый увал: первый проход

Для дальнейших наблюдений возьмём рабочий участок, который обозначим как Берёзовый увал. Это не обязательное географическое название, а полевой материал книги: лесной склон с берёзами, отдельными елями и рябинами, зарослями черники, папоротниками, мхами и мёртвой древесиной. По краю проходит старая тропа, а ниже склон переходит в более влажное понижение.

Первый проход по такому участку легко провести по привычной схеме. Сначала взгляд цепляется за стволы. Берёзы задают общий облик, ели кажутся более тёмными пятнами, рябина выделяется тонкими стволами и перистыми листьями. Затем внимание опускается к земле: черника, папоротник, мох, сухие листья, ветки. Если с погодой повезёт, обнаружатся плодовые тела грибов. В стороне можно заметить примятую траву, следы копыт или расчищенный участок под деревом.

Так возникает перечень. Он уже лучше, чем общее впечатление «обычный смешанный лес», но пока ещё не объясняет устройство Берёзового увала.

Второй проход требует смотреть не на названия, а на положение.

Над головой находится верхний ярус: кроны берёз и елей. Они перехватывают часть солнечного света и осадков, за-

щищают пространство от ветра и формируют основной поток опада. Ниже располагается подлесок: молодые деревья, рябина, кустарники. Ещё ниже растут травы, папоротники и черника. У самой поверхности почвы лежат мхи, лишайники, опавшие листья, веточки и разлагающаяся древесина. Под этим слоем начинается почва с корнями, грибными нитями, мелкими животными, бактериями и минеральными частицами.

Ярус не похож на строгий этаж с ровной границей. Крона может опускаться низко, молодой клён занимать сразу несколько уровней, а упавшее дерево соединять пространство от верхнего полога до почвы. Ярусы нужны как способ заметить вертикальные отношения: кто создаёт тень, кто использует просачивающийся свет, кто живёт в опаде, кто связан с корнями и мёртвой древесиной.

Затем стоит посмотреть вдоль склона. Один и тот же лес окажется разбитым на участки с разным характером. На гребне суше и светлее. Под плотными кронами темнее. В понижении вода сохраняется дольше. Возле тропы почва плотнее, лиственный опад нарушен, а корни некоторых деревьев оголены. Там, где упала старая берёза, в пологе открывается окно. Рядом становится светлее, а сама древесина превращается в отдельную зону жизни.

Эта горизонтальная мозаика не просто украшает лес. Она распределяет ресурсы. Одно пятно получает больше света, но быстрее теряет воду; другое сохраняет влажность; третье

накапливает органику; четвёртое регулярно нарушается проходящими животными или людьми. Границы между пятнами часто заметнее, чем их центры: край окна в пологе, переход от сухого бугра к ложбине, граница между тропой и ненарушенной подстилкой.

Вертикальная структура и горизонтальная мозаика работают одновременно. Дерево в верхнем ярусе меняет условия под собой, а рельеф и влажность снизу влияют на то, какие деревья смогут занять этот участок. Поэтому лес нельзя полноценно описать ни движением сверху вниз, ни взглядом слева направо. Нужно соединить оба направления.

Два похожих места

Самая наглядная проверка происходит там, где два участка похожи по перечню видов. На Берёзовом увале можно выделить два квадрата примерно одинакового размера. В обоих обнаружены берёза, ель, рябина, черника, папоротники, мхи, муравьиные тропы и несколько групп грибов. Если вести только инвентаризацию, результаты почти совпадут.

Но первый квадрат расположен на более высокой части склона, рядом с тропой. Полог здесь разрежен: между кронами видны просветы. В полдень на землю попадает много прямого света, поверхность быстро нагревается, листовой опад сухой и легко рассыпается. Почва на тропе уплотнена, поэтому после дождя вода стекает по поверхности, а неравномерно проникает вниз. Мёртвой древесины мало: крупные ветви убраны или унесены, небольшие фрагменты лежат от-

дельно.

Второй квадрат находится ниже, в неглубоком понижении. В нём растут те же основные виды, но кроны сомкнуты плотнее. Свет приходит пятнами, влажная подстилка сохраняется дольше, мох не пересыхает так быстро. На земле лежат несколько стволов разного размера: один почти целый, другой уже мягкий и покрыт грибными структурами, третий распался на тёмные фрагменты. Вода собирается в небольших углублениях и медленнее уходит по склону.

Разница проявляется не в списке, а в отношениях.

В первом квадрате берёза формирует открытое световое пятно, но одновременно усиливает испарение с поверхности и оставляет почву уязвимой перед пересыханием. Уплотнённая тропа направляет воду в сторону. Корни у поверхности чаще сталкиваются с нехваткой влаги, а всходам сложнее закрепиться там, где нарушен рыхлый слой.

Во втором квадрате плотный полог уменьшает прямой нагрев почвы. Мёртвая древесина удерживает влагу и создаёт неоднородные укрытия. Разлагающиеся стволы постепенно становятся частью почвы, но процесс зависит от температуры, влажности и состава древесины. Растения получают не готовую пищу непосредственно из лежащего бревна, а участвуют в более длинной цепочке переработки: грибы и микроорганизмы изменяют органический материал, мелкие животные измельчают его, вода переносит растворимые вещества, а корни используют доступные соединения.

На бумаге оба квадрата могут получить одинаковый набор отметок. В реальности они поддерживают разные режимы жизни.

В первом квадрате поток света сильнее и резче. Вода приходит порциями и быстрее уходит. Углерод, накопленный в листьях и древесине, после опада быстрее попадает в сухую подстилку, но дальнейшая переработка зависит от того, хватает ли влаги. Минеральные вещества могут переноситься поверхностным стоком, особенно если почва нарушена.

Во втором квадрате свет рассеянный, вода задерживается дольше, а углерод распределён не только в живых стволах и листьях, но и в подстилке, мёртвой древесине и верхнем слое почвы. Минеральные вещества возвращаются в почвенный раствор по мере разложения, задерживаются органикой и снова захватываются корнями. Этот процесс не обязательно происходит быстро, зато у него больше промежуточных мест и путей.

Нельзя объявить один квадрат хорошим, а другой плохим. Открытое сухое пятно может быть необходимо видам, которым нужен свет, и служить местом прорастания после нарушения полога. Влажное понижение способно поддерживать больше связей, но при этом быть уязвимым к вытаптыванию. Оценка зависит от вопроса: нас интересует устойчивость к засухе, обновление деревьев, сохранение почвы, разнообразие укрытий или скорость переработки опада?

Смысл сравнения в другом: одинаковые участники могут

быть включены в разные системы.

Четыре потока, которые нельзя увидеть одним взглядом

Лесная сеть держится не только на перемещении организмов. Через неё проходят свет, вода, углерод и минеральные вещества. Эти потоки связаны, но не совпадают.

Свет входит в систему сверху. Кроны перехватывают его, листья используют энергию для образования органического вещества, а оставшаяся часть проходит в нижние ярусы или отражается. Плотность полога создаёт пятнистый рисунок: под одной кроной темно, а через несколько метров появляется яркое окно. Листья, ветви и стволы не просто занимают место, они меняют количество и качество света для всего, что находится ниже.

Наблюдать свет можно без приборов. Достаточно отметить, где в течение прогулки есть прямые солнечные пятна, где сохраняется рассеянный свет, а где стоит полная тень. Но один замер не даёт полной картины: положение солнца меняется, облачность меняется, листья появляются и опадают. В поле честнее записывать время и условия: «около полудня, ясная погода, световые пятна на моховом покрове» или «утро после дождя, полог сомкнут, прямого света не видно».

Вода движется сложнее. Часть дождя задерживается на листьях и ветвях. Часть проходит через крону крупными каплями, часть стекает по стволам. На земле вода задерживается в подстилке, впитывается в почву, уходит глубже или

движется поверхностно по склону. Растения возвращают её в атмосферу через испарение с поверхности листьев. Мох, рыхлый опад и древесина могут служить временными накопителями.

Следы воды особенно заметны после дождя. На тропе появляются блестящие полосы стока, у корней образуются промоины, в понижении задерживаются лужи, а на сухом бугре поверхность быстро светлеет. Если наблюдать тот же участок через несколько часов и на следующий день, карта влажности станет точнее.

Углерод поступает в лес прежде всего через фотосинтез. Он оказывается в листьях, стволах, корнях и плодах, а затем переходит в опад, мёртвую древесину, почву и тела животных. При дыхании организмов и разложении органики часть углерода возвращается в атмосферу. Поэтому поваленное дерево не выпадает из системы: оно меняет форму хранения углерода и становится средой для новых процессов.

Минеральные вещества приходят из почвы и материнской породы, перемещаются с водой, попадают в растения, а затем возвращаются с листьями, ветвями, экскрементами и останками. Грибы и микроорганизмы участвуют в превращении сложных органических соединений. Корни, особенно при сотрудничестве с грибными симбионтами, получают доступ к ресурсам почвы на разных участках. Часть веществ может вымываться или уноситься эрозией, особенно там, где нарушен почвенный покров.

Эти потоки встречаются в конкретных точках. Крона меняет световой и дождевой режим. Листовой опад связывает углерод, воду и минеральные вещества. Корень соединяет живое дерево с почвой. Поваленный ствол соединяет верхний ярус, поверхность земли, грибную сеть и будущий гумус. След животного может нарушить подстилку, перенести семена или открыть участок почвы для прорастания.

Слово «поддерживают» здесь не означает постоянную гармонию. В лесу есть конкуренция за свет, воду и пространство, поедание, паразитирование и вытеснение. Сеть сохраняется не потому, что все участники действуют согласованно, а потому, что множество процессов связывает их в общую систему. Повреждение одного элемента может изменить условия для других, но результат не всегда одинаков: иногда открывается новая возможность, иногда рушится важная связь.

Карта связей Берёзового увала

Чтобы не вернуться к простому списку, нанесите участок на схему. Точная геодезическая карта не требуется. Подойдёт лист бумаги с условным контуром, направлением склона и несколькими ориентирами.

Сначала отметьте не все виды, а ключевые зоны. Нарисуйте верхнюю часть склона, понижение, тропу, крупную берёзу, плотный участок полога и поваленный ствол. Затем добавьте пять типов признаков.

Первый признак — ярусы. Отметьте, где находится со-

мкнутый верхний полог, где открывается просвет, где начинается подлесок, где доминируют травы, черника или папоротники, где лежат мох и толстый опад. Если дерево или поваленный ствол связывает несколько уровней, проведите его через границы, а не помещайте только в один слой.

Второй признак — мозаика. Обозначьте сухие и влажные пятна, светлые окна, плотную тень, участки с мёртвой древесиной, тропу и ненарушенную подстилку. Особенно полезно отмечать переходы: край тропы, границу тени, место, где склон становится положе, начало понижения.

Третий признак — свет. Не пытайтесь изображать абстрактную освещённость. Запишите, где есть прямой свет, где рассеянный, где видны короткие солнечные пятна, а где даже в ясную погоду сохраняется тень. Добавьте время наблюдения.

Четвёртый признак — вода. Покажите направление склона стрелкой. Отметьте следы стока, влажные углубления, сухие приподнятые места, плотный опад, который удерживает воду, и участки, где вода, вероятно, уходит быстрее. Слово «вероятно» здесь оправданно: по одному сухому дню нельзя точно восстановить весь режим.

Пятый признак — следы переработки органики. Ищите не только грибы. Подойдут измельчённые листья, потемневшая рыхлая подстилка, ходы в древесине, фрагменты коры, мягкие участки бревна, грибные нити на поверхности, мелкие отверстия, остатки плодов, помёт и места, где органиче-

ский материал перемешан с почвой. Не нужно определять всех участников процесса. Достаточно зафиксировать, что материал меняется и где это происходит активнее.

После этого добавьте стрелки потоков. От кроны к земле направьте стрелку опада. От склона к понижению — стрелку поверхностного стока. От поваленного ствола к участку рыхлой тёмной почвы — стрелку возможного перехода органического вещества. От плотной тени к моховому покрову можно провести не стрелку причины, а пунктирную связь с пометкой «условие». От тропы к промоине — связь «уплотнение — сток», если её подтверждают наблюдения после дождя.

Такая карта должна содержать три типа обозначений: что находится на участке, какие условия создаются и какие связи предполагаются. Если все линии нарисованы одинаково, схема быстро станет непонятной. Разделяйте обозначения хотя бы визуально: сплошной линией отмечайте наблюдаемое, пунктиром — гипотезу, стрелкой — направление потока.

Первые записи лучше делать короткими, но точными. Например:

«У верхней кромки участка полог разрежен, прямой свет попадает на землю, подстилка сухая и тонкая».

«В понижении тот же набор основных растений, но мох сплошнее, листья влажные, рядом лежат три ствола на разных стадиях разрушения».

«На тропе почва плотная, между корнями видны промо-

ины; после дождя вода движется вниз по поверхности».

«На старой берёзе кора отслаивается, древесина мягкая, есть мелкие отверстия и тёмные фрагменты вокруг».

В этих записях нет попытки сразу объяснить всё. Но уже видны ярусы, мозаика, свет, вода и переработка органики. Список видов остаётся в тетради, однако перестаёт быть главным результатом.

Короткая полевая проверка

Выберите участок размером примерно десять на десять шагов. Не обязательно измерять его рулеткой: важнее сохранять одинаковый масштаб при сравнении. Лучше работать там, где есть хотя бы два контрастных места: например, край тропы и соседняя ненарушенная часть, бугор и понижение, световое окно и плотная тень.

Сначала в течение нескольких минут ничего не собирайте и не переворачивайте. Просто определите границы, направление склона и основные пятна.

Затем составьте два списка. В первом запишите виды или группы организмов, которые удалось распознать. Во втором — условия и следы: свет, влажность, плотность почвы, толщину опада, мёртвую древесину, ходы, промоины, следы животных и переходы между ярусами.

Теперь сравните два соседних пятна с одинаковым или похожим набором видов. Для каждого запишите по одной фразе:

«Здесь свет распределён так...»

«Здесь вода, вероятно, движется так...»

«Здесь органический материал перерабатывается заметно по таким следам...»

«Связь между верхним ярусом и почвой может проходить через...»

Последнюю фразу формулируйте осторожно. Если под конкретной берёзой видны листья, можно говорить об источнике опада. Если рядом с бревном влажнее, можно предположить, что оно удерживает воду, но проверить это лучше сравнением нескольких точек.

Закончите упражнение одним вопросом для следующего выхода. Например: «Сохраняется ли влажность у этого ствола через два дня без дождя?» или «Появляется ли больше всходов на границе светового окна?» Хорошая карта не закрывает исследование, а показывает, что проверять дальше.

Ошибки первого взгляда

Самая распространённая ошибка — считать полный список завершённым описанием. Исправление простое: после каждого списка добавляйте карту расположения и условий. Для каждого заметного вида спрашивайте не только «что это?», но и «в каком ярусе он находится?», «на каком пятне растёт?», «какой ресурс использует или меняет?».

Вторая ошибка — наблюдать только середину участка. Центр часто выглядит наиболее однородным и потому вводит в заблуждение. Сеть становится видимой на краях: у поваленного дерева, вдоль тропы, на границе света и тени, у

перехода склона в понижение. Если времени мало, лучше пройти два коротких маршрута по границам, чем долго изучать один спокойный центр.

Третья ошибка — считать больше света безусловным преимуществом. Свет увеличивает возможности фотосинтеза, но часто сопровождается нагревом и потерей воды. Для одного растения открытое пятно подходит, для другого оно слишком сухое. В записи нужно отделять ресурс от его цены: «света больше, влажность ниже».

Четвёртая ошибка — воспринимать мёртвую древесину как беспорядок, который мешает лесу. Она действительно может преграждать путь или создавать опасность на тропе, но экологически это не пустой материал. В ней удерживается вода, живут беспозвоночные, развиваются грибы, формируются участки для мхов и проростков. При уборке всех упавших стволов исчезают не отдельные предметы, а целая группа промежуточных связей.

Пятая ошибка — называть причину там, где виден только результат. Сухая трава около тропы может быть следствием уплотнения, нехватки воды, вытаптывания, особенностей почвы или сочетания факторов. Запись «трава погибла из-за людей» слабее, чем «вдоль тропы почва плотнее, подстилка нарушена, вода стекает полосой; возможна связь с вытаптыванием». Вторая формулировка оставляет место для проверки.

Шестая ошибка — забывать о времени. Лесной участок

после дождя и тот же участок через неделю засухи выглядят как разные системы. Листья появляются и опадают, травы отмирают, грибы образуют плодовые тела на короткий срок, животные меняют маршруты. Поэтому дата, погода и время суток — не бюрократическая добавка, а часть карты.

Проверка списка видов на прочность в Берёзовом увале даёт простой результат. Перечень сообщает, кто присутствует, но не объясняет, почему именно эти организмы сохраняются рядом и что изменится при исчезновении тени, воды или мёртвой древесины. Для этого нужны положение, поток и связь.

Первое системное описание участка можно собрать из пяти наблюдаемых признаков: ярусов, горизонтальной мозаики, света, воды и следов переработки органики. Если добавить к ним стрелки между источниками и получателями ресурсов, лес начинает читаться как сеть. Следующий шаг — приблизиться к главному узлу этой сети и рассмотреть дерево не как фон для остальных процессов, а как участника, который одновременно создаёт среду, получает ресурсы и перерабатывает их дальше.

Дерево как узел, а не одиночка

На расстоянии нескольких шагов дерево легко превратить в диагноз. На стволе видна продольная трещина, на нижней ветви — сухой сучок, кору покрывает лишайник, у корневой шейки заметны следы погрыза, а крона редет с одной стороны. Первый вывод напрашивается сам: дерево больно, его нужно убрать, а заодно проверить соседние.

С точки зрения безопасности такой вывод может оказаться верным, но для объяснения происходящего в лесу его почти всегда недостаточно. Лес раскрывается через ярусы, мозаику света и воды, движение органического материала и связи между живыми организмами. Теперь взгляд нужно сузить до одного дерева, не выпуская из него окружающее пространство. Отдельное дерево не выпадает из сети связей только потому, что мы рассматриваем его ствол крупным планом.

Один ствол, пять быстрых вердиктов

Миф первый: дерево живёт само по себе

У дерева есть собственная крона, ствол и корни, поэтому его удобно считать отдельным организмом, который получает воду из почвы, а свет — сверху. Но это лишь внутренний контур его жизни. Доступ к воде и минеральным элементам зависит от состояния почвы, развитие кроны — от положения в пологе, а рост корней ограничивают соседние расте-

ния, камни, уплотнённые участки и сезонная влажность.

Пространство вокруг даёт дереву не только ресурсы. Оно защищает его от ветра, приносит тень в жаркий период, удерживает снег, создаёт подходящее соседство корней и поддерживает почвенные организмы. В то же время дерево само меняет окружающие условия: задерживает осадки, отбрасывает тень, удерживает опад, укрепляет почву корнями и оставляет после себя ветви, кору, семена и древесину.

Миф второй: лишайник, трещина или сухая ветвь сами по себе доказывают болезнь

Лишайник может быть связан с возрастом коры, освещённостью, влажностью воздуха и тем, насколько медленно обновляется поверхность ствола. Универсальным признаком неблагополучия дерева он не является. Сухая ветвь бывает следствием затенения, естественного отмирания нижних ветвей, механического повреждения, засухи или поражения тканей. Продольная трещина может появиться после морозного повреждения, резкого нагревания коры, перегрузки ветвями, удара или внутреннего разрушения древесины.

Эти признаки нельзя игнорировать, особенно если дерево стоит рядом с тропой или дорогой. Но превращать каждый из них в окончательный диагноз тоже не следует. Один и тот же внешний симптом требует разных действий в зависимости от его расположения, давности и сочетания с другими признаками.

Миф третий: крупное дерево только забирает ресурсы

Большое дерево действительно потребляет много воды и света. Оно может затенять подрост, ограничивать рост соседних растений и занимать значительную площадь корневой системой. Но его роль не исчерпывается конкуренцией. Высокая крона снижает скорость ветра, тень уменьшает перегрев почвы, ствол поддерживает вертикальную структуру леса, а крупные ветви и полости становятся местами укрытия.

Старое дерево продолжает производить опад, семена и органические соединения, поступающие в почву через корни. После отмирания оно не исчезает из леса: мёртвый ствол становится субстратом для разложения, убежищем для животных и частью почвенного запаса углерода. Вопрос не в том, полезно крупное дерево или вредно, а в том, какие функции оно выполняет в конкретном месте и какие ограничения создаёт.

Миф четвёртый: одинаковый симптом означает одинаковую причину

Если у пяти деревьев редеют кроны, это ещё не значит, что у них одна болезнь. На открытом участке сходная форма кроны может возникнуть из-за ветра, у опушки — из-за резкого изменения освещения, в плотном молодняке — из-за нехватки света, возле дорожки — из-за уплотнения почвы. У деревьев одного возраста симптом может быть след-

ствием конкуренции, а у разновозрастной группы — старения отдельных экземпляров.

Причину определяет не только внешний вид дерева, но и рисунок признака на участке. Нужно смотреть, какие деревья поражены, где они расположены, на какой стороне кроны заметны изменения и после какого события появились.

Миф пятый: одно больное дерево объясняет неблагополучие всего леса

Видимый ствол притягивает внимание сильнее, чем невидимые изменения в почве и корнях. Поэтому одно дерево легко объявить источником проблемы: оно выглядит плохо — значит, из-за него плохо и соседям. Иногда дерево действительно становится очагом повреждения или распространения вредителя. Но нередко оно лишь первым показывает общий стресс участка: длительное переувлажнение, засуху, уплотнение почвы, ветровой удар, изменение уровня воды или старение древостоя.

Дерево может быть причиной, индикатором или одновременно и тем и другим. Пока эти роли не разделены, решение будет поспешным.

Модель дерева-узла

Дерево-узел — это отдельное дерево, рассматриваемое вместе с тем, что через него проходит и что оно меняет вокруг себя. Удобно осматривать его в четырёх масштабах: крона, ствол, корни и окружающее пространство. Ни один из них не даёт полного ответа, но последовательное сравнение

помогает отсеять самые простые ошибки.

Крона: поверхность обмена и запись истории

Крона — не просто зелёная часть дерева. Это поверхность, где дерево улавливает свет, испаряет воду, перехватывает осадки, формирует тень и производит органическое вещество. Её форма показывает, какое место дерево занимает в пологе. Пологом называют верхний слой сомкнутых крон, который определяет, сколько света и осадков проходит вниз.

На открытом участке крона обычно развивается свободнее, но одновременно получает большую ветровую нагрузку и быстрее теряет влагу. Дерево под плотным пологом может иметь зелёную верхнюю часть и почти полностью сухие нижние ветви: нижние ярусы получают мало света, и поддерживать их становится невыгодно. У опушки крона часто бывает односторонней: ветви растут в сторону свободного пространства, а со стороны леса остаются короткими и редкими.

Редкая крона может указывать на засуху, повреждение корней, недостаток света, старение, деятельность насекомых, поражение тканей или сочетание нескольких факторов. Чтобы различить эти объяснения, нужно смотреть не только на количество листьев или хвоинок, но и на рисунок повреждения.

Если крона редеет равномерно по всему объёму, проверяют состояние дерева целиком и сравнивают его с соседями того же вида и возраста. Если редеет одна сторона, ищут направление ветра, источник затенения, повреждение корней

или локальное изменение почвы. Если отмирают преимущественно нижние ветви, вероятно нехватка света, но этот вывод нужно сопоставить с плотностью полога. Если сохнет верхушка, перечень гипотез будет другим: повреждение проводящих тканей, засуха, мороз, насекомые или возрастная перестройка.

Один и тот же признак меняет значение в зависимости от места. Сухой сучок внутри густой кроны может быть частью естественного самоочищения, а крупная сухая ветвь над тропой становится отдельной задачей безопасности. В первом случае она участвует в формировании мёртвой древесины, во втором представляет риск для людей. Экологическая ценность и механическая опасность могут существовать одновременно.

Ствол: опора, проводник и среда обитания

Ствол удерживает крону, проводит воду вверх и органические вещества между корнями и надземными частями, запасает соединения и защищает внутренние ткани корой. Его поверхность связывает дерево с другими организмами: на ней поселяются лишайники, мхи, насекомые и микроорганизмы, а в трещинах и полостях находят укрытие животные.

При осмотре ствола полезно разделить четыре вопроса: где находится повреждение, насколько оно старое, затрагивает ли оно только кору или уходит в древесину и есть ли признаки продолжающегося разрушения. Валик нарастающей ткани по краям трещины говорит о том, что дерево дав-

но реагирует на повреждение, но автоматически не показывает, насколько оно устойчиво. Свежие опилки, рыхлая труха, отверстия, потёки, отслоение коры или плодовые тела грибов требуют отдельной проверки.

Трещина со стороны солнечного прогрева и трещина у места удара имеют разные вероятные причины. Полость в старом стволе может уменьшать механическую прочность, но одновременно создавать место для птиц, летучих мышей, насекомых и мелких животных. Полностью закрывать такие полости или без необходимости вычищать из них органический материал — значит уничтожать часть среды обитания. Если дерево расположено рядом с местом прохода, экологическое решение нужно дополнить оценкой риска падения ствола или ветви.

Ствол также хранит историю участка. Неровности роста, старые обломы, следы огня, заросшие повреждения и наклон показывают, что происходило с деревом раньше. Оно может выглядеть больным не потому, что неблагополучие возникло недавно, а потому, что несколько событий наложились друг на друга: вырубка соседей, резкое открытие пространства, засуха, повреждение корней и последующее зарастание молодняком.

Корни: невидимая часть узла

Корневая система выполняет несколько разных задач. Крупные корни закрепляют дерево, мелкие поглощают воду и растворённые элементы, более толстые участки могут за-

пасать вещества и проводить их к стволу. Корни также меняют структуру почвы: создают ходы, удерживают частицы, участвуют в образовании агрегатов и поддерживают связи дерева с почвенными организмами.

Граница между деревом и почвой проходит не по поверхности корня. На неё влияют влажность, доступ воздуха, температура, органический слой и живые сообщества вокруг корней. Поэтому дерево с неповреждённой корой может испытывать сильный стресс, если рядом проходила техника, постоянно ходят люди, снят слой подстилки или долго стоит вода.

Корневая зона нередко выходит за пределы проекции кроны. Уплотнение почвы далеко от ствола может повредить мелкие корни, даже если у основания дерево выглядит нормально. Обратная ситуация тоже возможна: влажный участок под одной частью кроны не компенсирует сухой или уплотнённый участок с другой стороны.

Корни нельзя диагностировать только по поверхности. Выводы строят по косвенным признакам: изменению прироста, состоянию кроны, трещинам почвы, появлению прикорневых побегов, застою воды, плотности грунта, видимому повреждению корневой шейки. Не следует без необходимости раскапывать корни или срезать их для проверки. Такое обследование само может ухудшить состояние дерева.

Пространство вокруг: соседи, воздух и опад

Четвёртый масштаб начинается с вопроса: где именно сто-

ит дерево? В центре сомкнутого леса, на опушке, в окне после падения крупного ствола, у дороги, в низине или на сухом склоне? Каждое из этих положений задаёт свой режим света, воды, ветра и температуры.

Под пологом обычно слабее ветер, меньше резких перепадов температуры и медленнее высыхает поверхность почвы. Но тень не означает постоянную влажность. Кроны задерживают часть осадков, а корни активно используют воду. Возле ствола вода может стекать по коре и концентрироваться в почве, тогда как в нескольких метрах от него поверхность остаётся сухой. На открытом участке осадков может попадать больше, но ветер и солнечный прогрев быстрее уносят влагу.

Соседство деревьев поэтому нельзя описать одним словом. Деревья конкурируют за свет, воду, пространство для корней и минеральные элементы. Одновременно они смягчают условия: уменьшают скорость ветра, удерживают снег, создают тень, поддерживают более ровную влажность и защищают молодые растения от резких перепадов температуры. Один и тот же сосед может усиливать конкуренцию летом и снижать перегрев в засушливый период.

Эффект зависит от расстояния, размера, вида, возраста и сезона. Высокая берёза может затенять молодую ель, но её опад и крона меняют почву и микроклимат вокруг. Плотная группа молодых деревьев расходует много воды, зато защищает внутреннюю часть участка от ветра. Дерево нельзя на-

звать «полезным соседом» или «вредным соседом» без уточнения, для кого и при каких условиях.

Микроклимат под пологом

Разница между открытым пространством и участком под кронами часто ощущается телом ещё до измерений. На ветру быстрее высыхают одежда и поверхность почвы, на солнце кора нагревается сильнее, а в плотной тени дольше сохраняется прохлада. Для дерева эти различия определяют скорость испарения воды, температуру тканей, доступность влаги и вероятность повреждения молодых побегов.

Микроклимат складывается не только из температуры воздуха. В него входят влажность почвы и воздуха, скорость ветра, освещённость, температура поверхности коры, длительность удержания снега и время высыхания опада. На небольшом участке эти параметры могут заметно различаться по сторонам одного дерева.

Если крона редет со стороны открытой поляны, причиной может быть ветровая и световая нагрузка. Если повреждение сосредоточено со стороны прохода, стоит проверить уплотнение почвы и травмирование корневой зоны. Если дерево растёт в низине и у него постепенно отмирают нижние ветви, причиной могут быть переувлажнение, недостаток воздуха в почве или нехватка света. Каждое объяснение нужно сопоставлять с расположением признака.

Возрастная структура: лес не должен состоять из ровесников

Участок, на котором растут деревья одинаковой высоты, выглядит аккуратно, но такая однородность делает лес уязвимым к одному и тому же событию. Засуха, сильный ветер или вредитель могут одновременно затронуть большую часть деревьев одного возраста и размера. В разновозрастном лесу одни деревья активно растут, другие формируют полог, третьи отмирают и переходят в запас мёртвой древесины.

Крупное дерево выполняет функции, которые молодой саженец не может быстро заменить. Его крона занимает большой объём, ствол создаёт вертикальную структуру, корни удерживают почву, а старые ветви и полости поддерживают особые места обитания. После падения такого дерева образуется окно света, меняется влажность, ускоряется рост подроста и начинается новый этап мозаики.

Это не значит, что крупное дерево всегда нужно сохранять на месте независимо от обстоятельств. Если оно угрожает людям, безопасность требует отдельной оценки. Но решение о спиле не должно строиться на представлении, будто старое дерево бесполезно или является источником всех проблем. Сначала нужно увидеть его роль в возрастной структуре участка и понять, что исчезнет вместе с ним.

Опад как продолжение жизни

После опадания листьев или хвои деятельность дерева не заканчивается. Опад включает листья, иголки, мелкие ветви, кусочки коры, плоды, семена и отмирающие корни. Он за-

держивает влагу, защищает поверхность почвы от удара дождевых капель, сглаживает температуру и становится материалом для работы разлагателей.

Качество опада различается у разных пород и меняется с возрастом листа, сезоном и условиями произрастания. Смешанный слой из листьев, хвои, веточек и древесных частиц создаёт неоднородную среду: где-то быстрее образуется рыхлый гумус, где-то долго сохраняется сухой грубый материал, а где-то формируется подходящее место для прорастания семян.

Опад одного дерева редко остаётся строго под его кроной. Ветер переносит листья и семена, вода перемещает мелкие частицы по склону, животные растаскивают плоды и ветви. Поэтому дерево воздействует на соседей не только тенью и корнями, но и материалом, который поступает на почву и постепенно возвращает в неё элементы.

Сухая ветвь тоже становится частью этой цепочки. Пока она висит, она представляет риск, если расположена над тропой. После падения удерживает влагу, служит укрытием и постепенно превращается в почвенный материал. В лесу мёртвое не означает бесполезное. По мере разрушения роль материала меняется.

Один больной ствол против всей картины

Рассмотрим типичный полевой случай. На краю смешанного лесного участка растёт взрослая ель. Её крона заметно редее, особенно с одной стороны. На стволе есть про-

дольная трещина, нижняя ветвь сухая, кору покрывает лишайник. У корневой шейки видны неглубокие следы погрыза. Рядом проходит утоптанная тропа, за которой начинается открытое пространство. Первое впечатление почти вынуждает назвать ель больной и опасной для всего участка.

Диагностический разворот начинается с отказа от единственной причины.

Сначала крону осматривают на расстоянии. Она редкая неравномерно: со стороны открытого пространства ветвей меньше, а внутренняя часть кроны частично прикрыта соседними деревьями. Это меняет картину. Одно объяснение связано с ветром и перегревом открытой стороны, другое — с конкуренцией за свет со стороны леса. Ель нужно сравнить с другими взрослыми елями на опушке и внутри участка. Если редеют только деревья на краю, вероятен краевой эффект. Если похожее состояние наблюдается у елей в глубине, нужно искать общий фактор.

Затем рассматривают ствол. Трещина имеет старые уплотнённые края, рядом нет свежей осыпавшейся древесины. Это не доказывает, что она безопасна, но показывает: повреждение возникло не вчера. В нижней части ствола есть полость небольшого размера. Она может снижать прочность, а может уже служить укрытием для животных. Следы погрыза у основания говорят о присутствии животных, но сами по себе не объясняют редкую крону: повреждение поверхностное и не охватывает проводящие ткани.

Следующий шаг связан с корневой зоной. Сторона, обращённая к тропе, утоптана, поверхность почти лишена подстилки, вода после дождя задерживается в небольших углублениях. С другой стороны под кроной сохраняется слой хвои и листьев, почва рыхлее, встречаются мелкие корни и остатки ветвей. Возникают две рабочие гипотезы: часть корней испытывает недостаток воздуха из-за уплотнения, а другая часть получает более стабильные условия; одновременно открытая сторона подвергается ветровой нагрузке.

Пространство вокруг добавляет ещё один слой. Ель стоит не в центре старого леса, а на границе участка, сформировавшейся после прежнего нарушения. Рядом подрастают берёзы и молодые ели. Более высокие деревья ограничивают свет, а открытая сторона пропускает ветер. Дерево одновременно конкурирует с соседями за ресурсы и защищает внутреннюю часть участка от резких воздействий. Его положение нельзя описать просто как «плохое».

Микроклимат под его кроной отличается от пространства за тропой. В безветренный день под деревом дольше сохраняются прохлада и влажный слой опада. Ветви перехватывают осадки, ствол направляет часть воды вниз, а корни укрепляют почву. Даже редущая ель продолжает смягчать условия для подроста и почвенных организмов.

Возрастная структура показывает, почему дерево заметно сильнее молодых соседей. Это один из старших экземпляров на участке. Его падение освободит пространство, но одно-

временно уберёт крупный элемент полога, запас древесины, полость и постоянный источник опада. Молодые деревья не смогут сразу заменить эти функции. С другой стороны, если трещина угрожает проходящим по тропе людям, оставить дерево без оценки нельзя.

Итоговая формулировка будет точнее первоначального вердикта: ель испытывает сочетанный стресс, связанный с краевым положением, конкуренцией, состоянием почвы у тропы и возрастом; у неё есть отдельные признаки, требующие оценки механической устойчивости; при этом дерево продолжает поддерживать микроклимат, почву и местообитания вокруг себя. Оно не является универсальной причиной неблагополучия леса.

Чтобы проверить последнюю часть вывода, сравнивают не один ствол, а рисунок участка. Если редеют только деревья у тропы, главным подозрением становится уплотнение почвы. Если все ели на открытой границе имеют похожую форму, вероятны ветер и изменение освещения. Если одинаковые признаки есть у берёз, елей и осин по всей площади, нужно искать общий фактор: водный режим, загрязнение, повреждение почвы или погодное событие. Если страдает только одна ель, причины могут быть локальными: повреждение корней, старая травма, индивидуальный возраст или скрытое поражение древесины.

Карточка дерева-узла

Для полевого осмотра полезно вести не «паспорт болез-

ни», а многослойную карточку. Её задача — не выдать мгновенный диагноз, а сохранить связь между наблюдением, гипотезой и следующим действием.

В верхней части записывают дату, место, породу, примерный размер и положение дерева: центр участка, опушка, низина, склон, край тропы или окно в пологе. Фотография должна включать не только ствол крупным планом, но и дерево целиком вместе с соседями.

Состояние кроны описывают отдельно: густая она или редкая, симметрична или односторонняя, какие ветви отмирают, есть ли свежий прирост, где находятся повреждения. Формулировка «крона больная» бесполезна. А запись «верхняя часть зелёная, нижние ветви сухие, редение сильнее со стороны поляны» уже позволяет проверять объяснения.

Для ствола отмечают трещины, полости, отслоения коры, следы огня, отверстия, опилки, потёки и плодовые тела. У каждого признака фиксируют сторону, высоту и примерную давность. Не нужно сдирать кору, расширять отверстие или вынимать труху: наблюдение не должно становиться новым повреждением.

В разделе корневой зоны описывают состояние корневой шейки, плотность поверхности, наличие подстилки, следы хождения и техники, лужи, сухие участки, выступающие корни и повреждение коры у основания. Отдельно отмечают, где почва мягче или плотнее по отношению к стволу. Полезно посмотреть не только на круг вокруг дерева, но и на уча-

сток за границей кроны.

В разделе соседства записывают, какие деревья находятся рядом, выше ли они, затеняют ли крону, одинаковы ли их симптомы, есть ли молодняк и мёртвые стволы. Отмечают открытые направления, ветер, следы вырубki, просеку, дорогу, водоём или склон. Это помогает увидеть историю участка, а не только его нынешний внешний вид.

Последняя часть посвящена тому, что дерево отдаёт обществу: опад, семена, тень, полости, сухие ветви, стоячую мёртвую древесину, корневую опору почвы. Здесь же фиксируют признаки животных: следы погрыза, отверстия, перья, помёт, норы, места кормёжки. Такие записи не отменяют оценки состояния, но не дают вычеркнуть дерево из леса только из-за его возраста или повреждений.

Проверка реальности занимает больше времени, чем быстрый вердикт, зато предотвращает лишние действия. Сначала дерево осматривают издалека, затем обходят ствол, после этого изучают корневую зону и только потом сравнивают его с несколькими соседями. Если при каждом новом масштабе появляется другое объяснение, это не повод запутаться. Это признак того, что дерево действительно является узлом, а не изолированным объектом.

Удобно разделять записи на три типа.

Наблюдение: на западной стороне кроны меньше ветвей; у тропы почва плотная; трещина имеет заросшие края.

Гипотеза: открытая сторона испытывает ветровую нагруз-

ку; корни у тропы повреждены уплотнением; трещина старая и требует проверки на механическую опасность.

Следующая проверка: сравнить с деревьями на той же опушке; оценить почву на другой стороне; определить, есть ли рыхлая древесина, свежие опилки или увеличение полости.

Такой порядок защищает от подмены фактов интерпретацией.

Если редет крона только у деревьев на опушке, сначала проверяют ветер, освещение и влажность, а не объявляют очаг болезни.

Если одинаковый симптом появляется у разных пород на участке с недавним уплотнением почвы, сначала изучают корневую зону и водный режим.

Если у одного дерева есть отверстия, опилки, потёки или быстро ухудшается состояние кроны, проверяют локальное повреждение ствола и корней, но не делают вывод о всём лесу.

Если сухая ветвь находится над тропой, оценивают риск её падения независимо от того, полезна ли она как мёртвая древесина.

Если полость или мёртвый ствол находятся вдали от людей и не создают угрозы, их экологическую функцию сохраняют, а не устраняют автоматически.

Это и есть зрелая диагностика: одна и та же деталь может требовать разных действий в зависимости от положения и

последствий.

Дерево нельзя объяснить только его болезнью или возрастом. Оно получает воду, свет, пространство, защиту и поддержку почвенной среды; отдаёт опад, тень, корневую структуру, полости, древесину и органические соединения; одновременно меняет влажность, температуру, ветер и доступность ресурсов для соседей. Его состояние складывается из собственной истории и истории участка.

Следующий шаг ведёт под землю. Там обнаружится посредник, который связывает корни с почвой, участвует в разложении опада и помогает переводить недоступные вещества в формы, пригодные для живых организмов. Чтобы понять, что именно происходит вокруг дерева-узла, нужно рассмотреть грибы не как случайный налёт или признак гнили, а как самостоятельную сеть посредников и партнёров.

Грибы: посредники, разлагатели, партнёры

Лес можно было бы принять за мир видимых форм: стволов, крон, травы, мха и следов животных. Но связи, от которых зависит состояние дерева, нередко начинаются там, где взгляд уже ничего не различает. После наблюдений за ярусами, светом, водой и обменом органического материала следующий шаг — опуститься к поверхности почвы и ниже. Именно там обнаруживается посредник, который связывает живые корни, мёртвую древесину и вещества, возвращающиеся в почву.

На лесной подстилке появляется гриб. Иногда это плотная полка на стволе, иногда тонкая ножка со шляпкой, иногда почти незаметная бурая корочка. На несколько дней или недель у наблюдателя возникает соблазн решить, что найденный гриб и есть главное событие. Если рядом растёт дерево, легко сразу предположить: гриб либо помогает ему, либо губит его. Но плодовое тело — лишь недолго живущая, видимая часть процесса. Под землёй и внутри древесины работа могла идти месяцами или годами, а сам гриб может оказаться не причиной наблюдаемого состояния, а его следствием.

Чтобы читать грибные сигналы без романтической дымки, удобно различать три основные роли: партнёр, разлага-

тель и паразит. Это не три жёстких отдела, в которых каждый вид навсегда получает одну должность, а разные способы взаимодействия с ресурсами и живыми организмами. Один и тот же лесной участок может одновременно содержать грибы, которые обмениваются веществами с корнями, разрушают валежник, используют ослабленное дерево и участвуют в переработке его остатков после гибели.

Плодовое тело как верхушка скрытого процесса

Начнём с самого очевидного сигнала. Плодовое тело — структура, с помощью которой многие грибы образуют и распространяют споры. Грибница, или мицелий, представляет собой сеть тонких нитей — гиф. Она может находиться в почве, под корой, внутри древесины, в лесной подстилке или в тесном контакте с корнями. Плодовое тело возникает, когда условия позволяют грибу перейти к размножению: есть подходящий субстрат, достаточно влаги, подходящая температура и возможность завершить развитие.

Отсюда следуют четыре важных ограничения.

Первое: отсутствие плодового тела не доказывает отсутствия гриба. Мицелий может быть активен, но не образовывать видимую структуру. Особенно часто это происходит с микоризными грибами, значительная часть жизненного цикла которых проходит на корнях, а также с грибами, живущими в древесине.

Второе: большое плодовое тело не обязательно означает огромную или здоровую грибницу. Оно может быстро сфор-

мироваться на локальном запасе влаги и питательных веществ. Размер зависит от условий конкретного места и текущей фазы развития, а не только от общей протяжённости мицелия.

Третье: несколько плодовых тел рядом не обязательно принадлежат разным грибам. Они могут быть частями одной грибницы. Но верно и обратное: одинаковые на вид плодовые тела не подтверждают наличие общей грибницы. Для надёжного определения нужны более точные признаки, а иногда и лабораторный анализ.

Четвёртое: гриб на стволе не обязательно является причиной болезни дерева. Он может осваивать уже мёртвую ветвь, старую рану, отмершую сердцевину или древесину, ранее разрушенную другим организмом. Видимая находка иногда показывает не начало процесса, а его позднюю стадию.

Полевой сигнал: плодовое тело на почве рядом с деревом.

Что это может означать: микоризный гриб, разлагатель растительных остатков, гриб на погребённой древесине или случайный спороносный орган, появившийся после дождей.

Что делать: отметить точное положение, тип субстрата, расстояние до ствола, состояние ближайших деревьев и повторяемость находки. Не записывать сразу: «гриб помогает дереву» или «гриб поражает корни». Сначала нужно установить, с чем именно он связан: с живым корнем, мёртвой древесиной или почвенной подстилкой.

Полевой сигнал: плодовое тело на живом стволе или у ос-

нования дерева.

Что это может означать: разложение наружной мёртвой древесины, развитие внутри ствола, освоение корневой шейки или старой раны. В одном месте могут сочетаться несколько процессов.

Что делать: осмотреть кору вокруг находки, проверить наличие трещин, потёков, отслаивающихся участков, усыхающих ветвей, наклона дерева и полостей. Для оценки опасности важен не сам гриб, а потеря прочности древесины и состояние корней. В парке или рядом с дорогой такое дерево требует осмотра специалистом по состоянию насаждений. Срезать плодовое тело как «лечение» бессмысленно.

Микориза: обмен, а не бесплатная услуга

Микоризой называют устойчивое тесное взаимодействие мицелия с корнями растения. Гриб получает от растения органические соединения, прежде всего углеродные продукты фотосинтеза. В обмен он может расширять доступ корней к воде и минеральным элементам, особенно к фосфору, азоту и некоторым микроэлементам. Грибные гифы тоньше корней и способны проникать в поры почвы, куда крупные корневые окончания не входят. Кроме того, они увеличивают площадь контакта с почвенными частицами.

Это не значит, что гриб бескорыстно «кормит» дерево. Углерод растения — плата за поддержание партнёрства. Дерево, в свою очередь, получает не абстрактную заботу, а конкретный ресурс при конкретных условиях. Если в почве до-

статочно доступного фосфора, вода не ограничивает рост, корни здоровы, а гриб получает много углерода, выгода от микоризы может быть небольшой. Внесённые извне питательные вещества иногда меняют баланс и снижают зависимость растения от грибного партнёра. При сильном стрессе обмен тоже может нарушаться.

У древесных пород особенно заметны два крупных типа микоризных взаимодействий.

Эктомикориза образует вокруг тонких корней грибную оболочку, или мантию, а гифы проникают между клетками наружных тканей корня, не разрушая их. От корня отходят нити, уходящие в почву. При внимательном осмотре тонкие корешки могут выглядеть утолщёнными, разветвлёнными, покрытыми беловатым, желтоватым, бурым или почти чёрным налётом. Но цвет сам по себе ничего не доказывает: корни бывают окрашены частицами почвы, поражены плесенью или просто покрыты органическим мусором.

Арбускулярная микориза устроена иначе. Гифы входят внутрь клеток коры корня и образуют там разветвлённые структуры — арбускулы. Через них происходит обмен веществ. Такие структуры не видны невооружённым глазом как «грибной чехол»; обычно их выявляют после специальной обработки корней и микроскопии. Поэтому утверждение «на корне нет белой оболочки, значит, микоризы нет» ошибочно.

Микоризные связи неодинаковы для всех деревьев, гри-

бов и участков. Один гриб может взаимодействовать с несколькими видами растений, но качество обмена будет различаться. Некоторые грибы особенно часто связаны с определёнными древесными породами или группами пород. Молодой сеянец, взрослое дерево и старый ослабленный экземпляр также могут иметь разные грибные сообщества. Состав партнёров зависит от кислотности почвы, влажности, температуры, подстилки, истории участка, соседства других растений и степени нарушения почвы.

Полевой сигнал: тонкие корешки с плотной оболочкой и множеством отходящих нитей.

Что это может означать: вероятное присутствие эктомикоризного взаимодействия. Такой признак весомее, чем просто обнаружение гриба на поверхности, поскольку связь с корнем наблюдается непосредственно.

Что делать: не выдёргивать корни из-под каждого дерева. Для полевого описания достаточно взять небольшой образец из уже нарушенного участка — например, с края обнажения после дождя или из рыхлой подстилки, не разрушая корневую систему. Записать породу дерева, глубину, влажность, вид корешка и расположение мицелия. Для точного определения партнёра нужны микроскопия или молекулярный анализ.

Полевой сигнал: дерево растёт на бедном, сухом или крупнозернистом субстрате, но сохраняет рост и имеет развитые тонкие корни.

Что это может означать: микориза способна помогать извлекать воду и элементы питания из объёма почвы, который обычным корням доступен хуже. Но это не единственное объяснение. У дерева могут быть глубокие корни, подходящая породная адаптация, запас влаги в нижних слоях или благоприятный микроклимат.

Что делать: не приписывать устойчивость одному грибному партнёру. Сопоставить её с глубиной почвы, рельефом, затенением, уплотнением и состоянием листвы. Сеть работает не отдельно от участка, а внутри его физических условий.

Полевой сигнал: после внесения большого количества минеральных удобрений или полива дерево резко меняет рост, а грибные признаки становятся менее заметными.

Что это может означать: изменилась цена и выгода обмена. Растение получило часть веществ напрямую и может перераспределять меньше углерода в микоризу. Это не доказывает, что грибы исчезли или стали вредными.

Что делать: рассматривать удобрение как изменение всей системы, а не как «питание дерева» при сохранении прежней сети. Избыток доступных соединений способен менять состав почвенных микроорганизмов, рост корней и скорость разложения подстилки. Оценивать нужно не только цвет листьев, но и долгосрочное состояние почвы.

Микориза не является универсальной трубой

Популярное описание подземной грибной сети часто превращает лес в систему, где зрелые деревья передают моло-

дым питание, предупреждают соседей об опасности и направляют помощь туда, где она нужнее всего. В этой картине есть реальные наблюдения, но выводы нередко выходят за пределы, дозволенные данными.

Через грибные гифы действительно может происходить перемещение некоторых соединений между участками почвы, корнями и растениями. Эксперименты с метками показывают, что углерод или минеральные вещества способны переходить по системе контактов. Однако сам факт перемещения ещё не означает управляемой благотворительной передачи. Нужно выяснить, кто передал вещество, в каком количестве, при каких условиях, получил ли что-то взамен и повлияло ли это на рост или выживание растения.

Растения не являются пассивными контейнерами, соединёнными общей проводкой. У каждого дерева есть собственная корневая система, сосудистые ткани, запасы углерода и способы регулировать обмен. Гифы тоже не образуют единую бесперебойную сеть всего леса. Они конкурируют, обрываются, меняют активность и зависят от доступности субстрата. Контакт двух корней через грибницу не гарантирует интенсивного обмена, а общий грибной партнёр не превращает несколько деревьев в единый организм.

Полевую проверку здесь удобно строить вокруг трёх вопросов.

Первый: обнаружен ли физический контакт между корнями и грибными гифами?

Второй: показано ли перемещение вещества от одного растения к другому?

Третий: доказано ли, что это перемещение изменило состояние получателя?

Если есть только первый ответ, речь идёт о потенциальном пути, а не о доказанной передаче помощи. Если есть первые два, но нет третьего, можно говорить о переносе вещества, но не о его значимом эффекте. Такой порядок вопросов возвращает наблюдение из области легенды в область проверяемых процессов.

Грибы-разлагатели: когда древесина становится почвой

После гибели ветви или дерева древесина не исчезает сразу. Она проходит через последовательность изменений, в которой участвуют грибы, бактерии, беспозвоночные, вода, температура и механическое разрушение. Грибы здесь действуют как химические инженеры: выделяют ферменты, разрушающие сложные соединения клеточных стенок, и превращают крупные молекулы в более доступные формы.

Древесина состоит не из одного материала. Целлюлоза и гемицеллюлозы образуют углеводную основу, а лигнин придаёт прочность и связывает структуру. Одни грибы особенно эффективно разрушают лигнин и оставляют более светлые, волокнистые остатки. Такой тип разрушения часто называют белой гнилью. Другие преимущественно разрушают целлюлозу и гемицеллюлозы, после чего древесина становится

бурой, ломкой и распадается на кубические фрагменты. Это характерно для бурой гнили. Названия описывают тип разрушения, а не дают универсальный диагноз по цвету.

Полевой сигнал: древесина стала мягкой, волокнистой, легко распадается пальцами.

Что это может означать: активное разложение, часто с участием грибов, разрушающих разные компоненты клеточных стенок. Но мягкость также усиливается переувлажнением, деятельностью насекомых и механическим распадом.

Что делать: проверить, где именно расположена зона разрушения — в заболони, сердцевине, корневой шейке или старой ветви. Определить, сохраняет ли ствол несущую прочность. Для экологического описания участка записать породу древесины, диаметр, контакт с почвой, степень затенения и влажность. Для оценки безопасности не ограничиваться описанием гриба.

Полевой сигнал: на поверхности появляются глубокие трещины, древесина распадается на бурые кубики.

Что это может означать: вероятный процесс, при котором быстро теряются прочность и связность древесины. Особенно опасна такая зона в основании ствола или на крупной ветви над дорожкой.

Что делать: не ломать древесину для «проверки» возле людей и построек. Ограничить пребывание под подозрительной ветвью и обратиться к специалисту по обследованию дерева. В лесном массиве мёртвый ствол может быть ценным

местообитанием, но рядом с инфраструктурой критерий решения меняется: главным становится риск падения.

Полевой сигнал: валежник покрыт белыми нитями, налётом или тонкими корочками.

Что это может означать: мицелий разлагателя, но также поверхностный рост организмов на влажной древесине. Видимый налёт не показывает ни глубину проникновения, ни скорость разрушения.

Что делать: оценивать структуру материала. Если кора сохраняется, древесина под ней плотная, а трещины поверхностные, процесс может быть ранним. Если ствол пустеет, легко продавливается или имеет полости, разрушение зашло глубже. При этом отсутствие налёта не означает остановки: активный мицелий может находиться внутри.

Разлагатели превращают мёртвую древесину в набор соединений, которые затем используют другие организмы. Часть углерода уходит в атмосферу в ходе дыхания, часть остаётся в почве и подстилке, часть переходит в тела грибов, насекомых и других потребителей. Минеральные элементы освобождаются постепенно. Поэтому валежник — не просто склад мусора и не «потерянное» дерево. Он работает как медленный дозатор веществ, удерживает влагу, создаёт тень и предоставляет убежища.

Скорость разложения определяется не только видом гриба. На неё влияют диаметр ветви или ствола, контакт с землёй, содержание влаги, температура, доступ кислорода, хи-

мический состав древесины и история повреждений. Тонкая ветка, лежащая в тёплой влажной подстилке, исчезает иначе, чем толстый сухой ствол, поднятый над почвой. Одно и то же дерево после падения создаёт несколько микросред: верхнюю сухую поверхность, влажную нижнюю сторону, трещины, места соприкосновения с почвой и участки, заселённые насекомыми.

Сигнал участка: в лесу много древесины разных стадий распада.

Что это может означать: непрерывный поток ресурсов и убежищ. Грибам и другим разрушителям доступны свежие ветви, среднеразложившийся валежник и почти почвенный материал.

Что делать: сохранять часть мёртвой древесины там, где она не создаёт угрозы людям и не противоречит противопожарным требованиям. Оценивать лес не по отсутствию «неопрятных» стволов, а по разнообразию стадий разложения. Уборка всего валежника обрывает часть цепочки переработки.

Партнёр, разлагатель и паразит: где проходят границы

Партнёрство, разложение и паразитизм различаются тем, откуда гриб получает ресурсы и какова цена взаимодействия для растения. При взаимовыгодном обмене растение и гриб получают чистую или условную выгоду. При разложении гриб использует уже мёртвый органический материал. При

паразитизме он извлекает ресурсы из живого хозяина, снижая его состояние или повреждая ткани.

Но лесные процессы не укладываются в три неподвижные коробки.

Микоризный гриб получает углерод от живого растения и отдаёт ему минеральные вещества или воду. Это партнёрство, но выгода может быть неравной. В определённой почве гриб способен получать много углерода, а отдавать мало полезных соединений. Для дерева такой контакт становится затратным или почти нейтральным. Биологическое название взаимодействия не отменяет его экономической стороны.

Гриб, обычно связанный с живыми корнями, может осваивать отмершие участки, если они появились после повреждения. Гриб-разлагатель способен поселиться на живой ветви, если там уже есть рана, засуха, морозобоина или другой источник ослабления. Некоторые организмы долго находятся внутри живых тканей без заметных симптомов, а затем проявляют патогенные свойства при изменении условий. Такие формы называют эндофитными или скрытыми взаимодействиями; их результат зависит от состояния хозяина и среды.

Паразитизм тоже не всегда выглядит как быстрое убийство. Дерево может годами сохранять крону, компенсируя потерю части корней или древесины. Видимые симптомы появятся лишь после засухи, уплотнения почвы, повторного повреждения или снижения запаса углерода. Поэтому мо-

мент обнаружения гриба и момент начала его воздействия могут быть разделены годами.

Полевой сигнал: гриб обнаружен на ослабленном дереве после засухи, затопления или повреждения коры.

Что это может означать: первичное поражение, вторичное заселение уже ослабленных тканей или обычное разложение мёртвого участка. Одно наблюдение не позволяет различить эти варианты.

Что делать: восстановить последовательность событий. Были ли сначала трещины, облом ветви, подмыв корней, уплотнение почвы или засуха? Появилось ли усыхание до плодового тела или после? Есть ли аналогичные симптомы у деревьев той же породы на похожем микрорельефе? Хронология часто полезнее, чем попытка угадать роль гриба по внешнему виду.

Полевой сигнал: поредение кроны, мелкие листья, преждевременное пожелтение, отмирание ветвей.

Что это может означать: проблемы с корнями, недостаток воды, повреждение проводящих тканей, насекомые, загрязнение, уплотнение почвы, инфекция или их сочетание. Гриб на стволе может быть лишь одним звеном цепи.

Что делать: осмотреть не только ствол, но и приствольную площадь. Ищите корни, выступающие из уплотнённой земли, следы засыпки, стоянки техники, постоянное переувлажнение и повреждение корневой шейки. Если симптомы распределены по нескольким деревьям одного возраста и поро-

ды, ищите общий фактор участка.

Полевой сигнал: плодовые тела появляются на одном дереве несколько лет подряд.

Что это может означать: устойчивый источник субстрата и повторяющееся спороношение. Если плодовые тела находятся у основания или на крупных ветвях, это повышает вероятность длительного процесса в древесине, но автоматически не показывает степень разрушения.

Что делать: отмечать размер, форму и положение плодовых тел каждый сезон. Сопоставлять изменения с ростом трещин, усыханием кроны и потерей прочности. Для решения о спиле или сохранении дерева нужен осмотр всей конструкции, а не календарь появления грибов.

Один грибной сигнал редко имеет единственное толкование. Надёжное чтение строится на сочетании трёх масштабов.

Масштаб организма: что происходит с плодовым телом, мицелием, корнем или древесиной?

Масштаб дерева: меняются ли крона, прирост, устойчивость и состояние корневой шейки?

Масштаб участка: каковы влажность, освещённость, история нарушений, количество валежника и состояние соседних деревьев?

Если эти уровни не совпадают, окончательный вывод лучше отложить. Например, гриб на сухой поваленной ветви при здоровой кроне и отсутствии повреждений у дерева, ско-

рее всего, говорит о разложении мёртвого материала. Тот же род грибов на корневой шейке дерева с постепенно редющей кроной требует более пристального внимания, но всё равно не даёт готового диагноза без исследования древесины и корней.

Специфичность связей: сеть не означает всеядность

Лесная сеть кажется универсальной, пока не начинаешь рассматривать конкретные пары и условия. Гриб не одинаково полезен для любого дерева. У растения есть предпочтения и ограничения, у гриба — собственный набор ферментов, способы добычи ресурсов и требования к среде.

Одни микоризные грибы образуют связи с широким кругом деревьев, другие тяготеют к определённым породам. Молодые деревья могут приобретать новых партнёров по мере роста. На участках после вырубki, пожара, вспашки или сильного уплотнения набор грибов меняется не мгновенно: часть мицелия гибнет, часть сохраняется в глубине или приходит со спорами, а новые связи зависят от того, какие растения способны закрепиться первыми.

Соседство дерева и гриба также не означает постоянного сотрудничества. При недостатке воды гриб может конкурировать с корнями за влагу. При избытке доступного азота меняются вложения растения в подземные партнёрства. При загрязнении или нарушении аэрации почвы чувствительные корни гибнут, даже если плодовые тела ещё сохраняются на

участке. Для микоризы важны не только наличие гриба и порода дерева, но и обмен, который реально происходит в данный момент.

Полевой сигнал: под деревом много плодовых тел, но дерево выглядит угнетённым.

Что это может означать: плодовые тела принадлежат разлагателям, паразитам, грибам на старой древесине или микоризным видам, чья связь не обеспечивает заметной выгоды. Обилие грибов не равно здоровью дерева.

Что делать: разделить находки по субстрату. Грибы на почве, валежнике, корнях и живом стволе записываются отдельно. Оценить прирост дерева, состояние кроны и почвы. Не использовать количество грибов как простой показатель плодородия или благополучия.

Полевой сигнал: после пересадки саженцы плохо приживаются, хотя полив регулярный.

Что это может означать: повреждение корней, неподходящий режим воды, перегрев почвы, уплотнение, слишком глубокая посадка, солевой стресс или отсутствие совместимых микоризных связей. Но последнее нельзя объявлять причиной, пока не исключены более простые факторы.

Что делать: сначала проверить глубину посадки, состояние корневого кома, дренаж, контакт с окружающей почвой и режим полива. Если дерево высаживают на участок с резко нарушенной почвой, микоризную поддержку можно рассматривать как часть комплексного восстановления, но не

как замену воде, воздуху и правильной посадке. Добавление случайного лесного грунта или грибов из неизвестного источника способно занести болезни и не гарантирует подходящего партнёра.

Схема полевого наблюдения

Чтобы не подменять данные впечатлением, запись можно строить по короткой схеме.

Где найдено: координата или понятное описание места, расстояние до ствола, положение на склоне.

На чём растёт: живой корень, мёртвая ветвь, валежник, почва, подстилка или кора.

Что видно: форма плодового тела, цвет, поверхность, размер, влажность, трещины, мягкость древесины.

Что происходит с деревом: состояние кроны, наличие свежего прироста, усыхание ветвей, повреждения коры, наклон и полости.

Что происходит с участком: уплотнение, переувлажнение, сухость, тень, следы техники, кострище, засыпка, большое количество валежника.

Степень уверенности: наблюдение, вероятное объяснение или гипотеза, требующая проверки.

Такая запись полезнее фразы «дерево поражено грибом». В ней виден путь от факта к предположению. Например: «На высоте около метра, на северной стороне ствола, найдено многолетнее плодовое тело; под ним кора отслаивается, в кроне заметно усыхание двух крупных ветвей, рядом поч-

ва уплотнена». Это наблюдение и контекст. Формулировка «гриб убивает дерево» — уже гипотеза, которую нужно подтверждать.

Алгоритм различения трёх ролей

Шаг первый. Определите субстрат.

Если гриб находится на мёртвой древесине, начните с версии о разложении. Если на живом корне, исследуйте микоризу или поражение корней. Если на живом стволе, учитывайте и разрушение тканей, и вторичное заселение повреждения.

Шаг второй. Проверьте состояние ткани.

Плотная древесина с поверхностным налётом и мягкая древесина с внутренними полостями — разные ситуации. У корней нужно различать живые светлые или упругие ткани, отмершие участки, запах, отслаивание коры и обрыв тонких корешков. Одного внешнего цвета недостаточно.

Шаг третий. Сопоставьте находку с состоянием хозяина.

Здоровая крона рядом с разлагающейся мёртвой ветвью поддерживает версию о сапротрофном процессе. Усыхание кроны, нарушение прироста и разрушение корневой шейки повышают необходимость обследования, но не называют виновника автоматически.

Шаг четвёртый. Восстановите время.

Что появилось раньше: повреждение дерева, усыхание, плодовое тело или размягчение древесины? Повторяется ли процесс? Усиливается ли он после дождей, засухи или механических работ? Временная последовательность помогает

отличить причину от следствия.

Шаг пятый. Разделите решение по задаче.

Для экологического описания важно сохранить мёртвую древесину и понять стадию разложения. Для ухода за городским деревом важнее безопасность людей и устойчивость конструкции. Для восстановления участка важны порода дерева, состояние почвы и возможность формирования подходящих корневых связей. Один и тот же грибной сигнал приводит к разным действиям в разных контекстах.

Схема проверки популярного утверждения

Когда встречается эффектная фраза о грибах, её можно разложить на четыре вопроса.

Что именно наблюдали? Не «грибы предупреждают деревья», а: «в эксперименте изменился химический сигнал в растении после повреждения соседнего растения».

В какой системе это показано? Горшок, стерильная камера, лабораторная культура и зрелый лес — не одно и то же.

Что перемещалось? Сигнал, вода, углерод, азот или только изменение роста?

Каков результат? Реальное повышение выживаемости, ускорение роста, изменение состава веществ или лишь статистически заметная перемена реакции?

Эта схема не обесценивает исследования. Она отделяет аккуратный вывод от образной упаковки. Научное наблюдение может быть интересным и без превращения грибницы в разумный коллектив.

Масштаб скрытой сети

Под землёй действительно переплетаются гифы, корни и частицы почвы. Они создают множество контактов, но сеть не равна единому организму. В ней есть конкуренция за углерод, разная скорость роста, локальные разрывы, отмирающие участки и неодинаковые направления обмена. Мицелий может быть одновременно инфраструктурой добычи ресурсов, местом взаимодействия и самим потребителем.

Для дерева грибной партнёр — часть системы обеспечения, но не замена корню. Для почвы гриб-разлагатель — ускоритель превращения древесины, но не единственный переработчик. Для мёртвого ствола гриб — один из тех, кто переводит плотную древесину в формы, доступные бактериям, беспозвоночным, растениям и самой почве. Для ослабленного дерева тот же мир грибов может включать патогенов, вторичных заселенцев и организмы, которые лишь используют уже возникшую трещину.

Поэтому хороший полевой вывод звучит не так: «грибы полезны лесу» или «грибы опасны деревьям». Точнее сказать: «на этом субстрате, при этих условиях и на данном масштабе наблюдается такой тип взаимодействия». Именно контекст превращает внешний сигнал в осмысленную информацию.

Шкала уверенности

Ниже — короткая карта утверждений, которые часто смешиваются в разговорах о грибах.

Грибы образуют плодовые тела. Непосредственно наблюдается видимая структура на почве, древесине или другом субстрате. Эксперименты подтверждают, что плодовые тела участвуют в образовании и распространении спор. Преувеличение начинается там, где плодовое тело принимают за весь гриб или за точную карту мицелия.

Гриб связан с корнем. Непосредственно наблюдается мицелий или изменённое корневое окончание, обнаруженное рядом с корнем или на нём. Исследования показывают, что микоризные связи могут обеспечивать обмен углерода, воды и минеральных веществ. Но любую грибницу рядом с деревом нельзя называть полезной микоризой.

Грибная сеть соединяет растения. Между корнями могут существовать гифальные контакты, а в некоторых системах вещества действительно перемещаются по таким путям. Однако любое соединение нельзя трактовать как управляемую передачу помощи всему лесу.

Гриб разрушает древесину. Непосредственно видны мягкость, растрескивание, волокнистый распад или образование бурых кубиков. Грибы выделяют ферменты и участвуют в переработке целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина. Но по одному цвету или налёту нельзя определить точную причину и глубину разрушения.

Гриб на живом дереве опасен. На стволе, корне или ветви обнаружено плодовое тело либо мицелий. Некоторые грибы действительно поражают живые ткани, другие использу-

ют уже мёртвые участки. Сам факт находки не доказывает, что именно этот гриб стал причиной усыхания.

Грибы передают деревьям информацию. Растения могут изменять химические и физиологические реакции при соседстве с повреждёнными растениями. Сигналы и обмен веществ изучаются в контролируемых опытах. Но лабораторный сигнал нельзя автоматически превращать в рассказ о едином разуме леса.

Много грибов означает здоровый лес. На участке действительно может быть много плодовых тел и разных форм мицелия, а разнообразие грибов часто связано с разнообразием субстратов и процессов. Но количество находок не служит простым рейтингом благополучия.

Главный инструмент здесь — не запоминание названий, а дисциплина масштаба. Плодовое тело показывает спороношение. Изменённая древесина — процесс разрушения. Микоризное окончание корня — тесную связь. Состояние кроны — ответ дерева. Почва и история участка объясняют, почему именно этот контакт возник или изменился.

Когда эти признаки собраны вместе, гриб перестаёт быть либо сказочным посредником, либо безусловным врагом. Он становится участником обмена, переработки и конкуренции. Иногда он поддерживает дерево, иногда извлекает из него ресурсы, а иногда просто приходит туда, где работа уже начата засухой, травмой или отмиранием ткани.

Подземная часть леса трудна для чтения ещё и потому,

что её результаты проявляются с задержкой. То, что сегодня видно на стволе, могло начаться в корнях несколько сезонов назад. То, что выглядит как исчезновение древесины, может быть продолжением долгой работы, начатой ещё при жизни дерева. Следующая задача — рассмотреть сам субстрат, который принимает все эти остатки и хранит следы прежних обменов: почву, её структуру, органические вещества, корни и память о нарушениях.

Почва, которая помнит всё

С поверхности лесной участок часто выглядит единым: одинаковый зелёный покров, похожие стволы, один ритм света и тени. Но стоит открыть лопатой небольшой вертикальный срез, и ровная картина распадается на последовательность слоёв. Под свежими листьями обнаруживается потемневшая подстилка, ниже лежит рыхлая масса с грибными нитями и мелкими корнями, а ещё глубже начинается минеральная почва. Её цвет, плотность и количество пор рассказывают о воде, воздухе и прошлых нарушениях.

После наблюдений за деревьями как узлами сети и грибами как посредниками становится видна ещё одна опора этой системы. Почва не просто удерживает корни. Она принимает опад, пропускает воду, хранит органическое вещество, даёт пространство микроорганизмам и одновременно записывает следы вытаптывания, работы техники, засухи и эрозии.

Разрез как способ чтения

Почвенный профиль лучше рассматривать не как набор учебных горизонтов, а как последовательность функций. Каждый слой отвечает на свой вопрос: что здесь разлагается, где удерживается вода, как проходит воздух, какие корни могут проникнуть внутрь и чем питается сообщество микроорганизмов.

Для наблюдения не нужна глубокая яма. Подойдёт есте-

ственный обрыв у лесной дороги, край канавы, старый корневой выворот или небольшой аккуратный срез в месте, где нет плотного травяного покрова и крупных корней. В заповеднике или на другом охраняемом участке не следует выкапывать профиль без разрешения. Даже в обычном лесу достаточно осмотреть уже открытый разрез или взять совсем немного почвы, не повреждая корневую систему.

Срез рассматривают сверху вниз. Сначала фиксируют поверхность: сплошная ли здесь подстилка, открыта ли минеральная земля, лежат ли ветки, видны ли корни, есть ли следы колёс или обуви. Затем изучают границы слоёв. Они могут быть плавными, когда один слой постепенно переходит в другой, или резкими, если природную структуру нарушили перемешивание, срез грунта, отсыпка либо эрозия.

На поверхности лежат недавно опавшие листья, хвоя, мелкие ветви и кусочки коры. Этот слой кажется мёртвым только при беглом взгляде. В нём уже начинается работа сети: лист намокает, заселяется бактериями и грибами, его ткани размягчаются, а между волокнами перемещаются клещи, ногохвостки, личинки и другие мелкие беспозвоночные. Часть материала дождевая вода уносит в нижние слои, часть измельчается, а часть становится пищей для разлагателей.

Ниже находится более тёмная, слипшаяся или, наоборот, рыхлая масса старой подстилки. В ней ещё можно узнать прожилки листа, обломки хвои и фрагменты древесины, но исходная форма постепенно исчезает. Этот слой удерживает

влагу лучше свежих листьев и служит переходом от органического материала к минеральной почве. Его мощность бывает очень разной. Под густым ельником, в ложбине или на участке с медленным разложением органический слой толще; на сухом склоне, в местах смыва или после уборки он может почти исчезнуть.

Ещё ниже начинается минеральная почва. В ней органическое вещество перемешано с песком, пылью и глинистыми частицами. Цвет бывает серым, бурым, рыжеватым или почти чёрным, но сам по себе он ничего не объясняет. Тёмный оттенок часто связан с органикой, однако влажная почва почти всегда кажется темнее сухой. Сероватые пятна могут указывать на длительное переувлажнение и недостаток кислорода, а красноватые или охристые участки иногда связаны с соединениями железа и чередованием влажных и сухих условий.

В верхней части минерального слоя обычно больше мелких корней, органического вещества и ходов почвенных животных. Ниже корни становятся реже, структура меняется, а почва может уплотняться. При этом лесные почвы не обязаны иметь одинаковый набор горизонтов. На песчаном грунте, в пойме, на склоне, в старом карьере или на участке, где почву перемещали, профиль будет устроен иначе.

Поэтому полевому наблюдателю стоит сначала описать увиденное, а уже потом давать ему название. Фраза «здесь мощный органический слой, в нём видны фрагменты ли-

ствев и мелкие корни» полезнее поспешного решения, к какому строго классификационному горизонту его отнести.

Упражнение первое. Спокойный разрез

Выберите участок, где можно безопасно и законно наблюдать обнажённую почву. Не начинайте с измерений. Несколько минут просто смотрите на поверхность, не касаясь её. Отметьте, как лежит опад: равномерно или собран в углублениях, закрывает ли он всю землю, есть ли среди него ветки и древесные фрагменты.

Затем рассмотрите вертикальную стенку среза сверху вниз. Для каждого слоя запишите пять признаков: примерную толщину, цвет во влажном и сухом состоянии, рыхлость, видимые корни и фрагменты органики. Если есть возможность, осторожно потрогайте небольшое количество материала. Сухая подстилка шуршит и легко распадается, насыщенная влагой становится тяжёлой и эластичной, а минеральная почва может рассыпаться комками или распадаться на плотные глыбы.

Завершите наблюдение вопросами: где здесь задержится вода после дождя, где сможет пройти воздух, на какой глубине корень встретит сопротивление? Такие вопросы соединяют внешний вид слоя с его ролью в сети.

Самая очевидная ошибка заключается в том, чтобы считать наиболее здоровым участок с самой тёмной почвой. Цвет зависит от влажности, состава минералов, возраста органики и освещения. Не стоит и принимать резкую границу

между слоями за естественную особенность. Иногда она появляется после работы техники, устройства насыпи, снятия верхнего слоя или смыва. Наконец, нельзя измерить толщину подстилки в одной точке и распространить результат на весь участок. Лесная почва мозаична: под кустом, у ствола, на корневом бугре и в междурядье условия различаются.

Поры, влага и воздух

Большая часть жизни почвы происходит не в твёрдых частицах, а в промежутках между ними. Эти промежутки называют порами. Они образуются между песчинками, глинистыми частицами, комочками органики, корнями и ходами животных. В крупных порах после дождя движется лишняя вода, которая постепенно замещается воздухом. В мелких вода удерживается дольше и некоторое время остаётся доступной для корней и микроорганизмов.

Почва с хорошей структурой не просто рыхлая. В ней сочетаются поры разного размера. Крупные отводят избыток воды и обеспечивают газообмен. Средние удерживают влагу, из которой корни могут получать воду в течение некоторого времени. Мелкие сохраняют её дольше, но если вся почва заполнена мелкими порами и насыщена водой, воздух вытесняется.

Корню необходимы и вода, и кислород. Корневые клетки дышат, и при недостатке кислорода их работа нарушается. В переувлажнённой почве воды может быть даже слишком много, но корень всё равно испытывает стресс: газооб-

мен затруднён. Обратная ситуация возникает в сухой уплотнённой почве. Вода быстро уходит по трещинам или оказывается недоступной в слишком мелких порах, а воздух с трудом проникает внутрь.

Поры соединены между собой неравномерно. В рыхлой почве вода просачивается вниз, перетекает в стороны и задерживается возле органических фрагментов. В плотной вертикальные каналы перекрыты. Тогда дождь стекает по поверхности, собирается в лужах или уходит в колею, а после высыхания верхний слой покрывается коркой.

Корни используют не только свободное пространство между частицами. Они следуют по старым ходам дождевых червей, трещинам, оставшимся после сгнивших корней, и каналам, созданным другими организмами. Грибные нити проникают в более мелкие промежутки, куда не проходит тонкий корень. Так физическая структура почвы определяет, где вообще возможно взаимодействие корня, воды, воздуха и грибного симбионта.

Упражнение второе. Проверка структуры рукой

Возьмите небольшую горсть почвы на глубине нескольких сантиметров, но сравнивайте только участки с близкими условиями: например, край тропы и соседнюю площадку под тем же типом леса. Не смешивайте свежую подстилку с минеральной землёй.

Сожмите почву в ладони. Если она слишком сухая, то рассыплется независимо от структуры; если переувлажнена,

почти любой материал покажется липким. Поэтому сначала оцените состояние влаги. Затем слегка разломите комок пальцами. Хорошо структурированная почва обычно распадается на комочки разного размера, а не превращается в равномерную пыль или единый плотный монолит. Внутри комка могут быть корешки, ходы, мелкие пустоты и кусочки дресины.

Осторожно воткните палец или тонкую палочку в верхний слой. Это не измерение плотности, а сравнительный признак. Если на соседних участках палочка входит с одинаковой лёгкостью, различие невелико. Если она проходит только рыхлую корку и упирается в плотную плиту, стоит поискать признаки уплотнения. Повторите проверку в нескольких точках: один камень или крупный корень легко создадут ложное впечатление.

Можно налить немного воды в неглубокое углубление и посмотреть, как она уходит. Делайте это только там, где опыт не повредит покрову, и сравнивайте участки с одинаковой влажностью. Быстрое исчезновение воды не всегда говорит о хорошей инфильтрации: на крупном песке она может уйти слишком быстро, не задержавшись в зоне корней. Медленное впитывание бывает следствием глины, естественного переувлажнения или уплотнения.

Мокрую почву часто принимают за рыхлую. После дождя даже плотный слой временно поддаётся пальцам. Не стоит судить и по одной поверхности, не проверив нижние

несколько сантиметров. Участок может выглядеть рыхлым из-за тонкой свежей подстилки, а под ней скрывается плотная плита. Наконец, не сравнивайте тропу с влажной ложбиной: различие будет отражать не только вытаптывание, но и положение в рельефе.

Кому принадлежит невидимая работа

В почве нет одного главного разлагателя. Бактерии используют растворимые и легко доступные соединения, быстро заселяют увлажнённые поверхности и участвуют в превращении органических веществ. Грибы пронизывают листья, древесину и почвенные комочки, разрушают более сложные соединения и переносят вещества по микроскопическим нитям. Роль конкретного гриба зависит от вида, партнёров и условий, поэтому сама по себе грибница не свидетельствует ни о благополучии, ни о болезни.

Простейшие питаются бактериями и другими мелкими организмами, перемещая вещества по пищевой сети. Нематоды образуют несколько функциональных групп: одни потребляют бактерий, другие грибов, третьи связаны с хищничеством или растительными тканями. Их нельзя свести к образу вредителей. В здоровом почвенном сообществе разные группы регулируют численность друг друга и участвуют в переработке доступных соединений.

Мелкие беспозвоночные измельчают листья и древесные остатки, прокладывают ходы, перемешивают частицы и переносят микроорганизмы. Ногохвостки и почвенные клещи

работают с мелкими фрагментами, личинки и другие детритофаги разрывают ткань листа, а дождевые черви в подходящих условиях создают каналы и смешивают органику с минеральной массой. В разных лесах состав этой группы неодинаков. Кислая хвойная подстилка, влажная пойма и сухой сосняк поддерживают разные сообщества.

Вся эта жизнь связана с корнями через один простой, но решающий вопрос: сможет ли растение получить воду и минеральные элементы. Когда органические остатки разрушаются, часть веществ становится доступной для дальнейшего использования. Когда микроскопические хищники поедают бактерий и нематод, меняется движение элементов внутри пищевой сети. Когда ходы животных открывают поры, улучшается проникновение воды и воздуха. Если почва уплотняется, процессы не исчезают мгновенно, но пространство для них сокращается.

Бактерий, простейших и большинство нематод нельзя увидеть без микроскопа. Однако можно заметить условия, в которых они работают. Рыхлый слой с влагой, органическими остатками, корнями и воздушными порами поддерживает разнообразную микросреду. Сухая пыльная корка, постоянное насыщение водой или плотная плита не доказывают отсутствия жизни, но указывают на ограничения для части организмов.

Не следует оценивать почву по одному найденному червю, видимой грибнице или отсутствию крупных животных.

Жизнь распределена пятнами. В одном сантиметре может быть много бактерий и почти не быть беспозвоночных; рядом, под кусочком древесины, условия окажутся совсем другими. Сеть читается по сочетанию признаков и тому, насколько регулярно повторяется общая картина.

Как лист становится частью почвы

Разложение начинается ещё до того, как лист полностью опадёт. На живом листе уже есть микроорганизмы, а после опадания меняются температура, влажность и доступность веществ. Дождь вымывает часть растворимых соединений, поверхность повреждают мелкие животные. Бактерии и грибы заселяют ткань, а затем её начинают разрушать ферменты и механическое измельчение.

Свежий лист легко узнать по форме, цвету и упругости. На следующей стадии края темнеют, прожилки становятся заметнее, поверхность размягчается. Позже лист распадается на фрагменты, смешивается с частицами почвы и теряет исходный контур. Древесина разлагается медленнее: кора, ветви и пни могут годами сохранять структуру, одновременно удерживая воду и создавая убежища для беспозвоночных.

Скорость разложения не служит универсальным показателем здоровья. Быстрое исчезновение листьев может означать благоприятное сочетание тепла и влаги, но одновременно сопровождаться вымыванием растворимых веществ. Медленное разложение естественно для холодного или кислого участка и не обязательно говорит о повреждении. На-

стораживает не сама скорость, а разрыв процесса: например, когда свежий опад накапливается, не переходя в более тёмную рыхлую массу, или когда органический слой удалён и не может восполняться.

Подстилка выполняет сразу несколько задач. Она смягчает удар дождевых капель, снижает испарение, защищает поверхность от перегрева, удерживает частицы от смыва и кормит разлагателей. Ветер и вода перемещают её по микрорельефу, поэтому в ложбинах органики обычно больше, а на выпуклостях и открытых склонах меньше. Неравномерность сама по себе естественна. Проблемой становится не мозаика, а большие оголённые участки, особенно на склонах и в местах постоянного движения.

Упражнение третье. След одного листа

Найдите три стадии одного процесса, не вырывая материал из почвы: свежий лист на поверхности, частично разрушенный фрагмент в нижней части подстилки и тёмные остатки, смешанные с верхним минеральным слоем. Если рядом лежит ветка или кусок коры, сравните их с листьями. Посмотрите, где материал влажнее, где заметны ходы или отверстия, где сохранилась форма, а где осталась только рыхлая масса.

Затем проследите, что изменилось на каждой стадии: цвет, прочность, площадь поверхности, запах, связь с почвенными частицами. Большая площадь мелких фрагментов означает, что механическое измельчение и разложение про-

двинулись дальше. Видимые белые нити могут быть грибницей, но без лабораторного анализа нельзя определить их вид и функцию. Тёмный цвет бывает связан с органикой, однако не позволяет точно оценить количество углерода или питательных веществ.

Главная ошибка в этом упражнении заключается в поиске «чистого» леса, где нет старых листьев и веток. Уборка подстилки делает поверхность аккуратной только внешне, зато лишает её защитного и питательного слоя. Не стоит считать крупную валежную древесину бесполезным мусором. Она разлагается медленно, сохраняет влагу, поддерживает отдельные сообщества грибов и беспозвоночных, а со временем становится частью почвы. Наконец, не делайте вывод о скорости разложения по одному листу. Нужны несколько точек или повторное наблюдение через некоторое время.

Следы прошлого на поверхности и внутри

Техника оставляет в почве более долгий след, чем на растительности. После прохода колёс верхний слой может выглядеть просто примятым, но под ним нарушается система пор. Крупные воздушные каналы закрываются, вода хуже проникает вглубь, а корни встречают механическое сопротивление. На тяжёлой почве след превращается в плотную колею, на песчаной становится участком с разрушенной подстилкой и перемещённым грунтом.

Вытаптывание действует иначе, но приводит к сходному результату. Один проход почти незаметен, зато постоян-

ное движение формирует тропу. Сначала исчезает подстилка, затем уплотняется верхний минеральный слой, появляются открытые корни и гладкая поверхность. После дождя вода концентрируется на тропе, а потом выносит частицы вниз по склону. Так рекреационная нагрузка превращает поверхностное пятно в фактор, меняющий водный режим.

Эрозия снимает не просто грязь или рыхлую землю. Она уносит мелкие частицы, органическое вещество, семена, участки микробного сообщества и часть питательных элементов. Остаётся более бедный минеральный материал. На склоне можно увидеть тонкие промоины, веерообразные наносы у препятствий, оголённые корни, полосы светлой почвы и постепенное уменьшение подстилки от верхней части склона к нижней.

Следы эрозии иногда маскирует свежий опад. Несколько листьев могут закрыть промоину, но после сильного дождя структура проявится снова. Поэтому участок стоит оценивать не только в сухую погоду. Полезно посмотреть на него после осадков: куда течёт вода, где задерживается, где поверхность быстро подсыхает, а где образуются лужи и наносы.

Уплотнение и эрозия связаны между собой. Плотная поверхность хуже принимает воду, поэтому она быстрее стекает и уносит частицы. Потеря органического слоя уменьшает количество крупных пор и способность почвы удерживать влагу. Снижение пористости, в свою очередь, ухудшает

условия для корней и почвенных организмов. Возникает цепочка, которую нельзя разорвать одним добавлением удобрения: проблема находится в физической структуре и непрерывности процессов.

Упражнение четвёртое. Сравнение двух соседних точек

Выберите пару мест с похожим лесным покровом, но разной нагрузкой: например, участок в стороне от тропы и край регулярно используемой дорожки. Не сравнивайте точки, если одна находится в ложбине, а другая на сухом бугре. Расстояние между ними должно быть небольшим, чтобы различия рельефа не перекрывали влияние нагрузки.

На каждой точке осмотрите поверхность, осторожно проверьте рыхлость, оцените влажность, запах и глубину, на которую проникает палочка или палец. Запишите, есть ли подстилка, открытые корни, фрагменты древесины, поры, следы луж, колеи, гладкая корка или мелкие промоины. Затем сопоставьте не отдельные признаки, а их сочетания.

Если на тропе нет подстилки, поверхность гладкая, после дождя стоит вода, а после высыхания почва рассыпается пылью, вероятно, участок испытывает уплотнение и теряет органический слой. Если под деревьями много подстилки, почва распадается на комочки, видны корни и древесные фрагменты, а вода не образует длительных луж, условия для непрерывного разложения и корневого дыхания обычно лучше.

Полевой почвенный паспорт

Чтобы не превращать наблюдение в набор разрозненных впечатлений, удобно вести короткий почвенный паспорт. Он не заменяет лабораторный анализ, но помогает сравнивать точки и видеть изменения со временем.

Мощность подстилки. Укажите примерную толщину и равномерность слоя. Запишите, состоит ли он из свежих листьев, частично разрушенных фрагментов или тёмной рыхлой массы. Отдельно отметьте оголённые пятна.

Рыхлость и структура. Опишите, распадается ли почва на комочки, есть ли плотная корка, легко ли отделяются частицы, встречаются ли крупные пустоты и ходы. Не путайте рыхлость с влажной мягкостью.

Поры и корни. Ищите мелкие отверстия, каналы от корней и животных, пустоты вокруг древесных фрагментов. Запишите глубину, на которую входят тонкие корни, и наличие толстых корней у поверхности. Большое количество поверхностных корней может быть естественным для некоторых лесов, но также указывать на плотный нижний слой или смыв почвы.

Влажность. Оценивайте её не одной цифрой, а как состояние: сухая пыль, слегка влажная и рассыпчатая почва, влажная и связная или насыщенная водой. Сравните точки в один день и после одинаковой погоды.

Запах. Свежий лесной запах часто связан с влажной органикой и активным разложением. Кисловатый, затхлый или

сернистый запах в насыщенном водой слое может указывать на недостаток кислорода, но по запаху нельзя диагностировать конкретный процесс. Если участок может быть загрязнён, не касайтесь почвы голыми руками и не приближайте её к лицу.

Фрагменты древесины. Отметьте ветки, кусочки коры, пни, валежную древесину и степень их разрушения. Древесина создаёт отдельные влажные и теневые микросреды, которые не видны по общей картине участка.

Следы эрозии. Ищите промоины, наносы, оголённые корни, полосы светлой минеральной земли и скопления листьев у препятствий. Отдельно фиксируйте направление стока воды.

Следы уплотнения. К ним относятся колеи, гладкая поверхность, отсутствие пор, плотный комок под тонкой рыхлой коркой, лужи после дождя и резкий переход от мягкой почвы к плотному слою. Один след обуви ничего не доказывает; повторяющийся рисунок на тропе или в колее даёт более надёжную информацию.

Для удобства паспорт можно заполнять по следующей схеме.

Подстилка. Наблюдайте её толщину, непрерывность и стадии разложения. Эти признаки помогают оценить защиту поверхности, запас органики и питание разлагателей.

Структура. Отмечайте комочки, корку, плотные глыбы и пустоты. Они показывают, как движутся вода и воздух и на-

сколько свободно проникают корни.

Влажность. Фиксируйте, сухая ли почва, умеренно влажная или насыщенная водой. Это даёт представление о доступности воды и риске нехватки кислорода.

Корни. Записывайте наличие мелких корней, глубину их проникновения и степень оголения. Так можно оценить возможности корневого роста и заметить признаки смыва.

Древесина. Отмечайте ветки, кору, валеж и степень разрушения. Эти фрагменты служат местами накопления влаги и длительного разложения.

Эрозия. Ищите промоины, наносы и светлые оголённые пятна. Они указывают на потерю верхнего слоя и органического вещества.

Уплотнение. Фиксируйте колеи, корку и плохое впитывание воды. Такие признаки говорят о сокращении пор и затруднении газообмена.

Как читать результат без поспешных выводов

Здоровье почвы нельзя свести к одному признаку. Тёмная почва может испытывать нехватку воздуха, рыхлая оказаться слишком сухой, а влажная быть естественно заболоченной или искусственно уплотнённой. Надёжный полевой вывод строится на сочетании признаков и сравнении с похожим, но менее нарушенным участком.

Благоприятная картина для лесного участка часто выглядит так: подстилка сохраняется на большей части поверхности, в ней видны разные стадии разложения, органический

слой постепенно переходит в минеральный, почва распадается на комочки, присутствуют поры, тонкие корни и фрагменты древесины. После дождя вода не обязательно исчезает мгновенно, но и не стоит долго сплошной лужей на ровном месте. Нет широких промоин, обширных оголённых корней и непрерывных плотных колеё.

Неблагоприятная картина складывается из иных сочетаний: подстилка снята или собрана в редкие кучки, поверхность гладкая и уплотнённая, под тонкой коркой скрывается плотный слой, вода стекает по поверхности, корни оголены, а органические фрагменты почти отсутствуют. Если рядом видны свежие колеи, следы складирования древесины или постоянная тропа, нарушение можно связать с конкретным воздействием.

У такого осмотра есть ограничения. Он не показывает точный запас углерода, кислотность, содержание азота, наличие тяжёлых металлов, солей или остаточных загрязнителей. Нельзя по запаху определить полный состав микробного сообщества, а по видимой грибнице судить о пользе или вреде конкретного гриба. Нельзя также объявить участок восстановленным только потому, что на нём появилась трава или несколько молодых деревьев. Растительность может закрепиться на поверхности раньше, чем восстановятся поры, органический слой и сложная сеть разложения.

И всё же полевой паспорт даёт то, чего не даёт отдельный анализ: связь между признаками на месте. Он показы-

вает, что исчезновение подстилки связано с пересыханием, что колея меняет движение воды, что оголённый корень может быть следствием смыва, а задержка разложения связана с нехваткой воздуха или влаги. Почва становится не фоном для леса, а материальной записью его работы.

Лесная сеть начинается не только над землёй и не заканчивается у поверхности. Листья, древесина, корни, грибные нити, бактерии и мелкие животные соединены через поры, воду и воздух. След техники или эрозии нарушает сразу несколько звеньев, даже если повреждённое место кажется небольшим.

Следующий вопрос возникает естественно: за какие ресурсы конкурируют корни, грибы и другие организмы и почему один и тот же участок в разные годы меняется под действием света, воды и доступного углерода. На поверхности это выглядит как смена тени, влажности и роста, но в почве условия для этой борьбы и обмена формируются заранее.

Цена света, воды и углерода

После разговора о почве остаётся сделать следующий шаг: увидеть не только накопленные следы, но и текущий обмен. Подстилка разлагается потому, что в ней есть химическая энергия и доступные соединения. Корни растут не из абстрактной «силы леса», а за счёт конкретных потоков углерода, воды и минеральных веществ. Дерево занимает место в этой системе, получает ресурсы, тратит их на поддержание себя и меняет условия для соседей.

Представим участок леса размером примерно с небольшой городской сквер. На нём растут высокие деревья, молодняк, кустарники и травы. Вверху смыкается плотная крона, ниже остаются просветы, а на земле лежит слой листьев и веток. В почве расположены корни разного диаметра, ходы дождевых червей, поры, заполненные водой или воздухом, и множество организмов, участвующих в разложении.

Теперь мысленно введём ограничение: у участка нет бесконечного бюджета. В него поступает определённое количество света, воды, углекислого газа, минеральных веществ и пространства. Деревья не могут одновременно получить всё. Если одно растение перехватывает больше света, до другого доходит меньше. Если корни быстро забрали воду из верхнего слоя, соседние корни столкнулись с дефицитом. Если дерево направило больше углерода на рост ствола, на корни,

защитные соединения или запасы его осталось меньше.

Ресурсный бюджет не является денежной бухгалтерией и не сводится к точному набору цифр, одинаковому для каждого леса. Это способ описать, какие ресурсы поступают в систему, куда они направляются, какие процессы конкурируют за них и что ограничивает результат. Такой язык полезнее фраз вроде «лес делится» или «сильное дерево помогает слабому»: он заставляет назвать ресурс, направление его движения и цену процесса.

Модель одного участка

Начнём с главного входа, света. Лист перехватывает часть солнечного излучения, использует его энергию для фотосинтеза и связывает углекислый газ в органические соединения. Вода поступает из почвы, движется через корни и проводящие ткани к листьям, а затем выходит в атмосферу через устьица.

Фотосинтез не превращает свет непосредственно в древесину. Сначала образуются углеводы и другие органические соединения. Из них растение строит ткани, поддерживает обмен веществ и создаёт защитные вещества. Растворимые продукты фотосинтеза, перемещаемые по проводящим тканям, называют ассимилятами. Они могут направляться к молодым листьям, корням, камбию, плодам, семенам, повреждённым участкам или запасам.

Часть зафиксированного углерода сразу возвращается в атмосферу при дыхании. Дерево тратит его не только на

рост, но и на работу клеток, поддержание мембран, транспорт веществ, восстановление повреждений, защиту от вредителей и взаимодействие с почвенными организмами. Поэтому фраза «дерево поглотило столько-то углерода» без дополнительных уточнений может вводить в заблуждение. Нужно различать валовую фиксацию углерода фотосинтезом и тот объём, который остался после дыхания и других затрат.

Упрощённо бюджет можно представить так.

Свет и углекислый газ поступают в листья. Там идёт фотосинтез, образуются ассимиляты, а затем они распределяются между дыханием, ростом, корнями, защитой, запасами и размножением.

Вода и минеральные вещества поступают через корни и направляются к листьям, побегам и проводящим тканям. Одновременно они участвуют в регулировании водного режима растения.

Опад, отмершие корни и выделения попадают в почву. Разлагатели перерабатывают их, образуя доступные соединения, которыми затем пользуются новые корни и микроорганизмы.

Эта схема намеренно неполна. В реальном лесу потоки разветвляются, возвращаются и меняют направление. Запасённый углерод может быть использован спустя месяцы или годы. Корень одновременно получает вещества из почвы, отдаёт углерод микроорганизмам и изменяет поровое про-

странство. Опавший лист не превращается в доступный ресурс за один шаг: состав опада, его влажность и температура, а также сообщество разлагателей определяют, как быстро пойдёт переработка.

Введём в модель три состояния одного участка: обычное влажное лето, открытый просвет после падения дерева и жаркий засушливый период. Состав видов можно оставить тем же, но бюджет изменится. Именно это показывает, почему нельзя раз и навсегда закреплять за лесными организмами одни и те же роли.

В плотной кроне главный выигрыш состоит в защите от перегрева и в сохранении влажности воздуха и почвы. Главная цена такой среды — недостаток света в нижних ярусах. Вероятнее всего, ограничивающим ресурсом окажется свет.

Большой просвет после падения дерева даёт много света, но усиливает испарение, нагрев почвы и воздействие ветра. Здесь узким местом чаще становится вода.

Во влажный сезон на открытом месте листья и побеги могут расти особенно быстро. Однако это требует затрат на ткани и усиливает конкуренцию за пространство. Ограничивающим фактором могут стать свет или минеральное питание.

Во время жары и засухи преимущество получают растения, способные закрывать устьица и углублять корни. Цена такой стратегии — снижение фотосинтеза и риск нарушения водного транспорта. Главными ограничениями становятся вода и доступный углерод.

Осенью, после завершения роста, часть веществ возвращается в запасы и почву. Одновременно опадают листья и прекращается часть текущего фотосинтеза. Ограничивающими факторами становятся температура и продолжительность сезона.

Эти примеры не предсказывают судьбу каждого дерева. Они показывают, какой фактор вероятнее всего станет узким местом. Узкое место — это ресурс или условие, из-за нехватки которого дополнительное количество других ресурсов уже не даёт ожидаемого результата. В тени можно добавить воду, но дерево не начнёт расти так же быстро, как на свету. На освещённом сухом склоне увеличение освещённости не исправит водный дефицит.

Участок весной: свет ещё не распределён окончательно

В начале сезона лес выглядит почти прозрачным. Верхние деревья ещё не сомкнули кроны, а травы и кустарники уже используют свет, который вскоре станет недоступен. Для растения нижнего яруса несколько весенних недель иногда значат больше, чем долгие месяцы под плотной летней кроной.

Это не подарок со стороны высоких деревьев. Листья верхнего яруса ещё не развернулись, потому что их появление ограничивают температура, длина дня и внутренние ритмы развития. Нижние растения используют окно, возникшее из-за сезонного несоответствия между ярусами леса.

Молодой клён или кустарник в этот период направляет углерод на разворачивание листьев, рост побегов и формирование корней. Световой выигрыш позволяет быстро накопить ассимиляты, но у него есть цена: ранний рост требует воды и минеральных веществ. Если весна холодная и влажная, вода не становится главным ограничением. Если после тёплого начала наступают сухие недели, те же ранние листья могут превратить растение в активного потребителя почвенной влаги.

Верхнее дерево тоже не только конкурент. Его прошлогодний опад уже лежит на почве, задерживает часть воды и уменьшает прямой нагрев поверхности. Корни удерживают частицы почвы и создают каналы, по которым движутся вода и воздух. Однако тот же древесный полог позже перехватит свет, а корневая система будет использовать воду и минеральные вещества. Один и тот же объект по-разному влияет на разные ярусы и в разные моменты сезона.

Здесь полезно провести важное различие. Условия среды могут меняться из-за присутствия дерева, но это ещё не означает, что дерево «решает создать микроклимат». Крона затеняет почву, потому что листья поглощают и рассеивают излучение. Подстилка дольше остаётся влажной, потому что уменьшает скорость испарения и закрывает поверхность. Корни изменяют движение воды, потому что занимают поры и проводят воду в своих тканях. Для этого механизма не требуется намерение.

Лето: рост против испарения

К началу лета верхний ярус становится плотным. Деревья с высокими кронами получают больше света, но одновременно сталкиваются с сильным испарением. Чем больше листовая поверхность, тем выше потенциальный фотосинтез и тем больше площадь, через которую растение может терять воду.

При достаточном увлажнении это может быть выгодным обменом. Дерево наращивает листья, получает больше света, фиксирует больше углерода и направляет его на рост. Но увеличение листовой поверхности ещё не гарантирует увеличения чистого прироста. Если воды недостаточно, устьица закрываются, чтобы снизить её потерю. В лист поступает меньше углекислого газа, фотосинтез замедляется, а затраты на поддержание уже сформированной кроны сохраняются.

Получается парадокс: дерево может оставаться крупным и зелёным, но иметь отрицательный баланс доступного углерода. Оно продолжает дышать, поддерживать ткани и транспортировать воду, хотя текущая фиксация углерода снизилась. При длительном стрессе используются запасы, сокращается рост тонких корней, откладывается размножение и уменьшается способность быстро восстанавливаться после повреждения.

Верхняя крона первой получает свет, но не получает воду автоматически. Глубокие корни могут давать ей преимущество на сухих почвах, однако всё зависит от глубины грунто-

вых вод, строения почвы и непрерывности проводящих тканей. На плотном глинистом участке дерево с большой кроной иногда страдает сильнее молодого растения: его потребность в воде выше, а корневой системе трудно обеспечить весь объём листьев.

Под кроной складывается другое сочетание условий. Света мало, зато ниже температура, слабее ветер и медленнее испарение с поверхности почвы. Растения теневого яруса часто имеют листья, приспособленные к слабому освещению, но их возможности ограничены. При слишком плотной кроне они не могут накопить достаточно углерода для обновления корней и побегов. Тень снижает водные расходы, но не отменяет конкуренцию за воду: корни верхнего дерева могут активно осваивать тот же влажный слой.

Конкуренция за воду не всегда выглядит как прямое вытеснение. Два дерева могут находиться в нескольких метрах друг от друга, не соприкасаться кронами и всё равно использовать одну и ту же сеть почвенных пор. Особенно сильной конкуренция становится в верхнем слое после короткого дождя: мелкие корни быстро забирают доступную влагу, а затем поверхность высыхает. После длительного дождя преимущество может получить растение с корнями, уходящими глубже.

Корни как потребители и поставщики

Корень часто описывают как орган, который «берёт» воду и минеральные вещества. Это верно, но недостаточно. Кор-

невая система потребляет ассимиляты, дышит, растёт, обновляется, выделяет соединения в почву и взаимодействует с микроорганизмами. Она представляет собой крупный расходный центр в бюджете дерева.

Молодые тонкие корни особенно дороги в обслуживании. Они быстро меняются, имеют большую поверхность и активно участвуют в поглощении. Дерево поддерживает их, пока получаемые с их помощью вода и элементы компенсируют стоимость роста и дыхания. При засухе часть тонких корней может отмирать, а ресурсы перенаправляются к более глубоким или устойчивым структурам.

Но корни не только потребляют. Они поставляют в почву органические соединения, изменяют её структуру и после отмирания создают каналы. С корнями связаны микроорганизмы и грибы, которые получают углерод растения и возвращают ему воду или минеральные вещества в рамках конкретных взаимодействий. Подробно к этому обмену мы вернёмся дальше, но уже здесь важно зафиксировать принцип: направление потока нельзя выводить из красивого описания. Его нужно устанавливать по наблюдениям и с учётом условий.

Иногда говорят о перераспределении воды через корни: растение может проводить воду из более влажных слоёв в более сухие участки почвы, особенно ночью, когда транспирация снижается. Такой процесс возможен не у всех видов и зависит от разницы водного потенциала, состояния корне-

вых тканей и контакта с почвой. В результате верхний слой может дольше сохранять влагу, но это не обязательно означает целенаправленную поддержку соседнего дерева. Вода движется по градиентам и через сопротивления, а не по решению растения «поделиться».

Если рядом расположен корень другого растения, тот может воспользоваться изменившейся влажностью. Но такая выгода для соседа остаётся побочным результатом физического процесса, а не доказательством сотрудничества. Чтобы говорить о взаимовыгодном обмене, нужно показать не только наличие воды или углерода, но и условия, при которых обе стороны получают чистую выгоду.

Лесной просвет: больше света, меньше гарантии

Представим, что сильный ветер повалил крупное дерево. В кроне образовался просвет диаметром двадцать или тридцать метров. За один день бюджет участка изменился.

На землю стало поступать больше света. Повысилась температура поверхности, усилился ветер, увеличилось испарение. Зимой снег может стаивать раньше, а летом верхний слой почвы быстрее терять влагу. Одновременно появилось пространство для новых побегов и возможность для уже существующих растений нарастить листья.

Для молодого дерева просвет выглядит как шанс ускорить рост. Но шанс не равен результату. Если у него уже есть достаточно развитая корневая система, оно может увеличить фотосинтез и вложить больше углерода в ствол. Если кор-

ни ещё короткие, почва сухая, а травы активно конкурируют за ресурсы, избыток света обернётся перегревом и водным стрессом.

В просвете меняется не только количество света, но и его цена. Лист, получающий много излучения, должен регулировать нагрев и испарение. Сформировать крупную крону можно быстро, а обеспечить её водой удаётся не всегда. Поэтому виды, быстро занимающие открытые места, часто сочетают быстрый рост с высокими затратами на водоснабжение. В годы с достаточными осадками они выигрывают, но в засуху рискуют сильнее.

Поваленное дерево также продолжает участвовать в бюджете участка. Его древесина постепенно становится субстратом для грибов и микроорганизмов, запасённый углерод включается в процесс разложения, а структура поверхности меняется. Ствол может удерживать воду и создавать затенённые микроместа. Но это не «забота погибшего дерева о лесе», а последовательность физических и биологических процессов, возникающих после его смерти.

Что было бы, если бы просвет не образовался?

Если бы крона осталась плотной, молодые растения продолжили бы жить при дефиците света. Их рост был бы медленнее, зато поверхность почвы сохраняла бы более мягкий температурный режим. Одни виды проиграли бы в скорости роста, другие получили бы преимущество благодаря теневыносливости. В таком случае ограничивающим ресурсом

оставался бы свет, а не вода.

Что было бы, если бы после падения дерева начались обильные дожди?

Световой выигрыш превратился бы в быстрый рост трав, кустарников и молодых деревьев. Вода перестала бы быть главным ограничением, а конкуренция сместилась бы к свету и пространству. Растения, способные быстро наращивать побеги, закрыли бы просвет. Однако при высокой плотности новые листья начали бы затенять нижние, и через несколько лет первоначальное преимущество открытого места исчезло бы.

Что было бы, если бы после падения дерева пришла жара?

Просвет мог бы стать зоной повышенного риска. Света достаточно, но растениям не хватает воды, а высокая температура увеличивает дефицит влажности воздуха. Устьица закрываются, фотосинтез снижается, корни сталкиваются с пересыханием верхнего слоя. На краю просвета растения могут сохранять больше влаги благодаря частичному затенению, хотя получают меньше света. Оптимальное место оказывается не в центре открытого пространства, а на переходе между просветом и плотной кроной.

Эти варианты показывают, почему вопрос «кто в лесу кому помогает» слишком груб. Один и тот же просвет создаёт ресурс света и одновременно усиливает водный стресс. Его влияние зависит от сезона, почвы, размера растения, глубины корней и продолжительности засухи.

Жара меняет не только количество воды

При высокой температуре дерево сталкивается не с одной проблемой. Возрастает испарительный спрос атмосферы, то есть способность воздуха забирать воду с поверхности листьев. Даже если почва ещё содержит влагу, сухой и горячий воздух ускоряет её потерю.

Чтобы сохранить водный баланс, растение закрывает устьица. Это снижает транспирацию, но одновременно ограничивает поступление углекислого газа и уменьшает фотосинтез. Если устьица остаются закрытыми долго, дерево получает меньше новых ассимилятов, а дыхание и поддержание тканей продолжают. Дополнительные расходы возникают на ремонт повреждений и защиту от организмов, которым ослабленное растение становится более уязвимым.

Гибель дерева при засухе нельзя сводить к единственной причине: «ему не хватило углерода». Возможны нарушения водного транспорта, повреждение проводящих тканей, перегрев листьев, истощение запасов, поражение вредителями и сочетание этих факторов. У разных видов и на разных почвах последовательность событий различается. Точный анализ требует измерений, но даже без них можно говорить аккуратно: засуха меняет баланс воды, углерода и затрат на защиту, после чего устойчивость дерева снижается.

В жаркий год меняются и отношения между деревьями. Глубокая корневая система может дать преимущество, но её рост и поддержание требуют углерода. Быстрорастущее де-

рево может иметь большую листовую поверхность, но оказаться менее устойчивым после закрытия устьиц. Низкое дерево в тени получает меньше света, зато теряет меньше воды. Преимущество определяется не «силой» вообще, а соответствием стратегии конкретному дефициту.

Осень: возврат, а не остановка

Осенью дерево перестраивает бюджет. Часть веществ из листьев возвращается в ветви, ствол и корни. Лист меняет цвет, потому что хлорофилл разрушается, а другие пигменты становятся заметнее. Затем лист отделяется и попадает на почву.

Это не простой переход углерода «из дерева в лес». Часть соединений действительно возвращается в подстилку и со временем становится доступной разлагателям. Но химический состав опада, скорость его разложения и доля доступных элементов зависят от вида дерева, влажности, температуры и активности почвенных организмов. Опад с высоким содержанием трудноразлагаемых соединений создаёт более медленный поток, а мягкие листья разрушаются быстрее.

Корни продолжают дышать и поддерживать обмен, пока температура и доступность субстратов позволяют. В некоторых лесах осенью корневая активность сохраняется дольше, чем рост надземных органов. Дерево может вкладывать углерод в запасы или в подготовку к зиме. Это ещё один пример сезонного сдвига: летом главным потребителем ассимилятов могли быть листья и побеги, а осенью ими становятся

корни и запасающие ткани.

Поэтому один участок нельзя описать глаголом в одном времени. Весной он накапливает световой ресурс в нижних ярусах, летом распределяет воду между крупными кронами и корнями, в засуху сокращает обмен, а осенью переводит часть веществ в запасы и подстилку. Состав сети остаётся тем же, но режим её работы меняется.

Где заканчивается конкуренция и начинается сотрудничество

Слова «конкуренция» и «сотрудничество» удобны, но опасны, если использовать их как моральные оценки. В биологии конкуренция означает, что организмы ограничивают друг друга, используя общий дефицитный ресурс. Сотрудничеством называют взаимодействие, при котором обе стороны получают выгоду при определённых условиях. Между этими полюсами существует множество промежуточных случаев.

Дерево может затенять почву и тем самым снижать испарение, но одновременно забирать воду корнями. Для одного соседа итог окажется положительным, для другого — отрицательным. Крона может защищать молодое растение от перегрева и лишать его света. Отмерший ствол может удерживать влагу и одновременно создавать среду для организмов, ускоряющих разложение древесины. Нельзя присвоить всему процессу один ярлык без указания масштаба и момента наблюдения.

Чтобы описать обмен строго, полезно пройти четыре ша-

га.

Сначала спросите, какой ресурс может быть общим. Это может быть свет, вода, азот, пространство для корней или органический субстрат. Само соседство ещё не доказывает обмена.

Затем определите возможный путь движения ресурса. Свет перехватывается листьями, вода движется через почву и проводящие ткани, а углерод может перемещаться внутри растения или поступать в почву с выделениями и опадом. Фраза «деревья обмениваются ресурсами» без указания пути остаётся гипотезой.

После этого выясните, кто платит за процесс. Корень, поддерживающий взаимодействие с микроорганизмом, требует углерода. Большая крона создаёт тень, но нуждается в воде. Рост в просвете даёт доступ к свету, но увеличивает испарение. Любую выгоду нужно сопоставить с затратой.

Наконец, привяжите затраты и выгоды ко времени и условиям. Обмен может быть выгодным во влажный сезон и невыгодным в засуху. Взаимодействие может помогать молодому растению весной, но усиливать его затенение летом. То, что выглядит как сотрудничество на уровне участка, может оказаться конкуренцией на уровне конкретного корня.

Эту логику можно сжать в дерево решений.

Если обнаружен ресурсный поток, сначала назовите ресурс и направление: откуда и куда движется вода, откуда и куда перемещается углерод, кто перехватывает свет.

Если направление не измерено, называйте наблюдение гипотезой, а не фактом: «условия могут допускать перераспределение воды», но не «дерево передало воду соседу».

Если один организм получает ресурс, проверьте цену для другого: уменьшился ли его доступ к свету, воде, пространству или углероду.

Если выгода возникает у обеих сторон, выясните, сохраняется ли она при другой влажности, температуре и освещённости.

Если эффект меняется по сезону, не описывайте взаимодействие как постоянную черту видов. Говорите о взаимодействии в конкретных условиях.

Если данных о пути нет, заменяйте антропоморфную формулировку описанием механизма: «крона уменьшает нагрев почвы», «корни используют общий слой влаги», «опад служит субстратом для разложения».

Ошибки языка, которые искажают лес

Первая ошибка — говорить, что лес «решил поддержать слабое дерево». Слабое дерево может получить воду благодаря изменению влажности почвы, соседней корневой системе или особенностям микрорельефа. Но без измерений нельзя утверждать, что другой организм направил к нему ресурс. Точная замена звучит так: «После дождя влажность на этом участке сохраняется дольше, поэтому корни молодого дерева получают больше доступной воды».

Вторая ошибка — считать, что крупное дерево обязатель-

но сильнее и эффективнее. Большая крона перехватывает больше света, но требует много воды и несёт большие расходы на дыхание и поддержание тканей. В засуху меньшая листовая поверхность может оказаться преимуществом.

Третья ошибка — принимать зелёную массу за чистую прибыль. Растение может наращивать листья, одновременно расходуя запасённый углерод. Зелёный цвет показывает наличие фотосинтетического аппарата, но не говорит, превышает ли текущая фиксация углерода совокупные затраты.

Четвёртая ошибка — называть любое совместное существование сотрудничеством. Два вида могут жить рядом, потому что используют разные ярусы или временно расходятся по сезонам. Это разделение ниш, а не обязательно обмен ресурсами. Если один вид затеняет другой, но подстилка поддерживает влажность, итог может включать и конкуренцию, и косвенную выгоду.

Пятая ошибка — считать, что вода в почве полностью доступна. Часть воды удерживается слишком сильно, часть находится в недоступных порах, а часть быстро уходит вниз. В жару растение может испытывать водный стресс, хотя почва ещё кажется влажной. Доступность определяется не только объёмом воды, но и силой её удержания, глубиной корней, температурой и состоянием проводящих тканей.

Шестая ошибка — переносить результат одного дня на весь лес. После дождя дерево может активно открывать устьица и наращивать фотосинтез. Через неделю жары тот

же участок будет работать иначе. Лесные связи нужно описывать как процессы, а не как раз и навсегда установленные договорённости.

Проверка реальности на прогулке

На знакомом участке можно провести мысленный анализ и без приборов. Выберите дерево на краю просвета или у дорожки, где изменены освещённость и движение воздуха. Сначала опишите его положение: верхний ярус, край кроны, тень или открытое место. Затем назовите главный доступный ресурс и главный риск.

Если дерево стоит в просвете, спросите: увеличился ли свет одновременно с испарением? Если под ним плотная подстилка, может ли она сохранять влагу? Если рядом растёт молодняк, конкурирует ли он за воду или использует другой слой почвы? Если видны сухие листья, повреждённые ветви или ранний листопад, какие расходы могли стать слишком высокими?

Не нужно сразу отвечать: «дерево помогает» или «дерево подавляет». Сначала мысленно составьте две группы: входы и расходы.

К входам относятся свет, вода, углекислый газ, минеральные вещества и доступное пространство.

К расходам относятся дыхание, рост листьев и древесины, развитие корней, защита, ремонт, размножение и поддержание проводящих тканей.

Затем определите, что изменилось после дождя, в тени,

на краю просвета или во время жары. Такая проверка приучает видеть лес не как собрание намерений, а как систему с ограниченным бюджетом.

Цена любой связи

Дерево не обязано «выбирать» между конкуренцией и сотрудничеством. Оно распределяет ресурсы между процессами, а последствия этого распределения проявляются для других организмов. Если корни получают больше углерода, они могут активнее расти и поглощать воду, но на ствол и размножение останется меньше. Если дерево формирует большую крону, оно перехватывает больше света, но повышает водный спрос. Если опад быстро разлагается, почва получает доступные соединения, но углерод быстрее возвращается в атмосферу с дыханием разлагателей.

Такая картина не превращает лес в холодную машину. Она делает его наблюдаемым. Вместо неясного утверждения «лес заботится о своих деревьях» появляется цепочка: крона изменила освещённость, подстилка повлияла на испарение, корни использовали общий слой влаги, температура воздействовала на устьица, фотосинтез снизился, а углерод перераспределился между поддержанием тканей и ростом.

Граница между сотрудничеством и конкуренцией проходит не между «добрыми» и «вредными» видами. Она проходит через условия, ресурс и цену обмена. Один и тот же процесс может снижать стресс для одного участника и усиливать его для другого, помогать весной и мешать летом, под-

держивать влажность почвы и одновременно отнимать воду корнями.

Следующая глава приблизит нас к одному из самых часто неправильно описываемых потоков, обмену между деревом и грибом. Чтобы не превратить микоризу в красивую легенду о подземной взаимопомощи, придётся снова спросить: что именно переходит между партнёрами, по какому пути, в каких условиях и какой ценой.

Микориза без мифов

«Лесной интернет» — удачная фраза для первого впечатления, но плохая замена объяснению. Она помогает представить сеть тонких грибных нитей между корнями, однако незаметно добавляет к картине лишнее: будто сеть создана для общения, знает, кому помочь, и равномерно распределяет ресурсы между всеми участниками. Научное утверждение устроено строже: определённый гриб может соединять корни определённых растений, перемещать некоторые вещества и менять состояние корня, но только в конкретных условиях.

Дерево в лесу действительно живёт не отдельно от грибов, почвы и соседних растений. Однако прежние выводы этой книги требуют здесь особой дисциплины. Грибная связь не отменяет цену углерода, дефицит воды, конкуренцию и следы прошлого, сохранившиеся в почве. Чтобы понять, помогает ли микориза, нужно рассматривать не красивую сеть, а поток: кто с кем связан, что именно перемещается, каким способом это измерили и что в итоге получил каждый участник.

Метафора и проверяемое утверждение

Микоризой называют устойчивое взаимодействие гриба с живым корнем растения, при котором гриб получает от растения органические соединения, а растение может получать от гриба воду и минеральные элементы. Слово «может»

здесь не случайно. Микоризное взаимодействие не гарантирует одинаковой выгоды во всех почвах, для всех видов и на каждом этапе жизни дерева.

Первый фильтр выглядит так.

Если утверждение звучит как «грибы соединяют деревья», нужно спросить: какие именно грибы и какие именно деревья? Если сказано, что «грибная сеть передаёт углерод», следует уточнить: углерод в какой форме, от какого растения к какому, в каком количестве и за какой промежуток времени? Если обещают «поддержку слабого дерева», нужно проверить, что именно означает поддержка: больше азота в листьях, более высокий фотосинтез, ускоренный рост, способность пережить засуху или увеличение числа семян.

Без этих уточнений одно и то же слово «связь» может обозначать четыре разных явления:

1. Корень просто колонизирован грибом.
2. Грибные нити физически соединяют несколько корней.
3. Между участниками действительно перемещается вещество.
4. Получатель получает от этого измеримую пользу, которая меняет его рост, устойчивость или размножение.

Каждый следующий пункт требует более сильных доказательств. Наличие грибных нитей ещё не доказывает перенос ресурсов. Обнаружение вещества у соседнего растения не доказывает, что оно пришло именно по грибнице. Сам факт переноса не доказывает, что его объём имел значение

для жизни растения.

Главные типы микоризы

Самая известная в разговорах о лесной сети — эктомикориза. Её образуют многие грибы, связанные с сосной, елью, лиственницей, берёзой, дубом и другими деревьями. Гриб оплетает тонкие корни плотной оболочкой, а его гифы проникают между клетками наружных тканей, формируя сеть обмена. Внутри самих клеток корня гифы при этом обычно не входят.

Такая конструкция увеличивает площадь контакта с почвой. Грибница может проникать в мелкие поры, куда крупному корню добраться трудно. Некоторые эктомикоризные грибы выделяют ферменты, высвобождающие азот и фосфор из органического вещества, но эта способность зависит от вида гриба, состава подстилки, кислотности и других условий. Слово «гриб» здесь обозначает не одну функцию, а множество разных стратегий.

Другой крупный тип — арбускулярная микориза. Её образуют грибы, чьи гифы входят в клетки коры корня и формируют внутри них разветвлённые структуры — арбускулы. Именно в области арбускул происходит обмен между растением и грибом. Такой тип широко распространён у трав, кустарников и многих деревьев, в том числе у пород, которые не образуют эктомикоризу.

Различие не сводится к внешнему виду корня. Эктомикоризные грибы и грибы арбускулярной микоризы отличаются

ся устройством симбиоза, кругом хозяев, способом получения питательных элементов и реакцией на почву. Поэтому нельзя переносить вывод, полученный на сеянцах сосны с эктомикоризным грибом, на липу с арбускулярной микоризой или на кустарник из семейства вересковых.

Существуют и специализированные формы. Вересковые растения образуют эрикоидную микоризу, связанную с тонкими корнями и освоением органических соединений в бедных кислых почвах. Орхидеи на ранних этапах жизни получают от грибов особенно много ресурсов, потому что их семена малы и почти лишены запасов. Есть корневые эндофиты и другие грибные ассоциации, которые могут усиливать устойчивость растения, но не всегда относятся к микоризе в строгом смысле.

Отсюда следует практическое правило: сначала нужно определить тип взаимодействия, а уже затем обсуждать его пользу. Фраза «дерево вступило в симбиоз с грибом» слишком общая для серьёзного вывода.

Кто что получает

Растение отдаёт грибу часть продуктов фотосинтеза. Для эктомикоризных грибов главным платежом обычно служат сахара и другие углеродные соединения. Для грибов арбускулярной микоризы важны не только сахара, но и липиды, которые растение производит и передаёт партнёру. Поэтому микориза — не бесплатная услуга по доставке минералов. Растение расходует на неё часть углеродного бюджета, а в

некоторых случаях — значительную.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.