

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ЛАБОРАТОРИЯ ЛЕСОВЕДЕНИЯ

А. А. Молчанов

# ЛЕС и окружающая среда

611378

ВОЛОГОДСКАЯ  
областная библиотека  
им. И. В. Бабушкина



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
« НАУКА »  
МОСКВА 1968

611378

634.3

М 76 УДК 634.948

А. А. Молчанов. ЛЕС И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, 1968.

В книге дается понятие о лесе, как о природном единстве, оказывающем влияние на окружающую его среду. Рассмотрена взаимосвязь между лесом и осадками, термическими условиями и ветром, составом древесных пород, особенностями почвы, ее минеральным составом, водным режимом, животным миром, микроорганизмами и другими факторами.

На отдельных примерах и графиках проиллюстрировано изменение компонентов среды под влиянием биогеоценоза в целом и влияние отдельных компонентов на биогеоценоз. Рассмотрена также продуктивность стволовой древесины и биомассы в различных типах леса в связи с отрицательным или положительным влиянием ведущих компонентов на биогеоценоз.

Содержание книги доступно широкому кругу специалистов лесного хозяйства. Она может быть полезной лесоводам — производственникам и научным сотрудникам. Библ. назв. 86. Табл. 23. Иллюстраций 46.

Ответственный редактор

Н. Е. КАБАНОВ

## ЧТО ТАКОЕ ЛЕС!

Необозримым сплошным поясом зелени раскинулись по русской земле леса. Когда над безбрежными водами Тихого океана загорается утренняя заря, освещая дремлющую в приморском тумане саянскую ель, курильскую лиственницу или амурское пробковое дерево, в печорских лиственничниках сгущаются вечерние тени, застывают в ночном сумраке сосновые боры Заонежья, засыпают рощи на берегах Балтики.

Когда вологодские леса, замороженные осенним дыханием Ледовитого океана, стоят притихшие в ослепительно сверкающем уборе первого инея, саксаульники Казахстана еще переживают палящий зной среднеазиатских пустынь. В это же время сгибаются под тяжестью плодов дикорастущие яблоневые и грушевые леса Предкавказья, а подмосковные рощи теряют понемногу свою пышную, чуть тронутую золотом, увядающую листву. На просторах нашей Родины сосредоточена треть мировых запасов леса.

Лес! Сколько в нем прелести и обаятельной красоты! Трудно сказать, когда он особенно хорош. Весной ли, в пору набухания почек и разворачивания листьев, или в пору цветения и буйного роста, или летом, когда его мощный зеленый ковер сливается с горизонтом, или осенью, когда пронизанный солнцем он играет разными красками, утопая в золоте. А, может быть, зимой? Притихший и заснеженный, он сверкает тогда в белом наряде. Лес хорош в любую погоду — при солнце и при дожде, и даже тогда, когда па полях лютует холодный ветер.

Поразительными контрастами наделен лес на нашей земле. На 70° с. ш., в тундре, можно встретить заросли арктических ив и карликовой березы, южнее, в лесотундре, — словые редколесья и кривоствольные «пьяные» березняки. Дальше к югу уже можно любоваться густыми древостоями пихты, сосны и ели, сначала в долинах рек, а затем и на водоразделах. Еще южнее начинается безбрежная тайга. Здесь сумрачные массивы елово-пихтовых лесов сменяются обласканными солнцем сосняками, под пологом которых ковром стелется сухой пружинистый мох и лесная подстилка. Еще южнее перед нами расстилаются звенящие раскатистыми птичьими голосами хвойно-широколиственные леса. На фоне темной зелени елей и сосен отчетливо выделяются белоствольные березы. На смену красноелью выступают светло-зеленые осины и березняки. Они переходят в лесостепь, где лес расположен островами разной величины. Ели здесь уже нет, на песках редко попадает сосна. Чем дальше на юг, тем меньше лесов. В степях леса уходят с водоразделов в долины рек и балок. Только в балках удерживаются осина и береза.

В полупустынной и пустынной зонах леса уже редкость. Здесь они встречаются по поймам рек. На раскаленные пески барханов отваживается наступать один приземистый саксаул с чешуевидными листьями, меняющими хвою. А дальше в горах — снова царство лесов. В Киргизии и Туркмении — леса грецкого ореха, ели тьяньшаньской, пихты кавказской, а на востоке страны — лиственницы, кедра корейского и сибирского.

Розовым облаком поднимается туман над гладкой поверхностью озера. В открывающейся зеркальной глади возникает смутное отражение прибрежных деревьев. Туман поднимается все выше и выше. На воде уже заметно колеблется отражение темных елей, белоствольных берез, стройных сосен...

Неподвижный обступивший озеро лес... Ночь ушла... А утро еще не наступило. В этот предрассветный час особенно тихо в лесу. Вдруг яркий золотой луч зайчиком скользнул по листве и замер на красноватой коре сосны. Сильные потоки света хлынули на зеленый шатер леса, пронизав его до самой земли. Но вот показалось солнце. Коротко прошелестела листва осин и берез. Где-то осторожно свистнула птица, и снова тишина.

По зеркальной глади воды лениво разбегаются чуть заметные круги. Появилось отражение рогатой головы лося, проснулась черноголовая славка и затянула свою песню. И вот разом запели птицы, лес ожил и зашумел. Крот — этот отличный землекоп — выбросил кучку земли на поверхность, вдохнул свежего воздуха и снова ушел в нору.

В прошлогодних листьях около старого пня зашевелился еж. Он поднял свое узенькое чуткое рыльце и спрягался в пне. Вечером и ночью он снова выйдет из гнезда и будет уничтожать насекомых, мышей и ядовитых змей.

Прыгнула с одного дерева на другое белка. Усевшись на ветке сосны, она, любопытствуя, посмотрела вниз и выронила из лапок еловую шишку. Упавшая шишка вспугнула козодоя, ночного охотника за насекомыми.

На листьях дуба ползают мохнатые гусеницы шелкопряда, но уже слышен крик птиц. Между травинками по излюбленным тропам пробираются муравьи.

Среди деревьев черемуха. Она стоит чистая, темно-зеленая. Только иногда ее опутывает паутиной моль. У черемухи черешковые листья. На каждом черешке — нектароотделительные железки. Это сладкое вещество привлекает муравьев, самоотверженно защищающих деревья от вредителей. «Неутомимые... хлопотливые... сонные... шустрые... энергичные... немые... деловитые... осторожные... предусмотрительные... мудрые... жалкие... безжалостные... ничтожные... надоедливые... свирепые... коварные... ненасытные... дружные... муравьи защищают лес» (Халифман, 1963, стр. 7). Некоторые из них добывают сладкий корм не от тлей или червцов, и не только на черемухе, но и на других растениях.

Кто не знает, что птицы — друзья леса, что разорять птичьи гнезда — значит вредить лесу! Но одна муравьиная семья за день уничтожает насекомых в 30—60 раз больше, чем самые заслуженные враги вредителей из мира пернатых, такие, как дятлы или синицы. Однако она и сама иногда становится жертвой. Возле старого высохшего дерева трудятся муравьи. Но вот на муравейник опустилась лапа медведя. Это его лакомство. Поблизости лежит павшая зимой ель. Весной под ее корой отложили яйца короеды: гравер, халькограф, типо-

граф, а в древесине — полосатый древесинник, черные усачи. Медведь не прочь отведать и их личинок.

Бесчисленные насекомые, птицы и звери живут и размножаются в лесу. Они очень активны летом.

Но в лесу много такого, чего нельзя увидеть простым глазом. Это микроорганизмы. Отмирает трава в лесу и в поле, засыхают ветви деревьев и падают на землю. Ежегодно происходит листопад, вываливаются целые деревья. Все это в конечном итоге сгнивает и минерализуется. В этом процессе большую роль играют грибы и бактерии.

Жизнь леса прекрасна и таинственна. Она всегда влекла к себе человека. В путанице лесных троп, в сумерках лесной чащи человек всегда мечтал разгадать эту сложную, во многом загадочную жизнь, познать ее законы.

Все мы любим и, казалось бы, знаем лес. А все-таки простой вопрос, что такое лес, может любого поставить в тупик. Лес, скажут, множество деревьев. Нет! Лес нельзя рассматривать, как простое скопление трав, животных, насекомых, случайно оказавшихся в соседстве с деревьями.

Лес не только деревья. Лес это животные, населяющие его, и микроорганизмы в почве. Ликвидируйте птиц и муравьев, и лес будет обречен на гибель. Без леса мелеют и заиливаются реки, уничтожаются нерестилища и сокращается запас рыбы.

Во многих местах земного шара пустыни возникли в результате уничтожения леса. Леса питают атмосферу кислородом и берут из нее углекислый газ. Любая растительность, в том числе и лесная, тесно связана с микроорганизмами и почвенной фауной; не будь растительности, нечем было бы питаться микроорганизмам и почвенным животным. Без них не может существовать и лес, так как минеральные вещества не будут переходить в усвояемую форму.

Лес — совокупность участков с древесной и другой растительностью, связанная с почвой, атмосферой, гидросферой, животным миром и микроорганизмами. Это живой организм, непрерывно продуцирующий органическую массу и, в частности, древесину.

Лес способствует переводу атмосферных осадков в почву и грунтовые воды, в то же время задерживая их

на кронах, регулирует гидрологический режим водосборных бассейнов и рек. Он предотвращает смыв и размыв почвы, умеряет силу ветра и гасит пыльные бури.

Лес способствует улучшению климата прилегающих полей, уменьшает на них испарение влаги и способствует повышению урожаев сельскохозяйственных культур. Он создает нормальные гигиенические условия для жизни человека и удовлетворяет его эстетические запросы; обеспечивает пищей животных, создает им благоприятные условия для обитания. Рост леса зависит от плодородия почвы, к тому же и сам лес улучшает почву.

Лес непрерывно меняется и развивается. Все отжившее в нем отмирает. На смену приходит новая растительность, непрерывно изменяется видовой состав и численность микроорганизмов и животных. Изменяются тепловой и водный режимы, состав, сомкнутость и ярусность леса.

В зависимости от климатических и почвенных особенностей леса бывают разные. На севере Европы, Азии и Северной Америки расположена широкая подзона хвойных лесов, или тайги. Эти леса характеризуются наименее сложным ярусным строением, часто они состоят из какой-либо одной древесной породы — ели, пихты, сосны, лиственницы.

Летнезеленые леса из широколиственных и мелколиственных древесных пород составляют растительный покров более южных районов тех же материков. Здесь уже большее количество ярусов. В этих лесах произрастают береза, осина, дуб летний и зимний, бук, граб, липа, клен, ясень и др.

Жестколистные леса и кустарниковые заросли распространены в областях сухого климата. Они характеризуются сложным ярусным строением и наличием ряда лиан и эпифитов. В этих лесах можно встретить деревья и кустарники: дубы (каменный, пробковый, зимний), эвкалипты, земляничное дерево, мирт, маслину. Большинство из них имеет небольшие жесткие серо-зеленые матовые листья, косо расположенные по отношению к солнечным лучам или сильно редуцированные.

Крайним звеном в ряду усложнения структуры леса являются влажные тропические и экваториальные леса. Они отличаются пышным развитием, чрезвычайно слож-

ным ярусным строением, разносоставностью, наличием вечнозеленых растений, множества лиан и эпифитов, малым ветвлением деревьев, досковидными корнями, крупными кожистыми жесткими листьями, образованием цветков прямо на стволах.

В пределах одной растительной зоны лес неоднороден. С изменением почвы и гидрологических условий существенно изменяется состав и продуктивность отдельных участков леса. Такие древостой классифицируются как отдельные типы леса. Типом леса академик В. Н. Сукачев называет объединение участков леса, однородных по составу древесных пород, по другим ярусам растительности и фауне, по комплексу лесорастительных условий (климатических, почвенных и гидрологических), по взаимоотношениям между растениями и средой, по восстановительным процессам и направлению смен в них, а следовательно, требующих при одинаковых экономических условиях однородных лесохозяйственных мероприятий (Сукачев, 1964). Из этого определения следует, что к лесу необходим подход как к определенному противоречивому единству, где вся растительность, фауна, почва, воздух находятся в тесном взаимодействии. В. Н. Сукачев (1964, стр. 23) назвал это природное единство «биогеоценозом—или совокупностью на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющей особую специфику взаимодействий слагающих его компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и другими явлениями природы и представляющей собой внутреннее диалектическое единство, находящееся в постоянном движении и развитии».

В природе биогеоценозы не существуют изолированно от условий среды. В процесс взаимодействия их с остальными компонентами природы происходит изменение самих биогеоценозов. Они могут быть обусловлены возрастом, хозяйственной деятельностью человека или взаимодействием одного биогеоценоза с другим. В результате могут создаваться условия, менее благоприятные для произрастающих в нем растений, и в фитоценоз внедряются новые, приспособленные к ним виды.

Кроме того, существуют конкурентные отношения между фитоценозами: более мощный фитоценоз вытесняет



менее устойчивый. Примером может служить смена соснового фитоценоза еловым. Вытеснение одних растений другими может происходить путем заноса растений из одного биогеоценоза в другой. Например, сосна или береза часто сменяются елью, которая изменяет кислотность почвы и вызывает смену микрофлоры, мезофауны и других компонентов. Такая смена может происходить от избытка влаги в период отмирания фитоценоза, достигшего естественной спелости: после рубки, лесных пожаров, ветровалов и т. п.

Под составом древостоев понимается степень участия пород в древостое. Если в древостое одна порода, он называется чистым, несколько — смешанным. При описании состава доля участия каждой древесной породы обозначается по десятибалльной системе, причем за 10 принимается наличный запас всех пород древостоя. Например, 10С обозначает, что древостой состоит из одной сосны. Если в древостое по запасу древесины  $\frac{4}{10}$  приходится на долю сосны,  $\frac{4}{10}$  — ели и  $\frac{2}{10}$  — березы, состав его обозначается так: 4С, 4Е и 2Б. Сумма цифр, стоящих перед наименованием пород, должна равняться десяти.

Сомкнутость характеризует степень густоты крон деревьев. Если кроны смыкаются настолько, что притеняют почти всю почву, древостои называются сомкнутыми. Сомкнутость и полнота — не одно и то же. Полнота определяется по сумме площадей сечения деревьев на высоте груди. В полных древостоях просветы между кронами деревьев невелики, а иногда их вовсе нет. Сомкнутость таких древостоев приравнивают к единице, а сомкнутость более редких выражают в десятых долях. К полным относятся насаждения, в которых сумма площадей сечения в том или ином возрасте конкретного типа леса максимальна.

Степень полноты также принято выражать десятичными дробями: например, 1,0 означает, что древостой полный (гуще быть не может), 0,9 — в древостое имеется 0,9 запаса полного древостоя и т. д.

По форме древостои могут быть простыми и сложными. Простыми называются те, в которых все деревья примерно одинаковой высоты, они образуют один ярус. Если в древостое один или несколько ярусов, он называется сложным — двухъярусным. В природе часто бывает, что ярус I составляет сосна, ярус II (пониже) — ель. При

описании сложных древостоев следует рассматривать каждый ярус отдельно.

Возраст древостоев можно определить по числу годовичных слоев на пнях срубленных деревьев: ежегодно образуется только один слой. У хвойных деревьев годовичный слой состоит из двух частей, которые по неопытности можно принять за два слоя.

Древостои бывают одновозрастными и разновозрастными. Если возраст деревьев колеблется в пределах одного класса возраста (10—20 лет), древостой считается одновозрастным, если эти колебания выходят за указанные пределы,— разновозрастными.

Под типом леса понимается совокупность древостоев, объединяемых одинаковыми почвенными, гидрологическими условиями, животным миром и микрофлорой, близким составом мхов, кустарничков и трав.

Древостои, выросшие на супеси и суглинке и состоящие из сосны или ели с примесью березы и имеющие в живом покрове зеленые мхи с ягодниками, относятся к типу леса соснового или елового бора-зеленомошника. Сосновый древостой, выросший на песчаных почвах с покровом из белого (оленьего) мха,— это бор-беломошник. Сосновый древостой, растущий на песчаных и глубоких супесчаных почвах с покровом из вереска и мхов, именуется вересково-мшистым. Сосновый древостой на плодородных почвах, где в покрове есть зеленые мхи и травы, среди которых значительно распространена кислица, называется бором-кисличником. Сосновый древостой на плодородных известковых почвах, в покрове которого преобладают травы, относится к сосновому травянистому бору, а ель, выросшая на плодородных суглинистых почвах с богатым травяным покровом,— к травяному ельнику.

Еловые и сосновые древостои, возникшие на пониженных равнинах, на почвах, склонных к заболачиванию, и покрытых мощными подушками мха (кукушкин лен), составляют типы леса сосняки и ельники-долгомощники.

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ЛЕСОМ И АТМОСФЕРОЙ**

### **АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ И ИХ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ**

Значение атмосферных осадков в различных районах нашей страны весьма различно. В одних они благотворно влияют на природу, в других — приносят только вред. Зависит это от степени увлажненности территории.

Значение осадков для растительности огромно, особенно во время засухи, когда земля трескается от зноя и деревья стоят поникшие, а листва на них свертывается и сереет. Если в такую пору приходит дождь, а с ним и пасмурные, дни, растительность начинает заметно оправляться.

Осадки, выпадающие на той или иной территории, образуются из водяного пара, частично перенесенного движением воздушных масс извне, а частично образующегося в ходе местного испарения влаги. Так как воздух с содержащимся в нем паром находится в непрерывном движении, горизонтальная скорость которого по сравнению с вертикальным перемещением водяных паров достаточно велика, то естественно, что осадки, выпадающие на малых площадях, как правило, будут состоять преимущественно из влаги, перенесенной извне. И только в районах влажных тропиков возможны местные осадки.

В связи со сказанным существенно определить коэффициент местного влагооборота, показывающий, сколько раз влага, пришедшая извне и выпавшая на данной территории, будет испаряться и здесь же выпадать вновь.

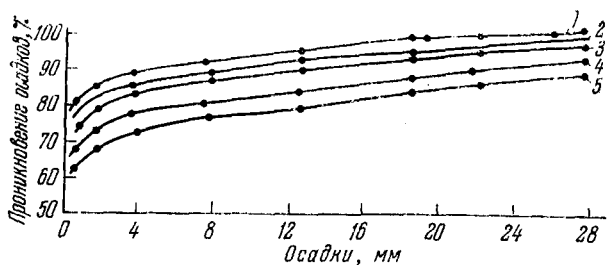


Рис. 1. Проникновение осадков сквозь полог дубовых древостоев в зависимости от интенсивности дождей.

Возраст древостоев: 1 — 15—20 лет; 2 — 21—30 лет; 3 — 45—55 лет; 4 — 220—230 лет; 5 — 56—66 лет

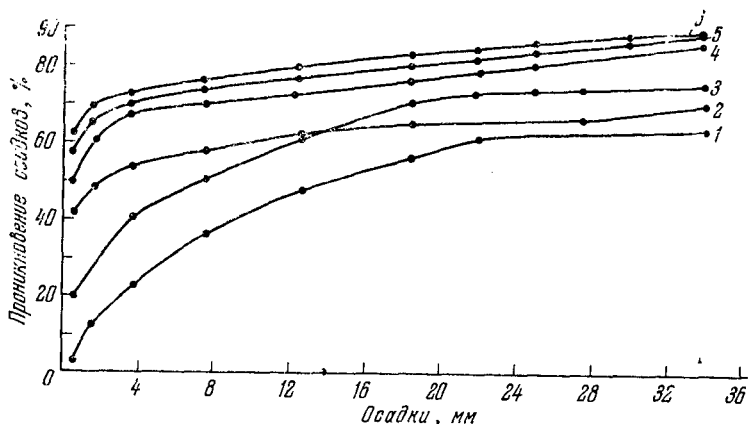
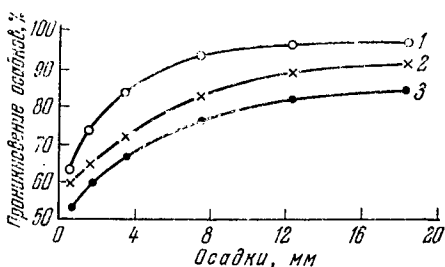


Рис. 2. Проникновение осадков сквозь полог хвойных древостоев в зависимости от интенсивности дождей.

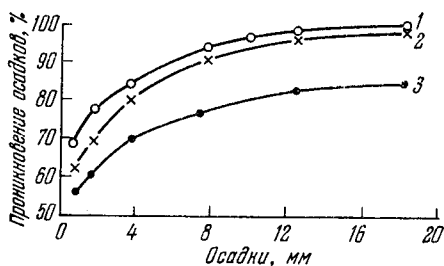
1 — 60-летний еловый древостой; 2 — 33-летний сосновый древостой; 3 — 150-летний сосновый древостой с густым еловым ярусом; чистый сосновый древостой: 4 — 12-летний; 5 — 150-летний; 6 — 165-летний

Новейшие исследования говорят, что средние скорости ветра над Европой на высоте 3 км составляют свыше 30 км/час. Если учесть площадь Западной и Средней Европы, то при такой скорости некоторый объем воздуха, движущийся в одном направлении, может пройти эту территорию за двое суток. Поэтому распространенное ранее



**Рис. 3.** Проникновение осадков сквозь полог ясеневых древостоев в зависимости от интенсивности дождей.

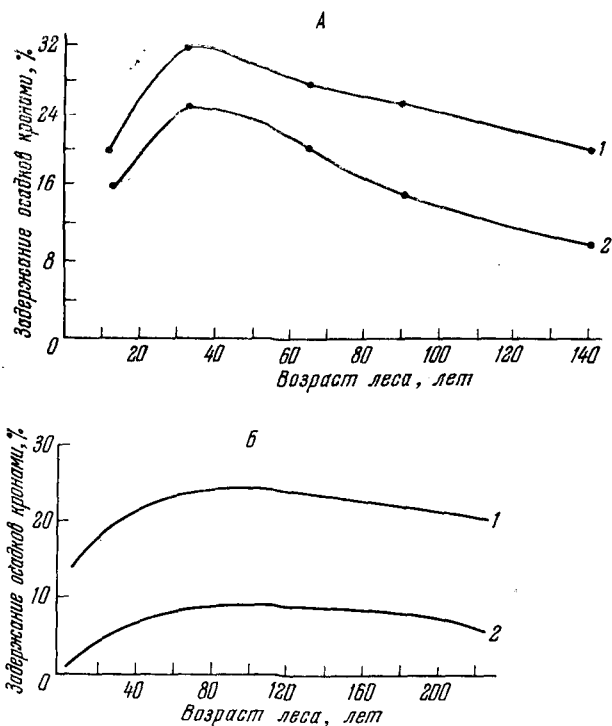
Возраст древостоев: 1 — 70 лет; 2—36 лет; 3—15—26 лет



**Рис. 4.** Проникновение осадков сквозь полог осиновых древостоев в зависимости от интенсивности дождей.

Возраст древостоев: 1 — 42—52 года; 2 — 37—47 лет; 3—25—35 лет

мнение о том, что для Западной и Средней Европы величина приходящих осадков составляет лишь  $\frac{1}{3}$  общей их суммы, неправильное (Будыко, 1948; Дроздов и Григорьев, 1963; Кашин и Погоян, 1950). Осадки на относительно больших территориях составляют сравнительно небольшую величину по отношению ко всей той воде, которая переносится над ними воздушными массами в течение всего года. Так, в Европейской части СССР осадки составляют только 37% от общего количества влаги; из них только 13% образуются вследствие местного круговорота влаги.



**Рис. 5.** Задержание осадков на кронах в полных сосновых (А) и дубовых (Б) древостоях различного возраста  
1 — проникновение дождя; 2 — проникновение снега

Правда, в отдельные короткие периоды доля местного испарения в количестве выпадающих осадков может быть и больше указанной. Особенно это наблюдается в летнее время при циклонической деятельности, когда по условиям циркуляции за пределы данной территории выносятся мало влаги и большая часть ее идет на образование облаков.

Количество осадков, выпадающих в различных местах земного шара, варьирует от 0 до 5000 (10 000) мм, а в отдельных случаях, особенно в местностях, покрытых лесом, их больше. В СССР, например, леса растут, с одной стороны, в районах, получающих немного больше 150 мм осадков в год (некоторые районы Якутии), а с другой —

до 2000 мм (Черноморское побережье Закавказья). Разнообразные формы атмосферных осадков (дождь, роса, снег, град, изморозь, ожеледь), их соотношение, количество и распределение во времени действуют на биогеоценозы суши весьма специфично.

Большое значение для всех биогеоценологических процессов имеет также ход выпадения осадков в течение года или вегетационного периода. Особенно важны осадки в форме дождя и снега, так как они составляют основную часть влаги, получаемой зеленой поверхностью, и играют главную роль во взаимодействиях всех компонентов биогеоценоза.

При мелком дожде капли рассыпаются по листьям. Не долетая до земли, они оседают на кронах и листве и только спустя некоторое время, если дождь продолжается, начинают падать с намокших деревьев на землю, зеленую траву и подстилку. При слабом дожде сквозь кроны всех древесных пород проникает очень незначительная часть осадков. По мере увеличения интенсивности дождя проникновение их увеличивается (рис. 1—4).

Осадки частично задерживаются также травянистыми растениями, мхом, подстилкой и испаряются с их поверхности. Особенно много остается осадков на кронах еловых древостоев, несколько меньше — сосновых и заметно меньше — лиственных. Менее всего влаги задерживают лиственные древостои — береза, дуб, осина.

Количество задерживаемых осадков зависит также от частоты стояния растений и от густоты крон. Именно этим объясняется обычно наибольшее задержание осадков в лесах в период кульминации текущего прироста древесных пород (рис. 5, А, Б); когда наиболее густо охвоение или облиствение крон и полог леса сомкнут, а также в насаждениях одной и той же породы в северных широтах, где сомкнутость древостоев и охвоение больше, чем на юге.

Особенно сильно задерживается на деревьях влажный снег. Исключительно благоприятные условия для накопления снега на деревьях создаются тогда, когда при низкой температуре вблизи от поверхности земли в верхних слоях атмосферы пронесется теплое воздушное течение. В этих случаях влажный снег, соприкасаясь с холодными ветвями, настолько прочно примерзает к ним, что его не может сбросить даже сильный ветер. При обильном и

длительном снегопаде от снега страдают не только жердьяки и приспевающие, но и спелые насаждения. Расход влаги в 30-летней дубраве при средних осадках за 10 лет 515 мм, распределяется следующим образом (в %):

Транспирация	63,5
Испарение с крон летом	11,8
Испарение с крон зимой	1,9
Испарение с травяного покрова и почвы	11,9
Сток по горизонту В	4
Проникновение до глубины 2 м (пополнение запасов влаги в почве)	14,1
Проникновение на глубину более 4,5—5 м (глубже корнеобитаемого слоя)	5,5

Следует подчеркнуть, что в самой растительности имеются резервные запасы воды в размере 105 т/га и в почве — 13 т/га.

Попадая в почву, осадки растворяют минеральные вещества и, перемещаясь в горизонтальном и вертикальном направлении, создают возможность их химического взаимодействия с растениями, удовлетворяют потребность растений и микроорганизмов во влаге. Они изменяют температурный режим почв и их аэрацию. Кроме того, осадки приносят в почву некоторое количество органических и неорганических веществ, увлекаемых дождевыми каплями из атмосферы и с поверхности надземных частей растений:

	N	P	K	Ca	Mg	Na	C
В осадках над кронами	9,38	0,41	2,93	7,29	4,59	12,63	51,18
В осадках под кронами	8,79	1,35	27,64	16,98	9,8	21,58	225,89
Сток с поверхности	—	—	2,18	12,84	7,92	2,49	—
Грунтовый сток	—	—	5,61	18,26	9,05	6,10	—

В процессе миграции атмосферных осадков сквозь кроны древостоев, поверхностного и грунтового стока их химический состав резко меняется: при прохождении осадков сквозь кроны древостоев увеличивается количество углерода и других минеральных веществ.

Влага, достигшая поверхности почвы, частично поглощается подстилкой, частично стекает по поверхности в понижения рельефа и долины, а также инфильтруется в глубь почвы. Величина и глубина инфильтрации зависят



от количества проникших к почве осадков и степени насыщенности почвы водой, от физических свойств почвы и возраста древостоев. В приспевающих древостоях вследствие большего иссушения почвы вода проникает в нее на меньшую глубину, чем в спелых.

В умеренном климате в инфильтрации влаги участвуют главным образом снеговые талые воды. Исключение составляют пески, где благодаря особо хорошей проницаемости интенсивная инфильтрация воды происходит как весной — при снеготаянии, так и летом — во время ливней.

Для иллюстрации можно привести ряд примеров, характеризующих распределение воды, поступившей весной из снега на темно-серых лесных почвах:

	1960 г.	1961 г.	1962 г.
Запас воды в снеге, мм	155	109	184
Распределение по глубине, %			
поверхностный сток	44,5	12,6	12,1
до горизонта В	22	6,8	8,1
до глубины 200 см	12	3,0	7,9
до глубины 4,5 м и более	4,5	1,9	7,6

### Перераспределение осадков по площади и его последствия

Распределение осадков по поверхности почвы существенно влияет на многие биогеоценотические процессы и продуктивность биогеоценозов.

В процессе стока атмосферных вод и выноса ими органического вещества и мелкоземного материала осуществляется обмен между отдельными биогеоценозами суши и моря, что является важной ветвью в большом геологическом круговороте минеральных веществ и воды.

Поверхностное и внутрипочвенное перемещение атмосферных осадков, а вместе с ними почвенных растворов и органических продуктов влияет на почвообразовательные процессы, на появление новых веществ в минеральной части почвы, на поглотительную способность почвы, питание и рост растений, на жизнедеятельность микроорганизмов и животных, непрерывно изменяющих почву.

На величину поверхностного стока оказывают влияние осадки, подстилающая горная порода и глубина ее залегания, рельеф местности, размер водосборного бассейна, скорость таяния снега, насыщенность почвы водой, растительный покров, обработка почвы и мероприятия по регулированию водного режима территории. Влияние этих факторов очень сложно, и, хотя все они известны, условия стока можно рассчитать лишь приблизительно.

При отсутствии эффективного почвенного покрытия горных пород, незначительной инфильтрационной способности почвы, при незначительных и немногочисленных углублениях на поверхности почвы, при отсутствии растительного покрова, а также прудов и болот в сильно пересеченной местности со склонами крутизной  $> 30^\circ$  влага перераспределяется с поверхности почвы интенсивно.

Высокий поверхностный сток наблюдается на холмистом рельефе с уклоном от  $20$  до  $30^\circ$  при наличии немедленного поглощения воды глинистой почвой с растительным покровом, занимающим не более  $10\%$  площади. Поверхностное задержание воды в углублениях почвы незначительное. Система водостоков выражена определенно. Пруды и болота отсутствуют.

Нормальный сток наблюдается на волнистом рельефе со средней крутизной склонов от  $5$  до  $10^\circ$  при нормально глубоких суглинистых почвах с хорошей инфильтрацией. Когда лесной и травяной растительностью покрыто до  $50\%$  дренируемой площади, поверхностное задержание воды микроуглублениями значительное. Такой сток аналогичен стоку в типичных степных районах, где пруды и болота занимают около  $2\%$  площади.

Низкий сток приурочивается к водосборам со сравнительно ровной поверхностью, с крутизной склонов менее  $5^\circ$ . Инфильтрация воды в почву хорошая. Почвы глубокие песчаные или супесчаные, быстро поглощающие воду. Растительность лесная и травяная, занимает около  $90\%$  территории.

На водоразделах таежной зоны, в отличие от других лесорастительных зон, поверхностный сток проходит очень медленно. На ровных или на очень слабо выположенных водосборах, покрытых суглинистыми и супесчаными почвами, подстилаемыми тяжелым, слабо проницаемым моренным суглинком, сток атмосферных осадков в гидрографическую сеть происходит внутри почвы, над

горизонтом В, и продолжается различное время в условиях слабо выраженного рельефа. На слегка всхолмленных участках атмосферная влага стекает внутриводосборным стоком после исчезновения снега в 5—6 дней; на ровных участках — в течение 25—30 дней, в понижениях со слабо выраженным уклоном — в 38—40 дней, а в котловинах вода задерживается до 1,5—2 месяцев и вызывает заболачивание.

В условиях равнинного рельефа поверхностный сток получает минимальное значение на грубозернистых субстратах. В частности, на глубоких песчаных почвах он не превышает 1%. Подавляющая часть весенних вод поступает в этих условиях в грунтовые воды.

Сток меняется в зависимости от экспозиции склонов. На северо-западных склонах коэффициент стока в 1,3 раза меньше, чем на юго-восточных.

Увеличивая продолжительность снеготаяния, существенно влияет на распределение стока лес. В лесостепной и особенно в степной зонах поверхностного стока в лесу почти нет, так как вся вода впитывается в почву и поступает в реки подземным стоком.

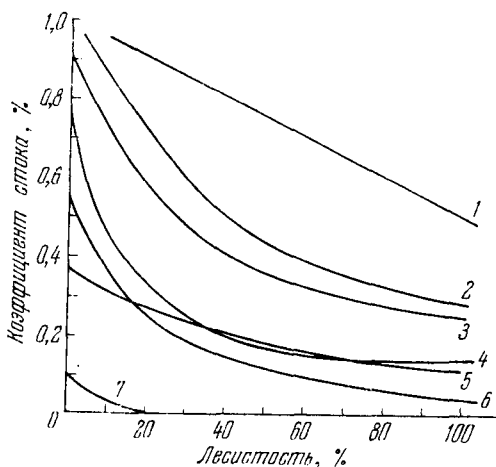
Разные типы леса влияют на поверхностный сток неодинаково. Например, в Теллермановском опытном лесничестве (Воронежская область) в снытевой дубраве он достигает 1,6%, в осоково-снытевой дубраве с более дернистой подстилкой он равен 4%, в полево-кленовой — 18%, в солонцовой дубраве — 32% в год. В ельниках Московской области, на дерново-подзолистых суглинистых почвах, годовой сток по поверхности варьирует от 15 до 26%, в сосняках на таких же почвах он равен 7%.

Лес регулирует сток не только на занятой им территории, но и на прилегающих безлесных площадях, если он расположен над и под полевыми угодьями. Поверхностный сток зависит от распределения лесов по водосбору и от процента лесистости водосборного бассейна (рис. 6, 7).

На тяжелосуглинистых и глинистых почвах сток с малых водосборных бассейнов (15—20 га) в зоне хвойно-широколиственных лесов изменяется в тесной связи со степенью разрыхленности почвы корнями древесных пород. Под пологом еловых древостоев с поверхностно развитой корневой системой поверхностный сток обратно пропорционален лесистости. На суглинистых почвах с

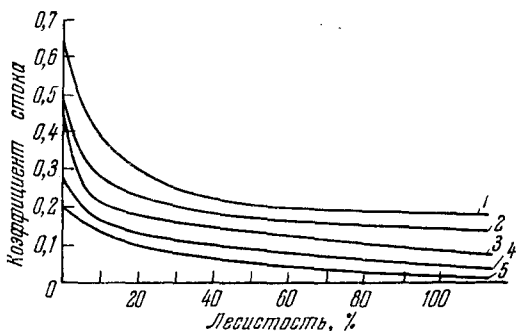
увеличением лесистости от 0 до 50% он резко уменьшается, а затем при дальнейшем увеличении лесистости слабо сокращается. Уменьшение поверхностного стока выражено тем сильнее, чем больше пронизана почва корнями древесных пород. Под пологом сосновых древостоев на суглинистых почвах он резко сокращается с увеличением лесистости от 0 до 25%, а при дальнейшем ее увеличении сток уменьшается слабо. На супесчаных почвах, если лесистость возрастает до 20%, сток резко падает. Дальнейшее повышение лесистости почти не вызывает изменения поверхностного стока. Вполне естественно, что чем меньше поверхностный сток, тем меньше развиты и эрозионные процессы.

Леса, расположенные на различно эродированных почвах при различной расчлененности территории, также по-разному влияют на перераспределение атмосферных осадков. При очень сильном расчленении водосборных бассейнов гидрографической сетью (3 км/км<sup>2</sup>) коэффициент поверхностного стока даже при лесистости 30% составляет 0,24; при сильной расчлененности (2 км/км<sup>2</sup>) он равен 0,20, при средней (1 км/км<sup>2</sup>) — 0,12. С дальнейшим



**Рис. 6** Поверхностный сток в зависимости от лесистости на различных по механическому составу дерново-подзолистых почвах.

ель: 1 — на глине; 2 — на тяжелых суглинках; 3 — на суглинках; сосна: 4 — на суглинках; 6 — на супесках; 7 — на песках; 5 — зябь, окруженная лесом: 4Б, 3Е, 3Ос



**Рис. 7.** Поверхностный сток в лесостепи в зависимости от лесистости  
 1 — на очень сильно смытых почвах; 2 — на сильно смытых почвах; 3 — на средне смытых почвах; 4 — на слабо смытых почвах со степенью покрытия почвы травяным покровом 0,34; 5 — на очень слабо смытых почвах, со степенью покрытия почвы 0,75

уменьшением расчлененности водосборов коэффициент стока существенно уменьшается, достигая величины 0,08. По мере увеличения лесистости он также уменьшается, составляя при лесистости 80% на очень сильно расчлененных водосборах 0,18, а на сильно, средне и слабо расчлененных — соответственно 0,15, 0,8 и 0,3.

Заболоченные территории, особенно болота, являются аккумуляторами влаги. На сплошь заболоченных территориях коэффициент стока на 14% меньше, чем на незаболоченных. Однако при перенасыщении торфа весенней водой сток с заболоченных площадей может увеличиваться. Все это, конечно, накладывает существенный отпечаток на биогеоценотические процессы, происходящие в болотах.

В южных районах коэффициент стока с увеличением лесистости уменьшается сильнее, чем в северных, а в пределах одного района он становится меньше с увеличением лесистости; сток зависит также от механического состава почвы — на легких почвах он меньше, чем на тяжелоглинистых и суглинистых.

Для правильной оценки гидрологической роли леса в малолесных и засушливых районах надо иметь в виду, что минимальные расходы воды на сток и испарение наблюдаются на небольших площадях полей, окаймленных лесными полосами. При возрастании такой площа-

Ди испарение и сток вначале увеличиваются постепенно, затем (с поля размером более  $500 \times 600$  м) уже более резко. Таким образом, оптимальная площадь полей в центрально-черноземных районах должна быть не более  $500 \times 600$  м, по мере удаления на юг и особенно на юго-восток ширина полей должна уменьшаться с учетом высоты защитных насаждений.

Водорегулирующее значение могут иметь не только большие сплошные массивы, но и разобщенные участки леса и лесных полос, расположенные по склонам. В горах и холмистых местностях особенно большое влияние на поглощение почвой воды оказывают лесная подстилка и густота леса. В сомкнутом лесу смыв атмосферными осадками мелкозема практически близок к нулю, но в изреженных рубкой древостоях он может достигать 3—4 т/га, на сплошных лесосеках — до 10—15 т/га, а если поверхность почвы разрушена в процессе трелевки механизмами, то и больше.

Выделение водоохраных лесов в 30-х годах сыграло важную роль в сбережении лесов, водных и земельных богатств нашей страны. Однако в настоящее время необходимо усовершенствование существующей системы. Опыт показал, что сравнительно узкие ленты лесов в таежной зоне и подзоне смешанных лесов вдоль главных рек не в силах задержать сток с водосборных бассейнов, так как он подходит к берегам концентрированными потоками по малым рекам, ручьям, оврагам, балкам и другим понижениям и временным водотокам. Чтобы обеспечить полное поглощение воды почвой, необходимо распределить леса с максимально возможной равномерностью по склонам водосборных бассейнов. В таком случае снег с полей не сдувается, а ложится равномерно. Накопившаяся на полях в процессе снеготаяния вода интенсивно поглощается почвой под лесом, окаймляющим поля, и поступает в реки грунтовым стоком. Это обеспечивает непрерывное питание рек водой и предотвращает их обмеление.

Лесистость в каждом отдельном районе меняется в зависимости от условий рельефа, почвы, ее механического состава, степени эродированности, степени заболоченности территории, геологических напластований и глубины залегания водоупора. ]

## **Влияние поверхностного стока на эрозионные процессы**

На северных склонах и на безлесной равнине сток начинается позднее и менее дружно, чем на южных. На южных склонах почва уже освободилась от снега, а на северных — одиночные струйки воды только начинают пробираться в ложбины. Заметно больше воды струится по борозде или по дорожной колее. Тихо течет вода по поверхности уплотненного снега. Вскоре, собравшись в потоки, она врывается в почву. Весна вступает в свои права. Потоки образуют шумящие водовороты. Вода неутомимо размывает грунт. Но буйство воды вскоре прекращается.

Там, где сохранилась почва, молодо и ярко зеленеют озимые, набухают почки деревьев. Все ожило, только смытая почва и новый овраг безжизненной темной язвой распластались по земле. Овраг и летом продолжает вредить полям. В засушливую погоду он ускоряет испарение воды из почвы.

Летний ливень не вызывает потоков воды в лесу, но в поле по межам и оврагам снова бегут шумливые ручьи. Одни из них маленькие — от бугорка до соседней ямы, другие, глубокие и бурливые, текут по водороснам и оврагам. Они также вырывают со дна желтую глину, подмывают берега, отрывают от них комки земли и несут в реки.

Капли дождевой воды падают на землю со скоростью от 4 до 9 м/сек. Это настоящие бомбы, если они упадут в поле или на луг. А их за один дождь выпадает миллионы.

Встреча с дождевой каплей самолета, летящего со сверхзвуковой скоростью, превышающей 2 тыс. км/час, не говоря уже о встрече с ракетой, скорость которой свыше 4 тыс. км/час, влечет за собой удар, способный разрушить поверхность самых твердых сплавов и синтетических материалов.

Дождевая вода, падающая на землю, способна «взрывать» верхний слой почвы. При дожде средней силы наиболее мелкие частицы почвы взлетают на высоту 60—90 см и отлетают в сторону на расстояние 1,5 м. Средний размер дождевой капли, если величина осадков составляет 25 мм в час, равен 1,5 мм. Таким обра-

зом, взлет частиц почвы под ударом капли может превышать ее диаметр в 400—600 раз.

Десятимиллиметровый слой дождевой воды, выпавший на площади 1,0 га, весит 100 т. При выпадении 50-миллиметрового слоя дождевой воды в час капли развивают на 1 га энергию, равную 625 л. с. Этой энергии достаточно, чтобы слой почвы толщиной 17,5 см поднять на высоту 90 см 86 раз. Совершающаяся при этом работа превышает 62 млн. кг/м. Она в тысячу раз больше работы поверхностного стока (Горский, 1962).

Густой растительный покров гасит энергию дождевых капель. Он уменьшает разбрызгивание почвенных частиц, снижает поверхностный сток и увеличивает фильтрацию; 2 т травянистого дерна или 3,5 т кустарников и трав, или 6 т зеленой массы хлебов могут погасить на площади 1 га 95% энергии падающих дождевых капель.

Когда количество выпавшей дождевой воды превышает влагоемкость верхнего слоя почвы, начинается поверхностный сток. Его скорость и, следовательно, разрушительная сила зависит от уклона, характера почвы и растительного покрова. Растительный покров уменьшает скорость стока и увеличивает толщину стекающего слоя, иногда до 25 мм. Если толщина слоя воды больше 25 мм, энергия дождевых капель гасится в верхней части слоя и не разрушает почвы, но зато падающие капли вызывают энергичное турбулентное перемещение стекающей воды. После этого уже не капли, а беспорядочно движущиеся частицы воды отрывают и уносят с собой почву. Дождь в какой-то мере всегда размывает почву. В поверхностно стекающей воде может содержаться от  $1/18$  до  $1/3$  взвешенных твердых частиц. Такой смыв носит название поверхностной эрозии.

Эрозия, вызываемая поверхностным стоком, вначале незаметна на глаз. Она проявляется в изменении цвета почвы, ее структуры и в уменьшении в ней количества питательных веществ. Эрозия почв — огромное бедствие. Вследствие неразумного использования многие плодородные земли превращены в бесплодные территории.

Из-за углубления и расширения речных долин, большого развития оврагов и балок общая поверхность черноземной степи значительно увеличилась по сравнению с прежней. Когда-то бесконечные равнины черноземных степей во многих местах превратились в узкие



плато и склоны. С увеличением их поверхности усилилось испарение. Годовой приход влаги в почву постепенно уменьшался, а уровень грунтовых вод понижался. Эта картина усугубилась катастрофическим сокращением лесов в степных районах.

Смыв почвы при вспашке на зябь даже на небольших уклонах составляет 7—11,5 т/га, в то время как в лесу, на дернине, с озимых хлебов и с поля, засеянного клевером, смыв почвы фактически равняется нулю. Там, где на борьбу с эрозией не обращается внимания, смыв почвы достигает угрожающих размеров. Самый большой смыв происходит с необработанных полей из-под картофеля и на полях, вспаханных под зябь вдоль склона. Смыв почвы принимает угрожающие размеры только тогда, когда необдуманное вмешательство человека нарушает природное равновесие. Ставшие бесплодными заброшенные человеком земли со временем снова становятся плодородными, благодаря растительности и все той же воде. Как видим, она способна не только разрушать, но и созидать. Однако естественный процесс восстановления плодородия почвы иногда затягивается на долгое время.

При разумном пользовании землей человек может сохранить и восстановить плодородие почвы гораздо быстрее, чем природа.

Смытая водой почва отличается укороченным почвенным профилем. Чем сильнее она смыта, тем ближе к поверхности залегает материнская порода, а верхний горизонт ее содержит меньше физической глины и илистых частиц. Смытая почва обеднена микроорганизмами, нитратным азотом, калием и подвижными формами фосфора.

Смыв плодородного слоя отражается не только на урожае, но и на весе зерна и содержании в зерне белка. Так, вес 1000 пшеничных зерен, собранных с несмытых почв, составил 33,6 г при содержании 13,8% белка; на сильно смытых почвах он равнялся 25,8 г при содержании 8,9% белка. Урожай на несмытой и смытой почвах составил соответственно 21,6 и 9,5 ц/га.

Рациональное сочетание необходимых мероприятий позволяет значительно уменьшить поверхностный сток талых и дождевых вод и свести губительный смыв почвы к ничтожным размерам. Цель мероприятий — создать

как можно больше препятствий для сдувания снега и слишком быстрого стока талой и дождевой воды. Средства для этого разнообразны: полезащитные лесные полосы, обвалование, глубокая вспашка поперек склонов, прорезка щелей в почве, почвозащитный севооборот, отказ от чистых паров, террасирование склонов, залесение, укрепление оврагов, регулирование пастьбы скота.

Лес — лучший регулятор стока и хранитель плодородия почв. Он предотвращает развитие оврагов, останавливает и укрепляет сыпучие пески, очищает воду от взвешенных частиц и вредных примесей.

Исключительное значение имеет большая водопоглощающая способность залесенных водосборов.

Снеговая и дождевая вода, просочившаяся в глубь почвы, образует грунтовые воды, которые скопляются в более водопроницаемых слоях грунта. В таких слоях грунтовые воды перемещаются медленно, сообразно падению пластов из более высоких частей к более низким. Там, где водоносные слои прорезаются долинами, балками и оврагами, а также в тех местах, где слой почвы сильно утоняется, а водоносный слой залегает неглубоко, грунтовые воды выходят на поверхность. Такие выходы могут находиться весьма далеко от тех мест, в которых вода первоначально поступила в грунт. Места выхода ключей иногда носят иной характер, чем местность питания. Она может быть и безлесной, хотя грунтовые воды поступили из лесистых районов, поэтому сохранение влаги в лесистой местности при подобных условиях существенно влияет на количество ключевых вод безлесных территорий, расположенных далеко от леса.

Наибольшей водопропускной способностью обладают леса, растущие на песчаных и супесчаных почвах, и наименьшей — на глинистых. При одинаковом характере почвы просачивание влаги вглубь под лесом больше, чем в поле. Однако летом и в начале осени вода глубоко в грунт не попадает, а расходуется на транспирацию растительностью.

Иногда по склонам гор низвергаются селевые потоки, или сели. Сель — это грозная лавина из песка и камня. В 1921 г. на Малой Алмаатинке сель вынес за сутки 2,5 млн. м<sup>3</sup> материала, т. е. в 125 раз больше, чем другие реки выносят за целый год. Такие выносы — результат сведения лесов на горных склонах.

В нашей лесостепной зоне процент распаханых площадей колеблется от 45 до 83%, т. е. больше, чем в какой-либо другой стране. Во Франции распахано 41,5% от общей площади, в ФРГ и ГДР — 32,5%, в США — 26,5%, в СССР — 27% (Арманд, 1966).

Разрушение вновь осваиваемых земель наблюдается во всех странах — в северных и южных. Даже в Исландии, где земледелия практически нет, начались эрозионные процессы после вырубki карликовой березы. Резко выраженная эрозия происходит не ежегодно, она приурочивается к годам с обильными осадками. В ФРГ за один 1958 г. эрозией уничтожено 40 тыс. га пашни.

Вполне понятно, что чем больше распахано земель, тем больше предпосылок для развития эрозионных процессов, которые начинают развиваться при крутизне склонов 2°. В настоящее время в США имеется 113 млн. га, в Китае — 150 млн. га, в СССР — 50 млн. га смытых почв.

Нередко можно слышать, что леса мешают вспашке полей. Стремление пахать без поворотов, «от горизонта до горизонта», отказаться от рациональной разбивки полей, сеять из года в год пшеницу на том основании, что она является ценной культурой, распахивать склоны балок и песчаные почвы, обрекая их на эрозию и дефляцию обычно объясняется преступным стремлением выжать из земли все, что она может дать. Выжать все — значит ничего не оставить потомкам.

✓ Лес — незаменимый союзник в охране почв от смыва и размывов. Под влиянием леса прекращаются эрозионные процессы, улучшается и почва. Под ним появляется гумусовый горизонт, увеличивающийся с возрастом леса. Расположенные в оврагах, по их периферии и на склонах леса способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

## **ЗНАЧЕНИЕ ВОДЫ ДЛЯ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ, ЛЕСА И ПИТАНИЯ РЕК**

Для успешного роста древесных пород необходимо достаточное количество воды и тепла, питательных веществ и кислорода. В дубовом древостое содержится 50% воды

от его живого веса. Внутренний дефицит воды вызывает уменьшение вегетативного роста и сказывается на всех процессах, происходящих в дереве. Происходит это таким образом. Обычно рост клеток сокращается в большей степени, чем их деление и дифференциация. В результате деревья дифференцируются раньше и более интенсивно при недостаточном количестве воды, чем при нормальной влажности (Крамер, Козловский, 1963).

Кратковременное увядание листьев влияет на рост растений, уменьшая вес листьев по отношению к весу стеблей, но интенсивность роста возрастает, если растение вновь получает воду. Дефицит воды сказывается на фотосинтезе и поглощении фосфора; содержание азота в листьях понижается, а в стеблях увеличивается. Интенсивность физиологических процессов (дыхание и фотосинтез) не всегда понижается пропорционально уменьшению количества воды. Фотосинтез может уменьшаться, а дыхание увеличиваться.

Рост растения регулируется также различными ростовыми веществами. Наиболее известные гормоны растений — ауксины. Они способствуют росту побегов в высоту и по диаметру, стимулируют рост корней. Слабая корневая система не способствует росту побегов, так как в таком случае уменьшен доступ воды и минеральных веществ к наземным частям. Следовательно, для хорошего развития необходимо нормальное соотношение корней и побегов. Начало роста в высоту вызывает начало роста по диаметру, но последний обычно продолжается и после прекращения роста в высоту.

Наши длительные наблюдения (на одной и той же почве и при одном составе и возрасте древостоя) за ростом деревьев дуба в высоту, по диаметру и массе с одновременным изучением условий среды показали, что около 53% различий в росте было вызвано изменением максимальной температуры и влажности почвы. Первое было важно весной, второе — летом, когда влажность почвы понижалась (табл. 1).

Связь между осадками и приростом не функциональная, а коррелятивная, находящаяся в прямой зависимости от осадков летнего периода и года.

Относительная влажность воздуха была также важным фактором, на его долю падало 28% различий в росте, затем шла интенсивность солнечного света — 17%

Таблица 1. Связь между годовыми, летними осадками и годовичным приростом стволовой древесины

Год наблюдения	Годовые осадки, мм	Летние осадки, мм	Прирост древесины, м <sup>3</sup>	Год наблюдения	Годовые осадки, мм	Летние осадки, мм	Прирост древесины, м <sup>3</sup>
1954	301	180	6,1	1959	361	160	9,3
1955	601	217	7,5	1960	612	371	11,8
1956	594	300	12,5	1961	488	306	9,4
1957	554	219	13,9	1962	531	262	9,1
1958	603	300	15,0	1963	512	194	6,3

различий в росте; некоторое влияние на рост оказывала скорость ветра (2%), но это не прямая, а, скорее, косвенная связь (Крамер и Козловский, 1963).

Годы с высокой интенсивностью суммарной радиации обычно отличаются недостаточным количеством осадков летом и даже за год, что снижает прирост древесины. Наилучший прирост наблюдается в годы с переменной погодой и повышенной температурой. Образование сухого вещества почти прямо пропорционально интенсивности света, благодаря которому в деревьях происходят важные морфологические изменения.

Содержание воды в дереве сказывается на формировании древесины почти в любой фазе, включая продолжительность камбиальной активности и переход от формирования ранней древесины к формированию поздней.

Растения используют атмосферную воду либо непосредственно, либо через почву.

Прямо или косвенно вода — единственный источник кислорода, выделяемого в атмосферу растениями при фотосинтезе. Ежегодная потребность растений в воде составляет  $65 \cdot 10^{10}$  т. Зная, что все количество воды в океанах равно около  $1300 \cdot 10^6$  км<sup>3</sup>, нетрудно рассчитать, что это запас всего на 2 млн. лет — срок совершенно незначительный с точки зрения геологической истории Земли. Но запас непрерывно возобновляется благодаря круговороту воды в природе.

Дождевые воды содержат газы атмосферы, в частности углекислоту, а также азот. На п-ове Индокитай

дождевая вода приносит за год по 8 кг азотной кислоты на каждый гектар земли. В СССР в зоне лесостепи с атмосферными осадками выпадает до 6,5 кг/га различных соединений азота.

По исследованиям, проведенным в Бразилии, каждый кубический метр тумана содержит 50 г воды, в которых растворены 15 — 18 мг углекислоты и 19 мг азотной кислоты. Такая вода разрушает горные породы.

При взаимодействии с почвой вода обогащается новыми веществами в результате процессов гидратации, растворения и гидролиза. Чем больше пористость почвы, тем подвижнее в ней вода.

Воды, текущие по поверхности почвы, а тем более почвенные, обогащаются катионами кальция, магния, натрия и некоторыми анионами (Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>), происхождение которых связано с растворением минералов.

Растения добывают воду главным образом из почвы, впитывая влагу корнями. А сама растительность способствует проникновению и впитыванию дождевых вод в почву, так как благодаря ей уменьшается или почти прекращается сток воды. Поверхностные воды проникают в почву, затем в грунт и пополняют запасы грунтовых вод, запас которых также зависит от древесной и травянистой растительности. Различные древесные породы оказывают неодинаковое влияние на уровень грунтовых вод. Сосна вызывает слабое понижение грунтовых вод, усиливающееся в период кульминации прироста, а ель и лиственница — значительное, даже в спелом и молодом возрасте, не говоря уже о периоде повышенного прироста.

В штате Висконсин американские ученые наблюдали понижение уровня грунтовых вод в районах освоения целины. Подобные факты отмечались во Франции в XIX в. после расширения земель, занятых сельскохозяйственными культурами.

Просочившаяся через почву вода атмосферных осадков поступает в грунтовые воды и подземным стоком достигает ручьев и рек. Нередко можно наблюдать, как в густом лесу на дне котловины бесшумно рождается река. Первые метры своего пути она то прячется под корнями, то выходит на поверхность.

На километр ниже от истоков ручеек становится ручьем, в него впадают другие такие же ручьи.

Воды на земном шаре очень много. Мировые запасы ее исчисляются огромной величиной:

	м <sup>3</sup>	% от общего объема
Пресные воды озер	123 000	0,009
Соленые озера и внутренние моря	100 000	0,008
Наличие вод в реках и протоках	1 230	0,0001
Влага в почве и подпочве	65 000	0,005
Глубинные подземные воды	4 000 000	0,0310
Общий запас надземных вод	4 000 000	0,310
Всего воды в жидком состоянии	8 300 000	0,635
Ледники и ледяные покровы	28 500 000	2,15
Атмосферные воды	12 700	0,001
Моря и океаны	1 300 060 000	97,2

Пресная вода распределена по суше неравномерно. Поэтому там, где она есть, надо ее беречь.

В СССР имеется около 800 000 рек и ручьев, суммарная длина их превышает 5 млн. км. На долю рек длиной более 10 км приходится 200 тыс. Из 16 крупнейших рек земного шара 4 протекают в пределах СССР. Общее количество озер разных размеров достигает 2 500 000, а их площадь составляет около 1 000 000 км<sup>2</sup>. Озер площадью более 10 га 330 тыс. Из 22 озер земного шара с площадью зеркала более 5 000 км<sup>2</sup> семь находятся на территории СССР.

За последнее десятилетие создано свыше 60 больших водохранилищ, в том числе крупнейшее в мире по площади Куйбышевское водохранилище на Волге (6500 км<sup>2</sup>) и крупнейшее в мире по объему Братское водохранилище на Ангаре (179 км<sup>3</sup>).

Несмотря на обилие рек и озер, занимающих 16% всей площади суши, сток составляет только 13% от мирового запаса воды. С поверхности суши, площадь которой равна 150 млн. км<sup>2</sup>, ежегодно стекает в океан 37 000 км<sup>3</sup> воды; из них 58% — в Атлантический и Северный Ледовитый океаны и 40% — в Тихий и Индийский. Остальные 2% остаются в бессточных областях.

Вследствие континентальности климата СССР обеспеченность водными ресурсами здесь ниже средней. Из общего объема стока только 4% относятся к Балтийско-

му морю, 4% — к Черному и Азовскому, 10% — к Каспийскому, остальные 82% — к Северному Ледовитому и Тихому океанам. Подавляющая часть наших водных богатств находится в малонаселенных районах Севера Европейской части СССР, Сибири и Дальнего Востока. В то же время самые населенные и развитые в промышленном отношении районы Европейской части СССР и Средней Азии обеспечены водой недостаточно.

Бурное развитие промышленности и огромный рост выработки электроэнергии, увеличившийся с 1913 г. по 1958 г. в 115 раз, возрастание перевозок водными путями в пять раз и рост ирригации в засушливых районах страны в два раза повышают спрос на воду. Быстро растет водоснабжение городов. К 1958 г. оно равнялось 80 км<sup>3</sup> в год, в 1968 г. — 150 км<sup>3</sup>, а к 1980 г. — 650 км<sup>3</sup> в год. Много воды берет металлургическая промышленность. При прямоточной подаче воды для охлаждения и других нужд завода требуется от 140 до 230 м<sup>3</sup> воды на каждую тонну выплавляемой стали. При организации оборота воды с охлаждением ее нужно 10—15 м<sup>3</sup>.

Много расходуется воды при выработке дрожжей и при производстве синтетических материалов. На производство 1 т хлопчатобумажной ткани идет от 6 до 30 м<sup>3</sup> воды, 1 т вискозы или штапеля — 800 м<sup>3</sup>, на 1 т каучука — 2100 м<sup>3</sup> и на 1 т капрона — 5 тыс. м<sup>3</sup>.

Во всех отраслях народного хозяйства расходуется около 12,5% воды от полного речного стока с территории СССР. Учитывая рост населения, можно полагать, что скоро все реки страны будут поставлены на службу человеку. Уже в настоящее время в некоторых районах страны водный баланс напряжен до крайности.

Недостаток воды ощущается на всей планете. Например, США в 1900 г. употребляли 6% своих водных ресурсов, а уже в 1960 г. — 60% и к 1980 г. расход рек будет исчерпан. Поэтому в США интенсивно ведутся опыты по опреснению морской воды.

В СССР имеются серьезные недостатки в использовании воды. Плохо поставлен учет ее прихода и расхода. Водный кадастр не дает представления о размерах склонового и грунтового стока — источников формирования всех других вод суши. В нем не учитывается почвенная влага, не отражена расходная часть водного баланса. Не решена проблема очистки сточных вод.



Из-за нерадивости и ошибок, допущенных при ведении лесного хозяйства, сильно испорчены многие малые реки. А значение их очень велико. Они дают нам разнообразную продукцию, орошают землю, способствуют повышению уровня грунтовых вод, благоприятно воздействуют на местный климат, являются путями сообщения и местом отдыха миллионов людей.

Быстро иссякают запасы вовлекаемых в эксплуатацию грунтовых вод. Допустим, что на части малых рек лес будет также вырублен и деревообрабатывающие предприятия будут закрыты и во многих случаях древесину заменит пластмасса. Но чем можно заменить значение леса в сельском хозяйстве, в регулировании водного режима рек. В США в 1910 г. запасы грунтовых вод составляли 490 км<sup>3</sup>, к 1959 г. осталось только 62 км<sup>3</sup>. В довершение к этому грунтовые воды хищнически используются и загрязняются.

Вода рек производит большую, но не всегда полезную работу. Например, р. Миссисипи за одни только сутки выносит в океан 1,5—2,0 млн. т наносов, взвешенных в воде, и около 20 т более крупных наносов. В лесных реках вода чище, чем в безлесных. В каждом кубическом метре воды в Неве содержится 10 г твердых частиц, а в речке Атрек, текущей в Каспийское море, — 18 тыс. г. Подсчитано, что кроме твердых частиц реки ежегодно выносят в океан в растворенном виде 320 млн. т кальция, 560 млн. т кремния, много фосфора, азота и других растворимых веществ.

Каково бы ни было начальное питание рек, но летом от сильного обмеления, а иногда и от полного высыхания их спасают грунтовые воды. Главным поставщиком вод служат леса, где почва покрыта подстилкой.

Реки — последний этап путешествия воды, возвращающейся из дальнего странствия в океан. Но и на этом пути у нее бывают продолжительные остановки в озерах. Частица воды, попавшая из Роны в Женевское озеро, покидает его через семь лет. Таким образом, затоплением больших площадей можно замедлить движение воды, однако эта мера создает новые трудности. Иногда вдоль перегороженной плотиной реки заболачиваются высокопроизводительные леса и угодья. При проектировании водохранилищ необходимо взвешивать целесообразность затопления больших площадей.

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ВОДНОГО РЕЖИМА РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ**

Леса водоохранного значения в современном понимании должны из года в год обеспечивать нормальное питание рек и удовлетворять потребности растений в воде в вегетационные периоды путем перевода поверхностного стока в грунтовый. В соответствии с этим леса нашей страны решением правительства в 1943 г. разделены на три группы.

В первую группу входили почвозащитные, полезащитные, запретные полосы вдоль рек, курортные, зеленые зоны вокруг промышленных предприятий и городов, а также ленточные боры в Западной Сибири, заповедники и степные колки.

Вторую группу составляли леса, которые по своему состоянию и древесным запасам требуют ограничительных мероприятий в отношении размеров рубок и развертывания работ по их воспроизводству.

К третьей относили леса, расположенные на остальной территории СССР.

В лесах первой группы кроме перестойного леса допускались главные рубки только в порядке исключения и назначались они на основе особых распоряжений. Во второй группе разрешалась рубка главного пользования (в размере не свыше годовичного прироста) с применением системы рубок в соответствии с установленными правилами; а в третьей — сплошные рубки промышленного значения с различным использованием древесины в процессе заготовки лесоматериалов.

Запретные полосы вдоль рек, выполняющие водоохранную роль, отнесены к лесам первой группы. Однако в пределах этих полос формируется 4% всего стока. В бассейне Волги водоохранными лесами обеспечено около 7% годового стока. Остальная часть стока формируется за пределами запретных полос.

Запретные полосы вдоль рек обладают ограниченными водоохранными свойствами и регулируют сток лишь на той площади, которую они занимают. Склоны в пределах полос в основном ориентированы не к главной реке, а к мелкой гидрографической сети, склоны которой имеют разную экспозицию. Леса вдоль рек сильно изрежены и процент их лесистости в два раза ниже, чем на

тех территориях, которые расположены за пределами запретных полос. Все это обусловило очень слабую эффективность запретных полос не только в водоохранном, но и в почвозащитном отношении.

Экспериментальные исследования баланса влаги, проведенные на специально выбранных водосборах в различных природных зонах с равномерным распределением лесов по площади, при различном проценте лесистости позволили рекомендовать оптимальную лесистость для основных разностей почв и древесных пород.

В центрально-черноземном районе, расположенном в лесостепи, для предотвращения смыва и размыва черноземных почв лесистость (в виде полос) на не эродированных почвах устанавливается в размере 5%. Здесь леса должны выполнять климаторегулирующие функции и способствовать равномерному распределению снега, эти водосборы большей частью приурочены к водораздельным площадям.

На очень слабо эродированных почвах лесистость приурочивается не только к водоразделам, но и к склонам; она изменяется в пределах 6—10%; на слабо эродированных почвах, на которых роль леса как почвозащитного фактора еще больше возрастает, лесистость определяется в пределах 10—15%; на средне эродированных почвах — 15—20%; на сильно эродированных и расчлененных гидрографической сетью водосборах — 20—25%; на очень сильно эродированных почвах — 26—30%. Здесь полосное лесоразделение заменяется массивным. На эродированных почвах лесоразведение с учетом запросов сельского хозяйства может сочетаться с садоводством.

На песчаных почвах и сильно развеваемых песках с близким залеганием грунтовых вод лесоразведение осуществляется полосами, шириной 80—100 м; расстояние между полосами 200—300 м, а в степи — 150—200 м. Основной породой на песках признана сосна.

В подзоне хвойно-широколиственных лесов на дерново-подзолистых почвах лесистость способствует более или менее полному переводу поверхностных вод в грунтовые и меняется от механического состава почвы. На песчаных почвах достаточна 10%-ная лесистость. Однако бедный минеральный состав этих почв позволяет выращивать на водосборах только сосновые леса. На су-

песчаных почвах при равномерном распределении по водосбору сосновых участков леса рекомендуется лесистость 30%, а в еловых — 40%. На суглинистых почвах, также при равномерном распределении по водосбору сосновых участков, она должна быть 45—50%, а еловых — 55—60%. На тяжелых глинистых почвах процент лесистости водосборного бассейна для сосны рекомендуется 65—70, а для ели — 70—80. Здесь при слабом расчленении водосбора возможно развитие процессов заболачивания после рубки и под пологом перестойных древостоев.

На подзолистых супесчаных почвах в южной тайге лесистость, при которой происходит перевод поверхностных вод в грунт, составляет для сосны 35%, а для ели — 45%; на суглинистых почвах для сосны 55%, а для ели 65—75% и на глинистых — соответственно 70 и 90%.

Если территория водосборных бассейнов в отношении лесистости не упорядочена, равномерность распределения лесов на них не соблюдена, то все леса относятся к водоохраным, даже при повышенной лесистости.

Суглинистые и глинистые подзолистые и дерново-подзолистые почвы обычно в первую очередь используются под пашню, поэтому на них при соблюдении правил агротехники в процессе обработки почвы можно снизить лесистость против указанных норм. В отличие от степных и лесостепных районов в лесной зоне предпочитается массивное распределение лесов. Для укрепления берегов рек, озер, водохранилищ и оврагов, а также для улучшения экологических условий обитания рыб необходимы водопоглотительные и берегозащитные полосы. Ширина таких полос в различных зонах устанавливалась экспериментальным, а не расчетным путем, с помощью стоковых площадок, расположенных в поле вдоль по склону и углубленных в лес на разное расстояние от стены леса — от 0 до 150 м и более (табл. 2).

Берегозащитные полосы вдоль Волги в зависимости от степени эродированности почв изменяются от 500 до 1000 м: на реках второго порядка — от 300 до 500; на реках третьего порядка — от 100 до 200 и на более мелких реках — от 50 до 80 м.

В степной и лесостепной зонах предусматривается всюду только система лесных полос, за исключением существующих лесных массивов.

На равнинах среди хвойно-широколиственных лесов

Таблица 2. Ширина лесных полос на различных почвах, м

Почвенные разности	Водопогло- тительные	Противо- эрозионные	Полезащит- ные
Мощные черноземы (лесо- степь)	50—60	25—30	10
Обыкновенные черноземы (степь)	30	15—20	10
Солонцовые черноземы (лесо- степь)	250	60	10
Южные маломощные черно- земы (степь)	20	15	6
Комплексы	—	—	6
Светло-каштановые	—	—	6
Темнокаштановые	—	—	6

на дерново-подзолистых почвах при ширине полей 500 м, ширина водопогло-  
тительных полос (в м) на слабопока-  
тых склонах изменяется в связи с механическим составом  
почвы следующим образом:

Почвы	Еловый лес	Сосновый лес
Тяжелосуглинистые	200	80
Суглинистые	100—120	60
Супесчаные	50	30
Песчаные	—	15

В зависимости от рельефа местности ширина водо-  
погло-  
тительных полос вокруг полей 500-метровой шири-  
ны в подзоне хвойно-широколиственных лесов на дерно-  
во-подзолистых и темно-серых почвах меняется согласно  
данным табл. 3.

Таблица 3. Ширина водопогло-  
тительных полос при различной  
крутизне склонов

Почвы	Крутизна склонов, град			
	6	10	15	20
Дерново-подзолистые:				
супесчаные	40	60	100	130
суглинистые	60	150	200	250
Темно-серые суглинистые	40	80	100	150

Еловые полосы на супесях должны быть в 1,5 раза, а на суглинках в 2 раза шире, чем сосновые. На темно-серых почвах предусматриваются только дубовые насаждения.

В лесной зоне за пределами лесных полос, окаймляющих леса и реки, размещаются массивы лесов, процент площади которых устанавливается с учетом механического состава почвы и рельефа местности.

## **СВЯЗЬ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА С ЛЕСОМ**

Влажность воздуха влияет на все стороны жизни растений. При оптимальной влажности транспирационный аппарат растений (листья, хвоя) функционирует правильно и влагообмен между растениями и воздухом происходит нормально. Дефицит влажности вызывает усиленное испарение воды и транспирацию, что пагубно действует на растения. Недостаточная влажность воздуха вызывает снижение тургора клеток растений, а в сочетании с высокой температурой — и необратимое их увядание. Особенно пагубно действие сухости воздуха на растения в период суховея или самумов. Ветер при недостаточной влажности воздуха не содействует усилению транспирации.

Когда относительная влажность воздуха падает ниже 30%, скорость ветра превышает 5 м/сек, а температура воздуха поднимается выше 25°, наступает суховейная погода.

В лесостепной зоне чаще всего суховея продолжаются один день, в степной — два-три дня. В резко засушливых областях они могут дуть в течение четырех и пяти суток. Во всех зонах суховея более резко выражены в дневные часы.

Травы в степи начинают буреть и сохнуть. Степь делается серой. Вскоре и в лесу листва начинает свертываться и засыхать. Особенно сильно страдают от суховея деревья IV и V классов роста (по Крафту). В дубравах лесостепи при засухах сильно усыхают и опадают листья в 40—60-летних древостоях. Здесь обычно почва суше, чем в молодых (15-летних), спелых (135-летних) и перестойных (225-летних) древостоях. Разные древесные породы

переносят суховеи по-разному. Наибольшее количество листвы теряет в это время липа (около 50%), ясень (25—30%), клен полевой (20—25%), ильм (15—20%), дуб (10—15%). Усыхание листьев резче выражено в сомкнутых древостоях. Сильная и продолжительная засуха вызывает нарушение водного режима растений, приводит к недородам на полях и лугах и к снижению прироста древесины в лесах.

Устойчивость растений в суховеиные дни зависит также от запасов влаги в почве. Пересыхание корнеобитаемой толщи почвы при высокой температуре, низкой относительной влажности воздуха и ветре усиливает вредное действие суховея.

На полях под защитой лесных полос пагубное влияние засух и даже суховеев заметно ослабляется. Лесные полосы способствуют увеличению влаги в почве и снижают потери ее на испарение и транспирацию сельскохозяйственными культурами.

Высокое содержание водяных паров в атмосфере также существенно влияет на обмен влаги в лесу, вследствие чего снижается транспирация, вплоть до полного прекращения. В повышено влажных районах происходит значительная гуттация капельно-жидкой влаги из растений. Она поддерживает влагообмен растений даже в предельно насыщенной водяными парами атмосфере дождевых тропических лесов.

После затяжного ливня намокшая земля почти не держит корней. В дождливую пору воздух в лесу под кронами деревьев и над ними полностью насыщен водяными парами.

В бездождную погоду влажность воздуха сильно изменяется в лесу и очень отличается от влажности открытой местности. Здесь перед восходом солнца она бывает одинаковой на всех высотных уровнях, днем наиболее низка относительная влажность над кронами, выше она постепенно увеличивается. Резкое повышение относительной влажности воздуха наблюдается под кронами, особенно у поверхности почвы. В такой же последовательности изменяется абсолютная влажность воздуха, но дефицит ее понижается по мере приближения к поверхности почвы. С увеличением высоты солнцестояния и усиления ветра, ускоряющего перемешивание наружного воздуха с воздухом внутри леса, влажность в

лесу постепенно падает, причем этот процесс захватывает все более низкие горизонты лесного полога. Непрерывное поступление водяного пара с почвы и с крон смягчает иссушающее влияние ветра, проникающего в глубь насаждений. Под зеленым плащом влажность воздуха несколько снижается, но она остается более высокой, чем на окружающих открытых пространствах.

В травяных растительных группировках влажность воздуха также изменяется по вертикали. На вырубках, заросших травяными растениями, относительная влажность воздуха у поверхности почвы составляет 98, на высоте 10 см — 94, на высоте 50 см — 59 и на высоте 100 см — 56%. В течение дня влажность изменяется, понижаясь к 14—15 часам и повышаясь к утру и вечеру. Наименее устойчива она на верхней границе растительного покрова. Чем гуще травяной покров, тем выше в нем относительная влажность. При площади листы 1,93 см<sup>2</sup> на 1 см<sup>3</sup> пространства относительная влажность воздуха равняется 75%, при 0,89 см<sup>2</sup> листы — 67, при 0,35 см<sup>2</sup> — 48, на площадке без травяного покрова — лишь 40%.

Относительная влажность воздуха на вырубках зависит от их ширины. В дубравах лесостепи на вырубках шириной 50 м даже днем она редко и на короткий срок (около 1 часа) падает ниже 50%; на вырубках же шириной 100 м влажность падает до 40% и на этом уровне удерживается 6,5 часа. На вырубках шириной 600 м она снижается до 30% и остается на этом уровне свыше 8 часов, удерживаясь в центральной полосе вырубки шириной 180 м. В лесостепи знание этих закономерностей имеет очень важное значение для правильной организации лесовосстановительного процесса в местах сплошных вырубок.

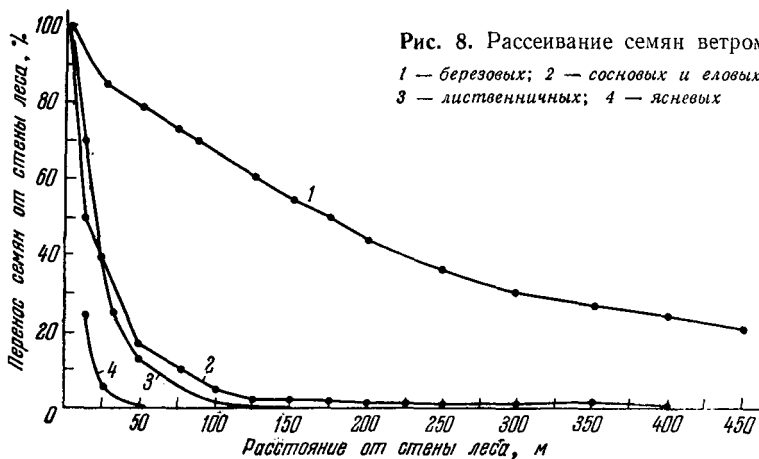
## **ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУХА В ЛЕСУ И НА БЕЗЛЕСНЫХ ПЛОЩАДЯХ**

Ветер сильно влияет на жизнь леса. Он рассеивает пары воды, выделяемые листьями, и, принося более сухие массы воздуха, способствует увеличению транспирации.



С увеличением скорости ветра возрастает водный дефицит растения и уменьшается прирост органической массы. При скорости ветра до 60 км/час водный дефицит повышается до 20%, при 38 км/час он составляет 18, при 15 км/час — 12,5 и при 0,5 км/час — 4,3%. Ветер может привести не только к уменьшению прироста растений, но и к их отмиранию.

Ветер — главный переносчик влаги с морей и океанов. В зимнее время он перераспределяет снег и нередко совсем сносит его с полей, ухудшая условия перезимовки зерновых и лесных культур. И в то же время он ослабляет заморозки вследствие отвода холодного воздуха. Ветер разносит пыльцу некоторых древесных пород на 50—60 км, а иногда на 200 км и более. И не только пыльцу, но и семена древесных пород и даже листья. Единичные семена березы, ильма, осины, ивы переносятся на сотни километров, сосны — до 40 км. Однако подавляющая часть березовых семян оседает на расстоянии 200 м — 185 шт/м<sup>2</sup>, на 350 м — 70 шт/м<sup>2</sup> и на 700 м — 10 шт/м<sup>2</sup>. Отдельные березовые семена относятся ветром на 18 км. Наибольшая часть семян хвойных пород оседает близ стен леса. В отдельные годы семена сосны перемещаются на 1—2 км, ели по насту — на 10—15 км (рис. 8). Содействуя рассеиванию семян по поверхности земли, ветер сильно расширяет сферу влияния одного биогеоценоза на другой.



Лес уменьшает скорость ветра на подветренной стороне на расстоянии 20-кратной высоты леса. Изучение влияния леса на силу и направление ветра весьма важно не только с научной, но и с практической стороны. Лес — могучий фактор гашения скорости ветра. При движении ветра в сторону леса близ опушки, начиная примерно с 60-метрового расстояния, скорость его ослабевает по сравнению с первоначальной на 20—30%, а иногда и на 50% в зависимости от густоты и высоты леса, наличия нижнего яруса и скорости ветра. Близ опушки создается вихревое движение, напоминающее морской прибой. Воздушные волны врываются в лес и, пройдя известное расстояние в глубь насаждения, быстро затухают. Ветер сменяется штилем или едва заметной воздушной тягой.

Воздушные потоки, врывающиеся в лес, на опушке поднимаются вверх и растекаются между кронами. Большая сила расходуется на трение воздуха о стволы и ветви, а также на раскачивание стволов, ветвей, листьев. В древостоях скорость ветра зависит от их состава и сомкнутости. В еловом древостое на расстоянии 40 м от опушки она составляет 1—1,5% от скорости его в поле, равной 2,8 м/сек; в сосновом древостое с густым еловым ярусом при скорости ветра в поле 7 м/сек — 19% и при 2,2 м/сек — только 2%.

В чистом сосновом древостое с сомкнутостью 0,9 при скорости ветра на открытом месте 7 м/сек она уменьшается на 46%, при 2,2 м/сек — на 10%. В древостоях, изреженных до сомкнутости 0,4, скорость ветра под пологом составляет соответственно 85 и 18%.

Если принять скорость ветра на сплошной вырубке равной 1,4 м/сек за 100%, в сосновом лесу, пройденном выборочной рубкой, она составит 54%, в лесу, не пройденном рубкой, 4,8%.

На середине вырубки шириной 600 м скорость ветра составляет всего лишь 58% от скорости на открытом поле; при ширине 200 м — 37%, 100 м — 15 и 50 м — только 5—8%. Наименьшая скорость ветра у поверхности почвы, с подъемом вверх она увеличивается как в лесу, так и в поле.

В лесу наибольшая скорость ветра над кронами деревьев; ближе к кронам она уменьшается. Внутри крон ветер затухает, а у поверхности почвы его скорость приближается к нулю.

Чем гуще лес, тем меньше скорость ветра. В сомкнутых древостоях в кронах она уменьшается до 30%, под кронами до 0,7, а на высоте 2 м до 0,3% от скорости над кронами.

До облиствления деревьев над кронами штиля не бывает, в кронах он длится 11 часов, на нижней границе крон — 32 и над лесной подстилкой — 67 часов в течение недели. После облиствления штиль над кронами сохраняется в течение 12 часов, в кронах — 36, на нижней границе крон — 86 часов и над лесной подстилкой — 138 часов в неделю. Если скорость ветра снижается на 30%, испарение с почвы сокращается на 20%.

В сосновых древостоях скорость ветра внутри крон затухает слабее, чем в еловых. Над сплошным лесным массивом по мере удаления от поля происходит плавный подъем воздушных масс от нескольких до сотен метров. Опыт показывает, что подъем воздушных масс по мере передвижения от поля к лесу на высоте 100 м составил 92 м/сек на 300 м — 70 м, на 500 м — 11 м и на 1000 м подъем отсутствовал. Таким образом, лесные опушки оказывают влияние на изменение вертикальной скорости ветра в пределах 1000 м над лесом.

Сильные ветры — до 6—8 баллов в секунду — нередко причиняют лесу большой вред. Степень вреда сильно зависит от типа леса. Очень слабой ветроустойчивостью отличаются еловые древостои на тяжелых плотных почвах. В типе леса ельник травяно-кисличный сплошной вывал деревьев наблюдается на 78% площади, в кисличнике — на 66, в черничнике — на 36, в брусничнике — на 24, в долгомошнике — на 17 и в ельнике приручейном — только на 4%. В общем чем хуже лесорастительные условия, тем выше устойчивость деревьев при ветровале.

Сосна считается устойчивой породой и вываливается лишь в исключительных случаях (при ветре свыше 8 баллов), а также при поражении сосны корневой губкой и другими грибными заболеваниями.

Ветер содействует переносу листвы от стен леса в поле. Так, 3,22 г/м<sup>2</sup> сухой листвы березы переносится на 10 м, 1 г — на 20 м, 0,5 г — на 30 м, 0,1 г — на 50 м при массе листвы под пологом 50 г/м<sup>2</sup>. Дубовые и кленовые листья перемещаются максимум на 40 м, лиственничная хвоя — на 30 м, сосновая — на 25 м и еловая — на 20 м; листья клена остролистного — на 40—50 м.

## Черные бури

В сухое время в степи часто свирепствуют пыльные бури, вызванные ветром. Пыль несется с предельной скоростью, окутывая черным облаком весь горизонт. Ветер сносит пыль со всей равнины. Особо сильные процессы эрозии развиваются в ветреную сухую погоду на легких по механическому составу почвах. Обычно при скорости ветра 20—40 м/сек ветер полностью сметает пахотный слой. Во время пыльных бурь большая масса движущихся частиц и грунта отлагается в оврагах, балках, в выемках железных дорог, в лесных полосах. Высота барханов нередко превышает 4 м. Объем наносов достигает 40—60 м<sup>3</sup> на 1 пог. м бархана.

Ветровая эрозия вызывается турбулентным движением воздуха. Скорость перемещения почвенных частиц зависит от их размеров. Для переноса частиц от 0,5 до 0,15 мм достаточна скорость ветра около 3,5—4,0 м/сек на высоте 15 см от поверхности почвы. Выдувание старопахотных распыленных участков на легкосуглинистых опесчаненных почвах начинается при скорости ветра 5 м/сек на высоте 15 см.

Ветровая эрозия почв — сложное и комплексное явление. При ветровой, как и при водной эрозии, наблюдаются три основные стадии процесса движения почвенных частиц, а именно: отрыв, перенос и отложение. Развитие этих процессов находится в тесной зависимости от степени покрытия поверхности почвы травянистой растительностью. Если она отсутствует, ветровая эрозия развивается в зависимости от скорости, направления и повторяемости ветров определенных румбов, от температуры воздуха, его влажности, от рельефа местности, размеров и формы полей и, наконец, от механического, а также структурного состава почвы, ее температуры и влажности. Немаловажное значение имеет механическая обработка почвы, достигающая более 3 тыс. км<sup>3</sup> в год на всей планете. Это увеличивает водную и ветровую эрозию.

В 1960 г. в Краснодарском крае высота полета частиц при ветровой эрозии доходила до 1,5 км, а дальность ваноса пылевидных частиц определялась тысячами километров. Частицы почвы уносились до западных и юго-западных районов СССР, в Румынию, Болгарию и Чехословакию.

Хорошей защитой почв от выдувания и переноса служат полезащитные полосы. Установлено, что выдувание почв устраняется лесными полосами, расположенными перпендикулярно одна к другой, так, чтобы процент лесистости составил 5,5 от общей площади. С уменьшением лесистости повреждение посевов пыльными бурями возрастает следующим образом (в %):

Лесистость	5,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0
Пострадавшие посевы	Нет	3,2	9	20	26	32	50	68	100

## **РАСХОД АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ЕГО СВЯЗЬ С ИСПАРИЕНИЕМ, ТРАНСПИРАЦИЕЙ И ВЛАЖНОСТЬЮ ПОЧВЫ**

Влага, впитанная почвой, но не просочившаяся в глубь грунта и в грунтовые воды, с большей или меньшей скоростью и полнотой испаряется и возвращается в атмосферу, за исключением воды, удерживаемой коллоидами почвы. На участках, покрытых растительностью, влага расходуется в основном на транспирацию и испарение, кроме того, она задерживается на кронах и травяном покрове. Меньше идет воды на поверхностный сток, зато в значительной степени путем инфильтрации она проникает в почву, из которой поступает в растения. Это передвижение влаги схематично изображено на рис. 9. Интенсивность транспирации зависит от ряда факторов: от температуры и влажности воздуха, силы ветра, освещенности, количества и состояния почвенной влаги и, конечно, от вида растения, его возраста и состояния. Но так как эти факторы действуют не пропорционально, не синхронно, не одновременно и в разных условиях, то фактическая интенсивность транспирации древесными породами не всегда соответствует ожидаемой. Например, в степной зоне она ниже, чем под Москвой, хотя более естественной казалась бы обратная картина, так как в степи температура значительно выше, чем в Подмосковье, воздух суше, а ветер сильнее.

Соотношения в расходе влаги на транспирацию и испарение с крон древостоев не всегда выдерживаются в связи с различным облиствлением древостоев, меняющимся от условий погоды, от состава и возраста лесов.

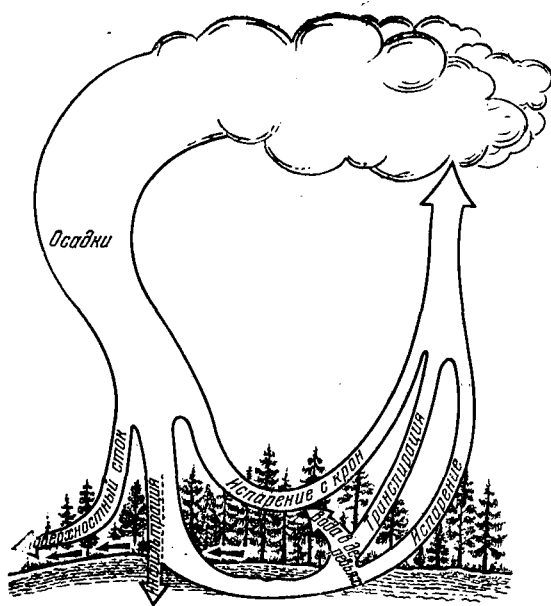


Рис. 9. Круговорот воды в природе

Чем больше масса листвы, тем больше расход влаги на транспирацию древостоев. Именно поэтому, чем ниже производительность типа леса и чем ниже продуктивность древостоя, тем меньше расход влаги на транспирацию. Например, в зоне северной тайги в лишайниковом бору он меньше, чем в брусничнике, а в последнем меньше, чем в более производительном черничнике. То же самое наблюдается и в подзоне хвойно-широколиственных лесов под Москвой. Здесь наибольший расход влаги на транспирацию происходит в самых производительных сложных сосняках. В долгомошно-черничных и особенно сфагновых сосняках он значительно меньше.

В пределах одного типа леса расход на испарение достигает максимума в период кульминации текущего прироста; в подзоне хвойно-широколиственных лесов — в 30—40 лет, в сосновом лесу на севере и дубовом в лесостепи — в 60 лет (рис. 10) и меняется в зависимости от строения древостоев и их сомкнутости. Например, в сос-

няках 150 лет с густым еловым ярусом в возрасте 30—40 лет транспирационный расход воды почти в два раза больше, чем в чистых сосняках того же возраста. С уменьшением сомкнутости древостоя расход влаги уменьшается. Например, в подзоне хвойно-широколиственных лесов при сомкнутости полога 0,9 расход влаги на транспирацию в сосняке равен 243 мм, при сомкнутости 0,4—180 мм. Такие же закономерности отмечены и в лесах других типов (рис. 11, 12).

Гидрологическое значение транспирации древостоев неодинаково. В сильно увлажненных экотопах она предотвращает заболачивание, в недостаточно увлажненных— может вызвать уменьшение влажности до пределов, влекущих за собой завядание растений. Важную роль играют состав древостоев, их возраст и сомкнутость. При помощи рубок ухода можно регулировать режим почвенной влаги, особенно в районах неустойчивого увлажнения.

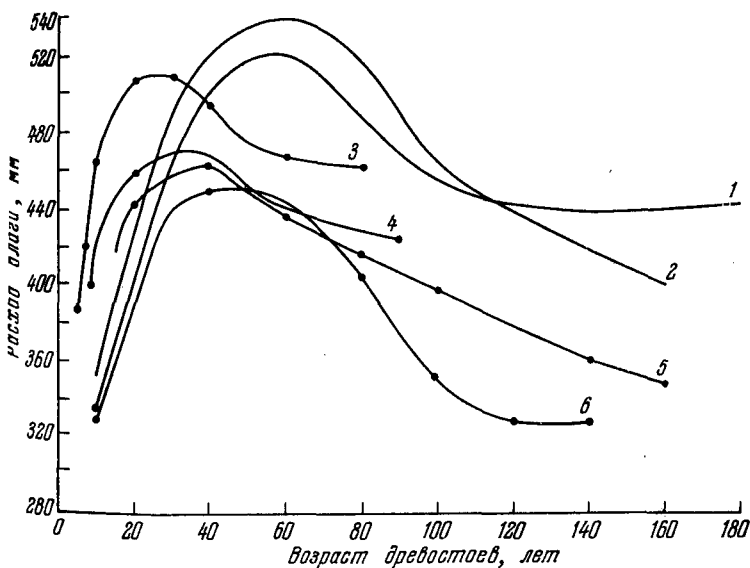


Рис. 10. Расход влаги на суммарное испарение различными древесными породами

1 — дубовые древостой Воронежской области; 2 — еловые древостой Московской области; 3 — осиновые древостой Воронежской области; 4 — ясеневые древостой Воронежской области; 5 — сосновые древостой Московской области; 6 — еловые древостой Вологодской области

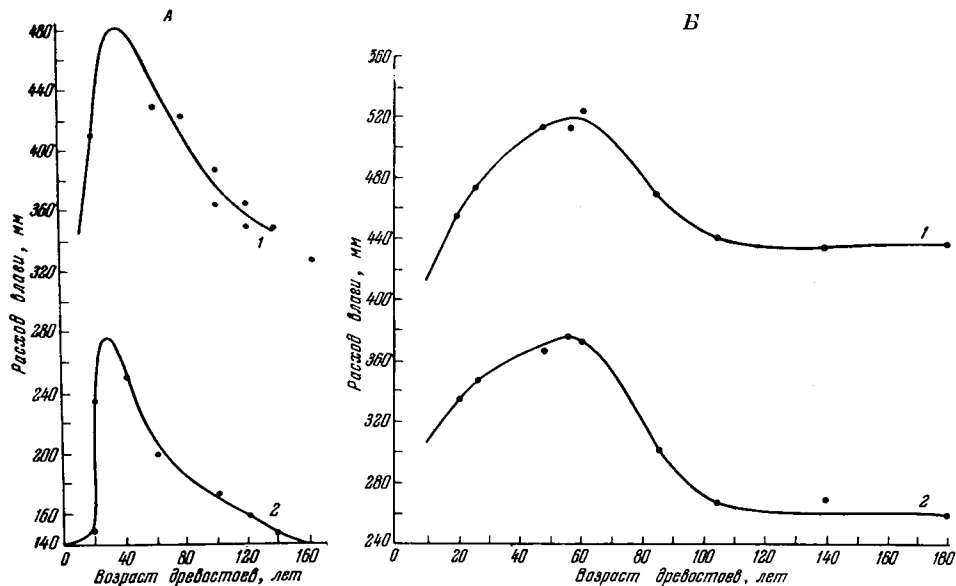


Рис. 11. Расход влаги сосновыми (А) и дубовыми (Б) древостоями разного возраста  
1 — на испарение; 2 — на транспирацию

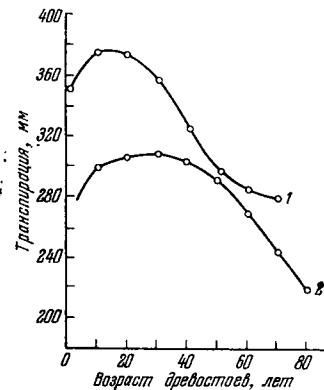


Рис. 12. Расход влаги на транспирацию.  
1 — осиновыми; 2 — ясеневыми древостоями разного возраста



Прочистки, прореживания слабой и средней интенсивности уменьшают испарение в зоне лесостепи на 32—43 мм по сравнению с контролем, а сильное изреживание — только на 10—20 мм, да и то главным образом из-за снижения испарения во второй год после рубки. Влияние рубок на суммарное испарение сохраняется в течение ряда лет после их проведения, особенно при сильных степенях изреживания. Но с течением времени оно ослабевает.

В первый год после рубки испарение на вырубках разной ширины сильно падает, затем по мере формирования древостоя оно постепенно увеличивается. Лишь в годы с недостаточным количеством осадков эта последовательность нарушается и суммарное испарение резко падает (рис. 13, 14). На сплошных лесосеках величина суммарного испарения сильно зависит от их ширины: чем шире вырубка, тем больше испарение. В тесной связи с испарением меняются и другие составляющие водного баланса.

Суммарное испарение на вырубках неодинаково в разных ее пунктах и существенно меняется в зависимости от удаленности от стен леса. Максимальное количество влаги расходуется на середине вырубки. По мере приближения к краю расход уменьшается.

Расход влаги листьями при достаточном водоснабжении зависит от степени насыщения атмосферы водяными парами и коэффициента диффузии. Давление паров воды и коэффициент диффузии увеличиваются с повышением температуры. Л. А. Иванов с сотрудниками (1951) установили, что транспирация коррелирует с температурой; это позволяет установить зависимость между расходом воды на транспирацию и температурой воздуха.

Прямой солнечный свет повышает интенсивность транспирации до 150%. Ночью она минимальна. Зависимость между количеством солнечной энергии и количеством испаряемой влаги выражается уравнением

$$W = 0,6 Q/585,$$

где  $W$  — количество испарившейся воды в мм,  $Q$  — количество солнечной энергии в ккал/см<sup>2</sup>.

В условиях достаточного увлажнения эта формула дает приемлемые результаты.

Ведущий фактор, вызывающий изменение транспирации, — влажность почвы (рис. 15). В условиях недо-

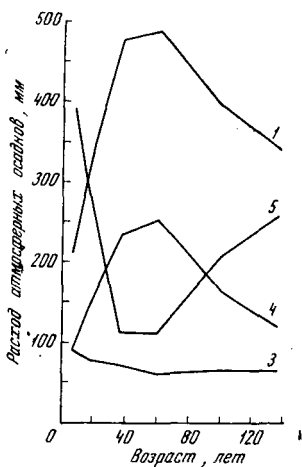


Рис. 13. Расход атмосферных осадков (600 мм) в ельнике черничнике на тяжелых суглинистых почвах (пример взаимосвязи составляющих водного баланса)

1 — суммарное испарение; 2 — задержание осадков кронами; 3 — испарение с покрова и почвы; 4 — транспирация; 5 — поверхностный сток

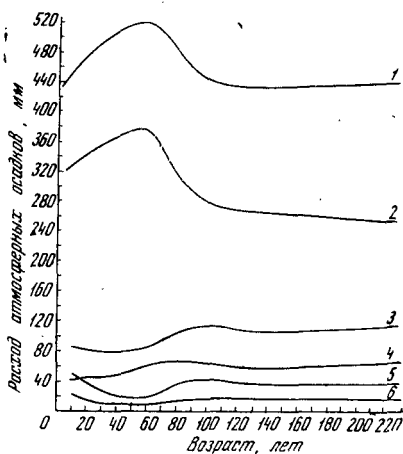


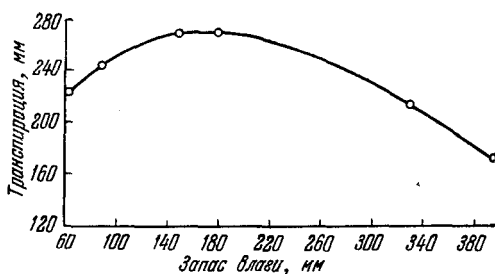
Рис. 14. Расход атмосферных осадков (525 мм) в осоково-снытьевой дубраве на темно-серых лесных почвах, сформировавшихся на лёссовидных суглинках

1 — суммарное испарение; 2 — транспирация; 3 — испарение с покрова; 4 — задержание на кронах; 5 — инфильтрация влаги глубже 4,5 м в почвогрунт и 6 — поверхностный сток

статка влаги, повышения температуры воздуха и дефицита влажности испарение усиливается, а в связи с этим сокращаются запасы воды в почве.

Избыток лучистой энергии, поглощаемой листьями, обуславливает их нагревание. С нагреванием листьев сокращается транспирация. Расход воды растениями регулируется путем закрывания устьиц, расположенных в основном на нижней стороне листа, а также водоудерживающей силой листьев. Совокупность перечисленных факторов, содействующих уменьшению отдачи воды, называется транспирационным сопротивлением. Оно проявляется при очень высоких и очень низких температурах.

Расход влаги древостоями на транспирацию в одинаковых условиях зависит от вида древесных пород. Суммарное же испарение в древостоях разного состава зависит не только от их транспирационной способности,



**Рис. 15.** Расход влаги на транспирацию сосновыми древостоями в зависимости от запасов влаги в метровой толще почвы

но и от степени задержания воды на кронах или же от ее проникновения при дождях различной интенсивности, а также от возраста древостоев.

Таким образом, суммарное испарение зависит от величины транспирации и степени проникновения осадков сквозь крону. Оно меняется и в зависимости от вида древесных пород и их возраста.

В соответствии с расходом влаги на суммарное испарение под пологом леса уменьшается и влажность почвы. Чем больше расход влаги, тем больше расход ее из почвы к концу вегетационного периода.

Содержание недоступной влаги в почве будет зависеть от глубины залегания грунтовых вод, плотности, скважности и влагоемкости почвы. На песчаных почвах это явление наступит при влажности почвы 1,5%, на глинистых при 10% и на черноземной при 14% от абсолютно сухого веса. Наиболее сухая почва образуется под пологом древостоев в период кульминации текущего прироста. В это время в древостоях наблюдаются наибольшая масса листвы и повышение энергии роста.

В стадии кульминации текущего прироста в лесной и лесостепной зонах древостоев расходует больше влаги, чем ржаное поле. В этот период в поле почва влажнее, чем под пологом леса. В молодняках, спелых и перестойных древостоях при отсутствии густого яруса влажность почвы будет выше, чем в поле. Однако она зависит от вида культуры и состояния почвы.

В степных районах масса листвы в древостоях обычно выше, чем в лесостепи. При меньшем количестве осад-

ков и высоком суммарном испарении в степи влажность почвы в поле выше, чем под пологом лесонасаждений.

Под пологом леса регулирование влажности достигается рубками ухода, а в полях — путем защитных насаждений. Под защитой лесных полос транспирация сельскохозяйственных культур меньше на 20—30%.

Характерная черта почв таежной зоны — сквозное промачивание талыми водами и жидкими осадками. Почва в период весеннего промачивания увлажняется до максимально возможной величины. Уровень грунтовых вод весной сильно поднимается, иногда до самой поверхности. В это же время наблюдается сток, в лесу преимущественно внутрипочвенный, в поле — поверхностный.

Летом происходит просыхание почв, обусловленное преобладанием испарения и транспирации над осадками. Большое просыхание наблюдается в верхних слоях, влажность которых в засушливые годы, даже на 120—130 км южнее Архангельска, уменьшается иногда до влажности завядания и ниже.

Осенью возникает вторичное увлажнение почв, достигающее иногда до той же степени, что и весной, и сопровождающееся в таком случае обильным поверхностным и внутрипочвенным стоком.

Под снег почва уходит обычно значительно увлажненной, за исключением тех случаев, когда предшествующее лето было засушливым, а осень мало дождливой.

Избыточная влага медленно просачивается вглубь, что стимулируется боковым оттоком грунтовых вод.

Почвы в зимний период промерзают на различную глубину, в зависимости от метеорологических условий; лишь в редкие зимы промерзания нет, что связано с мощным снежным покровом, устанавливающимся до наступления сильных морозов.

В лесу промерзание всегда слабее, чем в поле. Степень и глубина промерзания почв сильно влияют на их водопроницаемость. Распределение снега в лесу более равномерное, чем в поле, где снег сдувается ветром в сугробы к опушкам леса, оврагам и балкам. Снеготаяние в лесу начинается значительно позже и происходит медленнее, чем в поле, благодаря чему как увлажнение почв, так и подъем грунтовых вод в поле начинаются значительно раньше, чем в лесу. В лесу благодаря наличию подстилки и более рыхлому верхнему слою талые

воды и жидкие осадки почти целиком впитываются в почву, стекая преимущественно внутри почвы. В поле же верхний слой бесструктурных и малоструктурных почв подвергается заиливанию, что обуславливает более слабое, чем в лесу, впитывание и проникновение осадков вглубь и вызывает сильный поверхностный сток со всеми его отрицательными последствиями. Вот почему лес называют хранителем вод.

В дерново-подзолистых суглинистых дренированных почвах лесной зоны, приуроченной к подзоне хвойно-широколиственных лесов, отсутствие регулярного сквозного промачивания выражено более ярко. Летние осадки проникают лишь в самую верхнюю толщу почвы, на глубину до 10 см. Все остальные процессы передвижения воды сходны с передвижением в подзолистых почвах.

В лесостепной зоне в засушливые малоснежные годы сквозного промачивания почвы нет. В летний период она иссушается на большую глубину. В период кульминации текущего прироста расход влаги дубовыми древостоями может быть выше, чем в поле и в спелых (80—100-летних) древостоях.

В степной зоне общая убыль влаги в дубовых лесах на суглинистых почвах заметнее, чем в поле, однако на песчаных почвах под пологом спелых древостоев и молодняков влажность почвы и расход ее ниже.

## **СВЯЗЬ ЛЕСА С ТЕПЛОВЫМ И РАДИАЦИОННЫМ БАЛАНСОМ АТМОСФЕРЫ**

Чтобы правильно использовать территорию Земли и не быть в слепой зависимости от природы, надо тщательно изучить все процессы, происходящие на ней. Без разностороннего учета явлений, без предвидения их невозможно осуществлять проектно-изыскательские работы.

Надо найти и изучить такие природные явления, которые позволили бы иметь представление о прошлых процессах развития Земли.

Сильное влияние на условия жизни человека всегда оказывали засухи. Чтобы бороться с ними, необходимо выявить ритмы увлаженности в различных частях Зем-

ли. Изменение этих ритмов в сильной степени зависит от действия на Землю Солнца и Луны.

Солнечная активность изменяется ритмично. В настоящее время установлены солнечные ритмы в 11, 23, 80—90 и даже 1800 лет. В умеренных широтах Земли с увеличением солнечной активности возрастает повторяемость циклонов и количество осадков. Уменьшение солнечной активности вызывает засухи и усиливает антициклоны (Сазонов, 1964). 11-летняя ритмичность в колебаниях климата отражается на многих биологических явлениях, в частности на ширине годовых слоев деревьев (в сухие периоды она уменьшается, а во влажные — возрастает), по изменениям которых, следовательно, можно судить об изменениях климата в прошлом. В тесной связи с 11-летним циклом находится массовое появление вредителей в лесах и на полях. Солнечная активность влияет на возникновение муссонных дождей, которые создают благоприятные условия для размножения саранчи в пустынях Индии, Пакистана и Аравии и массовое появление грызунов.

Таким образом, знание солнечной ритмики позволяет заранее предусмотреть многие неблагоприятно влияющие на человека биологические явления; в частности, ослабить действие суховеев на урожай и повысить годичный прирост лесов (в годы спокойного солнца повышается урожай семян деревьев и понижается урожай сельскохозяйственных культур).

Луна и Солнце вызывают в водной и воздушной оболочках Земли приливы. Атмосферные приливные явления влияют на общую циркуляцию атмосферы (Мечков, 1960), поверхностные же приливные волны в океане не оказывают существенного влияния на климат. Однако внутренние океанические приливные волны, захватывая значительные глубины, вносят существенное нарушение в температурный режим и плотность океанских вод. Охлаждение поверхностных слоев в океане в результате действия внутренних приливных волн передается нижним слоям атмосферы и тем оказывает влияние на климат планеты.

Шведский океанолог О. Петерсон утверждает, что в моменты взаиморасположения Солнца, Земли и Луны на одной прямой происходит нарушение силы тяжести на Земле, производимое Солнцем и Луной, и на Солнце под

влиянием Луны и Земли. Такое положение Солнца, Луны и Земли сказывается на нашей планете в нарушении циркуляции вод океана и в изменении климата. По мнению Петерсона, оно повторяется через 1800 лет. По историческим сведениям, это наблюдалось в 360 и 2100 г. до н. э. и в 1433 г. н. э. (Пушинский, 1966). Наибольшее нарушение гравитационных сил произошло в XIV и XV вв., что проявилось в штормовых приливах на североатлантическом побережье Европы и в скоплении полярных льдов в районе Исландии и Гренландии. Это явление получило в специальной литературе название «Ледяной блокады Гренландии».

За последние 6000 лет было четыре периода повышенной влажности, разделенных тремя сухими периодами.

Климат любой местности определяется балансом входящих и уходящих потоков тепла и влаги. Чтобы рассчитать тепловой баланс, необходимо знать интенсивность и количество солнечной радиации, — оценить отражательную и излучательную способность различных типов земной поверхности (оголенной почвы, растительного покрова, водной поверхности, льда и снега), необходимо измерить температуру почвы на разных глубинах, температуру внутри деревьев, определить их термические свойства и выявить распределение температуры воздуха и скорости ветра по высоте в приземном слое воздуха.

Климат любой области представляет собой совокупность местных климатов оврагов, склонов разных экспозиций, вершин холмов, лугов, полей, лесов, обнаженных скалистых пород и т. п. Цвет, плотность, теплоемкость, влажность почвы, ее проницаемость, состав, высота и густота растительного покрова, альbedo<sup>1</sup> и шероховатость поверхности также являются важными определяющими климатическими факторами.

Солнечная радиация, проникающая в атмосферу Земли, расходуется несколькими путями: около трети отражается от поверхности облаков, часть ее поглощается и рассеивается и достигает Земли менее шести десятых солнечной радиации. Некоторая часть энергии, достигающая оголенной или покрытой растительностью почвы, немедленно отражается, остальная часть, составляю-

<sup>1</sup> Альbedo — процентное отношение отраженной радиации к поступающей на данную поверхность.

шая менее 50% поступившей на Землю солнечной радиации, идет на нагревание верхних слоев почвы, воды или приземного воздуха, а также на испарение воды.

Различные поверхности обладают разной отражательной способностью. Альbedo изменяется от 80—85% у поверхности свежевыпавшего снега до 8—10% у поверхности не покрытого снегом склона. Лесная растительность теряет путем отражения от 5 до 18% радиации, травы и кустарники — от 15 до 30%. Альbedo сухого песка равно 18%, влажного — 9%. Таким образом, между смежными участками наблюдаются большие различия в поглощаемой энергии. Поэтому и термический режим как в верхних слоях, так и в прилегающих к поверхности нижних слоях воздуха заметно различается. Вода удерживает почти все получаемое ею радиационное тепло. Противоположной особенностью обладают мульча и лесная подстилка, отличающиеся очень малым коэффициентом теплопроводности и, следовательно, хорошими теплоизоляционными свойствами. Они пропускают в почву очень мало тепла, большая часть его идет на нагревание поверхности мульчи и подстилки и на конвективный теплообмен с воздухом. Такая поверхность сильно нагревается днем и охлаждается ночью, обуславливая большую амплитуду суточного хода температуры воздуха.

Плотность и цвет поверхности также влияют на ее термический режим. Вспашка или рыхление почвы увеличивают содержание воздуха, понижают ее способность поглощать тепло. Тем самым повышается количество тепла, поступающего в приземный слой воздуха, и увеличивается суточная амплитуда его температуры. Темная поверхность поглощает больше тепла, чем светлая. Наклон и экспозиция участка играют важную роль, определяя то количество тепла, которое поглощается или отражается его поверхностью. На баланс тепла воздействует и степень влажности почвы. Влажные почвы поглощают больше тепла, чем такие же, но сухие, так как вода лучше проводит тепло, чем воздух; поэтому большая часть тепла, достигшего поверхности влажной почвы, будет использована на нагревание более глубоких ее слоев и на испарение, а меньшая — на нагревание приземного слоя воздуха. Дневная температура поверхности влажной почвы ниже, чем сухой. Эти различия отражаются на температуре воздуха.



При достаточном увлажнении почвы около 80—90% энергии, достигающей ее поверхности, расходуется на испарение воды, и только 10—20% затрачивается на нагревание почвы и воздуха. С высыханием почвы соответственно изменяется и доля радиации, расходуемой на испарение. Теплообмен в почве характеризуется потоком тепла, направленного с поверхности в глубь почвы (принятый положительным), либо в обратном направлении. Поток тепла в почве зависит от ее тепловых свойств и характера распределения в ней температуры.

Суммарная радиация в летний период резко меняется в течение суток. Начиная с восхода солнца при ясном безоблачном небе радиация повышается до 13 часов, а затем понижается. Наибольшая суммарная радиация в лесостепи, равная  $1,10 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , отмечена около 13 часов, в 7 часов она равняется  $0,36 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , а вечером, в 22 часа, — только  $0,02 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . В июне и июле суммарная радиация в 13 часов немного меньше, чем в мае. В августе в это время она составляла  $0,70 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , в сентябре —  $0,44 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

Изменение суммарной радиации происходит в кронах деревьев. Она уменьшается внутри кроны и под кронами. В малооблачные дни на высоте 2 м над кронами в 13 часов она составляет  $0,85 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ , непосредственно у кроны на высоте 11 м от почвы она равна 0,69. Под кронами на высоте 9 м от поверхности почвы радиация выражается величиной 0,28, на высоте 6 м — 0,14 и на высоте 2 м —  $0,07 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Другими словами, суммарная радиация на высоте 2 м от земли меньше, чем на высоте 2 м над кронами, в 12 раз.

Вертикальное распределение суммарной радиации в облачную погоду подчинено той же закономерности, что и в ясную, с той лишь разницей, что абсолютные величины ее примерно в два раза меньше, чем в солнечные и малооблачные дни. В 13 часов на высоте 2 м над кронами суммарная радиация в облачную погоду равняется  $0,37 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ; над кронами — 0,35, под кронами на высоте 9 м от поверхности почвы — 0,18, на 6 м — 0,05 и на 2 м —  $0,03 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

Разность между приходом и расходом лучистой энергии называется радиационным балансом. Характер изменения величин радиационного баланса аналогичен изменению суммарной радиации, т. е. он увеличивается

к полудню и уменьшается к вечеру до  $0,01 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . В 13 часов на высоте 2 м от поверхности крон радиационный баланс в летний период с I.V по I.X 1961 г. был равен  $0,62 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ; у поверхности почвы он составлял 0,61; под кронами на высоте 9 м от поверхности почвы — 0,12; на 6 м — 0,10 и на 2 м —  $0,02 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

В облачную погоду радиационный баланс в 13 часов почти в три раза меньше, чем в солнечную. Над кронами он равен  $0,22 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ ; на поверхности крон — 0,12; под ними на высоте 9 м — 0,10; на 6 м — 0,04 и на 2 м —  $0,02 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

Поступившая на поверхность крон и в их глубину радиация расходуется на теплообмен с органической массой древостоя и почвой. Градиенты температуры изменяются в течение суток в различных частях дерева по-разному: чем выше от поверхности почвы, тем интенсивнее происходит обмен тепла в периферическом слое ствола, ветвей и корней. Особо резко выражен теплообмен в вершинной части дерева, и чем ближе к поверхности почвы находится часть ствола, тем он слабее. Слабее всего выражен теплообмен в корнях деревьев.

Кроме древесных частей, в теплообмене у поверхности почвы принимают участие листовая масса и травяные растения. В 6-метровой толще древесного полога 30-летнего дубового древостоя сосредоточено  $238 \text{ м}^3$  органического материала, состоящего из вершинных частей стволов, ветвей — сухих и растущих, годичных побегов и листьев. Плотность этого полога<sup>1</sup> в среднем равняется 0,004, из которых на долю листьев приходится 0,0018. Через всю толщу полога проникает и поглощается им солнечная радиация. В результате непрерывно меняются гидротермические условия и теплообмен между органической массой и окружающим воздухом. Поэтому начиная с 5 до 9 часов утра температура увеличивается в кроне на  $5-6^\circ$ . После полудня нарастание температуры деревьев идет медленно, а вечером и ночью уменьшается.

При большой сомкнутости крон величина всех составляющих теплового баланса под пологом древостоя резко изменяется. Радиационный баланс под кронами уменьшается в 5 раз и более по сравнению с балансом

<sup>1</sup> Под плотностью полога понимается отношение его общего объема на 1 га к объему органической массы в нем.

на высоте 2 м над кронами. В таком же соотношении изменяются затраты тепла на испарение.

Радиационный годовой баланс солнечной энергии, поступающей на поверхность крон 30-летнего древостоя, с учетом высоты солнца равен  $4,41 \cdot 10^9$  ккал. Из этого количества расходуется (в %):

На суммарное испарение	64,1
На турбулентный теплообмен	20,8
На тепловой поток через границу деятельного слоя	2,0
На фотосинтез и дыхание растений	2,8
На испарение с покрова	6,7
На нагревание почвы	3,6

Приведенные здесь составляющие теплового баланса относятся к фитоценозу, имеющему поверхность стволов  $8730 \text{ м}^2$ ; живых ветвей —  $3430$ ; усохших ветвей —  $1370$ , листьев —  $75\,200$ ; годовичных веток —  $450 \text{ м}^2$ , или всего  $89\,180 \text{ м}^2$  на 1 га.

Из расходуемой солнечной энергии ежегодно поступает на почву с опадом и отпадом  $4250 \text{ ккал/га}$ , или  $88,6\%$ , и с осадками  $507 \text{ ккал/га}$ , или  $11,4\%$  органического вещества. Из последних на долю вымытых из полога приходится  $389 \text{ ккал/га}$ , а на долю сохранившихся в осадках —  $118 \text{ ккал/га}$ . Из энергии органического вещества, содержащегося в воде,  $9,8\%$  вымыто с листьев и стволов и  $1,6\%$  поступило с осадками из атмосферы.

Затрата тепла на испарение равна произведению скрытой теплоты испарения на величину испарения. Скрытая теплота парообразования в природных условиях несколько изменяется в связи с изменением температуры испаряющей поверхности. Эта зависимость может быть выражена равенством

$$L = 597 - 0,6Q \text{ ккал/г,}$$

где  $Q$  — температура воздуха.

Во многих климатологических расчетах можно пользоваться постоянным значением скрытой теплоты испарения, приближенно равным  $0,6 \text{ ккал/г}$ .

Исследования показывают, что растения не всегда достаточно обеспечены светом и не всегда световая энергия используется растениями. Солнечный луч — это не только дневной свет, не только полоска видимого глазом

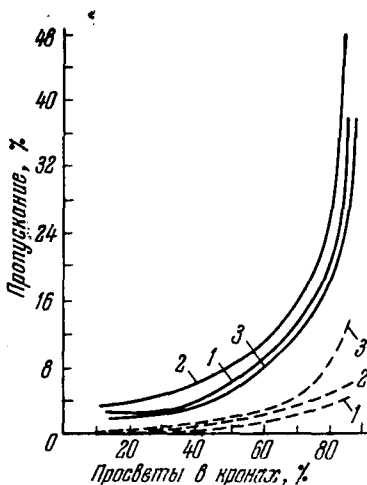


Рис. 16. Количество и спектральный состав света под пологом леса в зависимости от сомкнутости крон (из Акуловой, Хазанова, Цельникер и Шишова 1962)

1 — красные лучи; 2 — зеленые лучи; 3 — синие лучи; сплошные кривые — при рассеянном свете, пунктирные — при прямом солнечном свете

спектра. За границей красного и фиолетового цвета существуют инфракрасные и ультрафиолетовые лучи, которые вызывают повышение температуры. Количество ультрафиолетовых лучей, достигающих зеленой поверхности, зависит от высоты стояния солнца. При стоянии солнца в зените они преодолевают толщу атмосферы кратчайшим путем. Почти вся коротковолновая часть спектра поглощается молекулами воздуха, воды, пыли и не достигает биосферы.

Энергия фотонов ультрафиолетового света очень велика. Иногда фотон выбивает электрон за пределы атома, но чаще всего происходит возбуждение атомов и молекул, облегчающих вступление их в химические реакции. При поглощении одного кванта лучей с длиной волны 2537 Å энергия молекулы возрастает до уровня, соответствующего энергии теплового движения молекул при температуре 38 000°. Ультрафиолетовые лучи оказывают бактерицидное и генетическое действие, влияют на рост и деление клеток.

Микроорганизмы обладают различной чувствительностью к ультрафиолетовым лучам. Дрожжи, плесневые грибки и споры бактерий гораздо устойчивее к их действию, чем вегетативные формы бактерий. Ультрафиолетовые лучи изменяют природу организмов. Мутагенное действие их было обнаружено еще в 1932 г. Появление мутаций под действием этих лучей наблюдается у всех простейших и многоклеточных организмов.

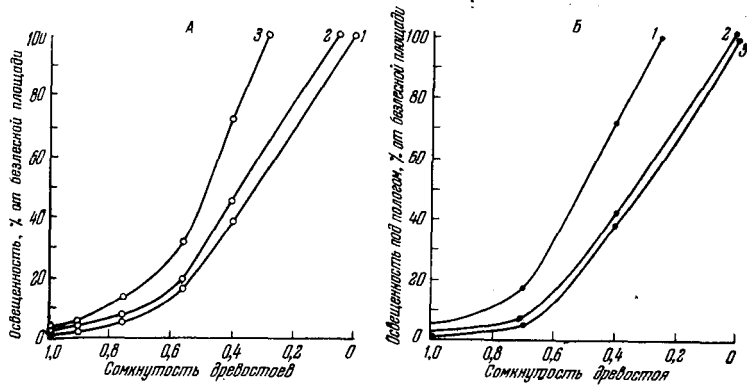


Рис. 17. Освещенность в 30-летних (А) и 45-летних (Б) дубовых древостоях разной сомкнутости, по Молчанову  
 1 — на почве; 2 — на высоте 1,3 м; 3 — в кронах

Проникновение лучей спектра сквозь полог 23-летних дубовых необлиственных древостоев, а также после распускания листьев и при полном листе существенно меняется. По мере развития листьев радиация под пологом леса непрерывно уменьшается, причем в голубой и еще более коротковолновой части спектра значительно больше, чем в красной (рис. 16). Проникновение лучей спектра под полог зависит от его сомкнутости. Резко возрастает оно при сомкнутости менее 0,5 (рис. 17).

**СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО И ПОЧВЕННОГО ВОЗДУХА**

Химический состав воздуха остается почти неизменным по всей поверхности планеты. Такое постоянство объясняется тем, что наряду с поглощением отдельных газов в одних реакциях происходит эквивалентное выделение их в других процессах. Вследствие систематического турбулентного обмена между различными слоями атмосферы воздух непрерывно перемешивается, состав его выравнивается и в атмосфере имеется примерно одинаковое соотношение компонентов: 78,08% азота, 20,95%

кислорода, 0,94% аргона, 0,03% углекислого и некоторых других газов.

Газообразный азот для биогеоценотических процессов имеет сравнительно небольшое значение, так как большинством организмов он непосредственно не усваивается и в круговорот вовлекается в сравнительно малых количествах некоторыми микроорганизмами или в особых случаях после окисления (например, при грозových разрядах).

По исследованиям М. А. Бобрицкой (1963), в северных (Кировск), умеренных (Москва) и южных (Тбилиси) районах нашей страны ежегодно поступает с осадками 3—4,5 кг/га азота в год. При этом обнаруживалось довольно устойчивое отношение аммиачного азота в нитратному с постоянным преобладанием первого.

Поступающий из атмосферы с осадками азот под действием окисления и микробиологических процессов претерпевает в почве существенные изменения. В результате образуется наиболее подвижная нитратная форма.

Ощутимые потери азота из почвы происходят на чистых парах: в среднем из пахотного слоя почвы — до 7,3 кг/га, из слоя 0—85 см — до 10,3 кг/га в год. В отдельные влажные годы, когда в месяц выпадает до 130—140 мм осадков, потери азота на чистых парах из пахотного слоя составляют 15 кг/га, из слоя почвы 0—85 см — до 25 кг/га.

Наибольшее значение для растительности имеют кислород и углекислый газ. Кислород акцептируется всеми компонентами биогеоценоза, обеспечивает дыхание животных и растений в атмосфере, почве, воде, участвует во всех химических реакциях в горных породах, почве и гидросфере. За исключением зеленых растений, с которыми атмосферный кислород находится в двустороннем взаимодействии (поглощается при дыхании и выделяется при фотосинтезе), всеми остальными он лишь неотвратно потребляется в разнообразных реакциях окисления.

По определению биотехнической академии в Лауфене (Австрия), на Земле потребляется столько кислорода, что его хватило бы для дыхания 43 млрд. человек. Это превышение вызвано тем, что пройдя 600 миль, автомобиль расходует столько кислорода, сколько человеку нужно на

целый год, а для сжигания 1 т угля требуется годовой запас кислорода, необходимый для десяти человек. Растительность, выделяющая в атмосферу свободный кислород, быстро исчезает в индустриальных районах, где она особенно нужна. Хотя в некоторых странах и проводятся большие лесопосадки, расположены они обычно далеко от городов и индустриальных центров (журнал «Курьер Юнеско», декабрь, 1965).

Известно, что в атмосфере всегда содержится достаточное количество кислорода для обеспечения любых потребностей растений и животных. Но в почве и водоемах его нередко ничтожно мало. Для лесных биогеоценозов, за исключением некоторых типов сообществ (сообщества болотного кипариса, мангры), недостаточное снабжение кислородом корней ведет к снижению образования органического вещества древесными растениями и к ослаблению интенсивности общего обмена веществ и энергии.

Углекислый газ акцептируется только зелеными растениями, являясь одним из основных компонентов в синтезе органического вещества.

В связи с неравномерностью потребления углекислоты растениями в суточном и годичном циклах развития наблюдаются значительные колебания концентрации углекислоты в приземном слое воздуха, несмотря на выравнивание состава воздуха его движением. Минимальное содержание углекислоты в области крон приурочено к летнему периоду. К концу августа и в сентябре содержание углекислого газа начинает увеличиваться. В дубовых лесах в безветренные солнечные дни в июне и июле оно колеблется от 0,44 до 0,48 мг/л, в дни же с переменной облачностью — от 0,52 до 0,56 мг/л. В сентябре количество углекислоты в солнечные дни достигает 0,62—0,66, а в облачные — 0,68 мг/л. В летние месяцы углекислоты днем меньше, чем вечером, а вечером меньше, чем ночью. Если принять содержание углекислоты в 7 часов за 100%, то в 10 часов оно составит 71%; в 12 часов — 68%; в 16 часов — 57%; в 18 часов — 0,59 и в 24 часа — 180—200%.

Концентрация углекислоты в лесу меняется и в зависимости от высоты от поверхности почвы. Максимальная концентрация приходится на припочвенный слой, минимальная — на полог крон деревьев. Например, в

дубраве на уровне почвы углекислоты содержится от 0,68 до 0,72; на высоте 5,25 м — 0,48—0,54; на 8 м в нижней части крон — 0,52—0,56; на 11,5 м в верхней части крон — 0,46—0,50 и на уровне крон — 0,44—0,49 мг/л. На высоте 2 м над кронами количество углекислоты колеблется от 0,52 до 0,58 мг/л. Первые числа относятся к ясным солнечным дням, вторые — к дням с переменной облачностью. Во влажные теплые дни у поверхности почвы углекислоты около 0,72—0,74 мг/л, в сухие и жаркие меньше (до 0,64 мг/л).

✓ В приземном слое воздуха наибольшая концентрация углекислоты отмечена в березовых и ясеневых древостоях; заметно меньше — в кленовых и еще меньше — в сосновых. Разница в содержании углекислоты у поверхности почвы и у поверхности крон тем больше, чем лучше условия произрастания.

Исследования, проведенные в Ленинградской области К. И. Кобак (1965), показали, что количество углекислоты в разных типах леса неодинаковое. Если принять содержание углекислоты на открытом месте у поверхности почвы, равное 0,589 мг/л, за 100%, то в 11—12 часов дня в типе леса сосняк-беломошник оно будет 106, в кисличнике 122, в долгомошном 106 и в сфагновом 102%.

В 15 часов, в период наименьшей концентрации углекислоты на поверхности почвы в сосняке-беломошнике содержится 106% углекислоты; на открытом месте — 100%; в сосняке-кисличнике — 113; в долгомошнике — 106 и в сфагновом — 102%. Сосняки-кисличники характеризуются повышенным содержанием углекислоты по сравнению с другими, менее продуктивными типами леса, где обмен веществ и энергии происходит слабее. Здесь вертикальные градиенты концентрации углекислого газа достигают наибольшей величины. У поверхности почвы углекислоты 1,3 мг/л, на высоте 0,15 м — 1,13 мг/л, на 1,3 м — 1,07 мг/л; у основания крон — 0,72—0,78 мг/л. В сфагновых сосняках его особенно мало.

✓ Возраст древостоев также влияет на концентрацию углекислоты на поверхности почвы. В сосняке-долгомошнике 20 лет она равна 0,74, на 0,15 м — 0,64, на 1,3 м — 0,6 мг/л; в приспевающих древостоях — 0,67, на 0,15 м — 0,63 и на 1,3 м — 0,62 мг/л; в густых древостоях содержание углекислоты достигает 148% по отношению к открытому месту, в древостоях сомкнутостью 0,72—108%.



В более производительных типах леса интенсивность фотосинтеза выше, чем в слабопроизводительных. В последних углекислоты заметно меньше поступает в кроны и она менее активно поглощается в процессе фотосинтеза.

Высокая концентрация углекислого газа у поверхности почвы, казалось бы, создает благоприятные условия для усиления интенсивности фотосинтеза у подроста и гравяного покрова. Однако у них он выражен слабо, так как под пологом леса создается дефицит прямой солнечной радиации.

✓ Колебания в содержании углекислоты несомненно отражаются на фотосинтезе зеленых растений. При увеличении ее содержания в воздухе, окружающем растения, ассимиляция усиливается, правда, не совсем пропорционально и до известного, в общем небольшого предела, определяемого интенсивностью освещения.

Главный источник углекислоты в воздухе — дыхание животных и растений и разложение органических веществ микроорганизмами (дыхание почвы). Выделение углекислоты тем энергичнее, чем теплее почва, чем ближе к оптимуму ее влажность и чем больше в ней органического вещества.

Благодаря непрерывному разложению органических веществ в процессе дыхания и гниения содержание углекислоты в атмосфере в целом поддерживается на постоянном уровне.

Углекислый газ, отличаясь высокой удельной теплоемкостью, играет роль своеобразного экрана, пропускающего тепловые лучи к Земле, но задерживающего лучи, идущие от Земли. Этим углекислота способствует регулированию температуры воздуха у земной поверхности.

Кислород необходим древесным породам потому, что он является составной частью органических соединений, образующихся в растениях. Источник кислорода — вода и окисленные элементы, поступающие в растение из почвы. Большую часть кислорода растения и микроорганизмы потребляют в процессе дыхания, получая его для надземных частей из атмосферного воздуха, а для корней и микроорганизмов — из почвенного. Подземные части растений нередко испытывают недостаток кислорода. Корнями древесных пород его потребляется за сутки около 1 мг на каждый грамм растущих корней. Суточное потребление кислорода равняется 16 кг на 1 га, или 20 м<sup>3</sup>.

Запас кислорода в почвенном воздухе может достигать максимум 12% в том случае, когда 60% пор в почве не заполнено водой, и при составе воздуха, аналогичном атмосферному, т. е. содержащему около 20% кислорода. Общая пористость, или скважность в 50% может считаться хорошей. При такой скважности и объемной влажности 10% запас воздуха выразится 40%, а кислорода — приблизительно 8%.

Запас кислорода, равный 1%, соответствует скважности ниже 45%. В резко неблагоприятных условиях он может снижаться до 1,5% и менее, что явно недостаточно для корней.

Чтобы запасы кислорода в почве непрерывно повышались, необходимы два основных условия: хорошая воздухопроницаемость почвы и дыхание корней.

Свободное передвижение воздуха возможно только в крупных, некапиллярных промежутках почвы, не заполненных водой и не изолированных один от другого. В капиллярах же, заполненных водой, воздух движется медленно. Воздухопроницаемость остается хорошей даже при уменьшении некапиллярной скважности до 10—15%, и только при более низкой скважности она начинает падать. В распыленных почвах, обладающих только капиллярной скважностью, воздухопроницаемость резко снижена, однако в сухом состоянии она сохраняется в пределах 20—30% от максимальной. При увлажнении почвы воздухопроницаемость резко уменьшается при некапиллярной скважности и совсем отсутствует при капиллярной.

Воздухопроницаемость почвы, являясь необходимым условием передвижения в ней воздуха, сама по себе не может вызывать газообмена. Эту роль выполняют диффузия газов, дождь, ветер, изменения атмосферного давления и «дыхание» почвы при периодическом изменении температуры. Диффузия даже в сухой почве протекает медленно, а в сырой падает почти до нуля. Дождь и ветер действуют очень активно, но усиливают газообмен спорадически. Дождь, особенно сильный, заполняя некапиллярные промежутки в почве водой, вытесняет почвенный воздух, а когда вода рассасывается по капиллярам или стекает в глубину, все некапиллярные промежутки заполняются атмосферным воздухом. Такой обмен двусторонне полезен: надпочвенный воздух обогащается углекислотой, необходимой для ассимиляции растений, а

почвенный воздух — кислородом, необходимым для дыхания корней и биологической деятельности почвы. Давление воздуха также способствует газообмену, однако масштаб этого явления невелик.

Для регулярного газообмена необходим постоянно действующий фактор, удаляющий из почвы загрязненный воздух, т. е. дыхание почвы, которое совершается благодаря суточному колебанию температуры. Под влиянием высоких температур воздух нагревается и выделяется из почвы, а соответствующее количество свежего, более холодного воздуха входит в нее. При амплитуде суточного колебания температуры в  $20^{\circ}$  увеличение или уменьшение объема выразится в  $\frac{20}{273}$  объема, т. е. полный газообмен произойдет за 13 дней. Ветер также способствует газообмену между почвой и воздухом.

Для растений крайне важен третий элемент воздуха — азот. Азот почвенного перегноя в процессе разложения органического вещества минерализуется до аммиака, который в почве никогда не остается без изменения, а, подвергаясь процессам нитрификации, дает нитриты, окисляющиеся дальше в нитраты. Весь ход превращения органического почвенного азота представляется в следующем виде: белки — аминоксоединения — аммиак — нитриты — нитраты. Три последние формы усвояемы для растений.

Первые работы по изучению образования и накопления в почве нитратов касались изучения процессов в природе и определения количества нитратов на обширных водосборных бассейнах, уносимого грунтовыми водами в реки. Исследования показывают, что потери нитратов путем вымывания происходят только при насыщении почвы водой во время весеннего половодья и при исключительно обильных дождях летом.

Существует еще и небιологический путь прихода азота из атмосферы в почву. Это — небольшое количество солей азотной кислоты и аммиака, поступающее с осадками. Как известно, при всяком гниении на поверхности земли аммиак поступает в воздух. В атмосфере он частично растворяется в каплях и вместе с ними достигает почвы.

Растения содержат азота около 1,5% своего веса в сухом состоянии. Содержание его сильно колеблется в отдельных частях и органах растений. Происходит это потому, что не все органические вещества растения

содержат азот. Его нет в клетчатке, из которой образуется главная часть древесины и волокнистых веществ. Не содержат азота и крахмал, сахар, жир, входящие в состав растительных веществ. Больше всего его в семенах, которые богаты белками. И все же без азота не может развиваться и существовать ни одно растение, поскольку он входит в состав белка, нуклеиновых кислот, хлорофилла.

Несмотря на то что растение буквально всю свою жизнь «купается в азоте», содержание которого в атмосфере составляет более чем 78%, этот элемент принадлежит к числу дефицитных. Недостаток его очень часто является причиной низких урожаев органической массы в древостое, особенно в нечерноземной зоне. Это легко понять, если вспомнить, что свободный азот растениям совершенно недоступен, а именно в такой форме он находится в атмосферном и почвенном воздухе.

Нормальное азотное питание древесных растений возможно только за счет аммиака и селитры; в первом из этих соединений азот связан с водородом, во втором — с кислородом. Больше всего азота сосредоточено в темноокрашенном органическом веществе почвы — гумусе, или перегное (до 5% веса).

Основатель науки о микроорганизмах Луи Пастер еще в 1862 г. высказал предположение, что образование селитры в почве — не химический, а биологический процесс.

Большой интерес для биогеоценотических исследований представляет определение содержания кислорода и углекислоты в почвенном воздухе, по которому до известной степени можно судить об интенсивности и направлении биохимических процессов и условиях роста древесных растений. Образование углекислоты в почве вызывается процессами разложения мертвых органических остатков и гумуса микроорганизмами, а также процессами дыхания корней древесной и травяной растительности.

Недостаток кислорода и повышенное содержание углекислоты часто является причиной плохого роста древостоев, особенно на избыточно увлажненных площадях.

Активное выделение углекислоты осуществляется перегнойно-аккумулятивным горизонтом. Частично она здесь выделяется в атмосферу, а в основном стекает в более глубокие горизонты почвы.

Состав почвенного воздуха отличается от атмосфер-

ного. В атмосферном воздухе концентрация углекислоты достигает 0,03%, в почвенном 0,2%, а иногда и больше. На лёссовидном суглинке, занятом растениями, она выше, чем на тех же почвах, лишенных растительности, а также на солонцах.

Продуцирование углекислоты почвой, занятой растительностью, обязано выделению углекислоты корневой системой, деятельностью микроорганизмов, разрушающих органическое вещество почвы, дыханию почвенных животных и дыханию корней растений. Естественно, что чем сильнее развита корневая система и чем активнее деятельность микроорганизмов, тем больше выделяется углекислоты. Наряду с этим, чем больше выделение почвенной углекислоты, тем лучше условия для углеродного, азотного и зольного питания растений.

Наблюдениями установлена тесная зависимость продукции почвенной углекислоты с составом древесной растительности. В сосняке лишайниковом и ельнике-зеленомошнике наблюдаются два резко выраженных максимума выделения углекислоты — весной и осенью. Это совпадает с периодами наиболее активного развития микрофлоры и с повышенной влажностью почвы. В сложном ельнике этот процесс усиливается летом и уменьшается весной и осенью. По исследованиям В. Н. Мины в Моховском лесничестве Орловской области, наибольшее выделение углекислоты отмечается в почве под листовенничным древостоем; за ним следуют почвы дубового леса, березового и елового, а затем уже — залежный участок (табл. 4).

Таблица 4. Выделение углекислоты с поверхности почвы за сутки в разные сроки вегетационного периода 1960 г., кг/га

Объект исследования	11—18.VI	12—18.VI	29—30.IX
Залежь	100	96	37
Ельник	119	124	104
Лиственничник	188	137	59
Дубняк	169	119	51
Березняк	187	128	54

Исследованиями В. Н. Миной (1954) в Теллермановском опытном лесничестве Института леса АН СССР установлено, что иссушение летом верхних горизонтов почвы, являющихся основным источником выделения углекислоты, ведет к нарушению прямой зависимости образования углекислоты от температуры. При недостаточном увлажнении процесс выделения углекислоты замедляется.

Под 4-летней дубравой наблюдается наибольшее содержание углекислоты в почвенном воздухе, что свидетельствует об интенсивности протекания биологических процессов.

Для постоянства состава почвенного воздуха необходимо, чтобы через каждый час происходило его обновление до глубины 20 см.

Интенсивность почвенного газообмена зависит от температуры, поступления осадков, диффузии, которая тесно связана со структурностью почвы, динамикой жизненных процессов населяющих почву организмов. На тяжелых бесструктурных почвах газообмен протекает чрезвычайно медленно. Такая же картина наблюдается на сырых почвах и солонцах. При величине структурных отдельностей выше 0,5 мм повышение влажности до 85% от капиллярной влагоемкости практически не понижает воздухопроницаемости. Только при полном насыщении влагой понижается воздухопроницаемость структурных почв. В дождливое время воздух почти полностью вытесняется из почвы.

В незамерзшей почве непрерывно протекают биологические процессы — синтез и распад, потребление и выделение различных органических и минеральных веществ. В этом процессе одни виды организмов образуют углекислоту, эфиры, кислоты, спирты, аммиак, сероводород, метан; для других перечисленные соединения служат источником питания. Специфический запах земли обусловлен летучими метаболитами микроорганизмов, преимущественно актиномицетов.

Опытами установлено наличие питательных веществ в воздухе атмосферы и почвы. В капле водной среды, приготовленной из испарений почвы, растут кончики корней, некоторые бактерии и грибы.

Наиболее богат витаминами воздух лесов и лугов. Витамины, выделяемые в воздух растениями, исполь-

зуются микроорганизмами почвы. В воздухе почвы могут находиться и токсические вещества.

В 42 и 56-летних древостоях с глубины 50 см и ниже углекислоты больше, чем в более молодых и старых древостоях. Заметно повышенное содержание углекислоты в 42-летнем древостое, особенно на глубине 75 см. Это вызвано, по-видимому, более обильным выделением углекислоты в почве вследствие более высокого прироста древесины в древостоях этого возраста.

Результаты определения углекислоты (Мина, 1960) показали, что содержание ее в почве в засушливый период лета уменьшается. По мере углубления в почву количество углекислоты увеличивается. В плотных горизонтах почвы ее меньше, в рыхлых с хорошо оструктуренной почвой — больше.

Углекислота повышает в почве содержание соединений азота, фосфора, калия и других элементов и усиливает обмен между твердой и жидкой фазами.

Содержание кислорода в почвенном воздухе колеблется от 2 до 12%. Обычно оно равно 7—8%. Более всего кислорода в хорошо обработанной почве. С глубиной его количество уменьшается. На почвах, занятых растительностью, большое количество кислорода потребляют корни растений. Обычно на 5 г сухого вещества поглощается 1 мг кислорода в сутки.

Существенно влияют на состав почвенного воздуха почвенные микроорганизмы. Их деятельностью объясняется меньшее содержание кислорода и повышенное — углекислоты ( $\frac{2}{3}$  ее образуется в результате деятельности микроорганизмов, одна треть выделяется корнями).

## ЛЕС И АТМОСФЕРНАЯ ПЫЛЬ

Основная масса примесей воздуха представлена пылью, включающей в себя нерастворимые и растворимые компоненты. Из общей массы аэрозолей, встречающихся над земной поверхностью, в воде растворимы 50—80% и не растворимы — 20—50%.

Пылью считаются частицы с радиусом  $10^{-4}$  —  $10^{-3}$  см, ядра конденсации — со средним радиусом  $5 \cdot 10^{-6}$  см. Пыль — это совокупность аэрозолей и других мельчай-

ших твердых частиц, взвешенных в воздухе. Влияние атмосферной пыли на лес может быть отнесено к несущественным элементам среды в том случае, если ее мало, и к весьма важным и сильно влияющим на растительность, если ее много. Большое количество промышленных газов, а также стихийные черные бури влияют на растительность весьма неблагоприятно.

Из общего количества пыли в атмосфере на неорганические вещества падает от  $\frac{2}{3}$  до  $\frac{3}{4}$ . Главным источником пыли — рыхлая почва. Пыль возникает всюду, где отсутствует растительность, препятствующая быстрому выветриванию верхнего слоя почвы. Наибольшее пылеобразование наблюдается в засушливых областях.

Содержание в воздухе пыли и ядер конденсации зависит от относительной влажности воздуха. Чем ниже относительная влажность, тем меньше количество пылинок в  $1 \text{ см}^3$  воздуха, но больше число ядер конденсации и наоборот, чем выше относительная влажность, тем меньше ядер конденсации и больше количество пылинок. При повышенной влажности воздуха ядра конденсации укрупняются. Увеличение содержания пыли и уменьшение содержания ядер конденсации в воздухе перед началом дождя объясняется коагуляцией.

Любое вещество может способствовать появлению зародышевых капель в атмосфере, если диаметр его частиц меньше  $10\text{--}5 \text{ мк}$ . Пылинки и ядра конденсации способствуют конденсации влаги в воздухе.

Свойство пыли равномерно распределяться в пространстве и хорошо сцепляться с листвой — единственно полезное свойство. Оно используется при распылении ядовитых веществ и при борьбе с вредителями растений. Во всех остальных случаях пыль или безразлична или вредна для растительности.

Находящиеся в атмосфере вредные газы, зола, сажа и также твердые минеральные частицы оказывают различное влияние на жизнедеятельность растений. От пыли, содержащей в себе вредные вещества, листья растений начинают буреть, желтеть, увядать. Частицы угольной пыли почти не приносят вреда, так же как уличная и цементная пыль. Сажа, не вызывая засыхания листьев и хвои во время летней жары, является, однако, одним из элементов, мешающих росту хвойных растений в парках больших городов.



Во время пыльных бурь растительность получает не только механические повреждения, но заносится пылью.

Растворимые вещества пыли попадают в почву и затем поглощаются корнями растений; некоторые воднорастворимые соединения вызывают увядание растений. Иногда они повреждают хлорофилловые зерна или уменьшают содержание в них хлорофилла. Нерастворимые составные части пыли могут неблагоприятно влиять на физические свойства почвы и тем самым вредить растительности. Вместе с тем пыль несколько предохраняет растения от заморозков. Кроме того, она может подавлять рост мелких растений, давая возможность более крупным получать большее количество пищи и воздуха и, следовательно, способствовать их росту.

Существенно влияет пыль и на почву: с одной стороны, она уменьшает ее теплоотдачу, интенсивность радиации, снижая тем самым нагревание почвы, а с другой — оказывает большое влияние на химизм поверхности почвы и способствует образованию леса, так как в атмосферной пыли содержатся семена растений, микроорганизмы, пыльца и споры тайнобрачных, водоросли, спорообразующие плесневые грибы с частицами самих растений и т. д.

Пыльца хвойных древесных пород очень часто уносится ветром на большие расстояния (до 150—200 км). Возникающие в период опыления древесных пород дожди способствуют выпадению пыльцы на землю.

В настоящее время большое количество пыли поступает от промышленных предприятий. По сообщению Дюрка (Petur Durk, 1966), в ФРГ ежегодно поступает в атмосферу около 2 млн. т пыли. Большую роль в поглощении пыли играет лес. Здесь из-за снижения скорости ветра она оседает на стволах, ветвях и листьях или хвое.

Наиболее распространенными газами, загрязняющими атмосферу и сопровождающими те или иные производственные процессы, являются окись углерода, углекислый газ, сернистый газ и сернистый ангидрид. Менее распространены хлор и хлористый водород, фтор и фтористый водород, окислы азота, аммиак и сероводород.

К числу вредных для растений веществ относится также серная кислота, фтористые соединения в виде пыли и газообразных веществ и др.

Содержание сернистого газа в Измайловском парке, расположенном на восточной окраине Москвы, достигает 1,6—2,4 мг/м<sup>3</sup>. Наиболее сильно загрязняется лес в ноябре-декабре. В западной части Подмосковья, в Звенигородском районе, подобных примесей почти не встречается.

Содержание вредных примесей в воздухе в лесах паркового пояса Москвы еще не достигает тех пределов, при которых хвойным насаждениям наносятся явно заметные повреждения. Отметим, что под действием серы в количестве 20—30 мг/м<sup>3</sup> в течение 10 часов никаких изменений в вегетативных органах растений не происходит, а при 50 мг/м<sup>3</sup> — они уже заметны и, наконец, при 100 мг/м<sup>3</sup> — вегетативные органы отмирают.

Содержание сернистого газа в хвое неповрежденных газами еловых деревьев достигает 0,23% от абсолютно сухого веса, а в поврежденных — 0,74%. Если количество сернистого газа в воздухе достигает 260 мг/м<sup>3</sup>, хвойные деревья погибают в течение нескольких часов; при 5,2—26,0 мг/м<sup>3</sup> наблюдается острое повреждение хвойных и лиственных пород, причем они гибнут лишь при продолжительном или часто повторяющемся воздействии; при 1,82—5,20 мг/м<sup>3</sup> происходит хроническое отравление древесных пород, вызывающее уменьшение прироста; при 1,04—1,82 мг/м<sup>3</sup> — повреждаются лишь наиболее чувствительные древесные породы и то при длительном или часто повторяющемся воздействии; на содержание сернистого газа от 0,26 до 0,52 мг/м<sup>3</sup> древесные породы не реагируют или почти не реагируют. В настоящее время вредные газы в отдельных районах паркового пояса действуют заметно отрицательно.

Наиболее чувствительны к дыму и пыли пихта белая, ель обыкновенная, пихта дугласия; относительно устойчивы все лиственные, из хвойных — сосна черная, сосна веймутова, сосна обыкновенная, лиственница. Старая хвоя повреждается газами сильнее, нежели молодая, за исключением случаев острых отравлений.

У сильно поврежденных газами деревьев почки распускаются на 9 дней позднее, разворачивание листьев запаздывает на 36 дней. Вегетационный период сокращается на 20—40 дней (Антипов, 1957, 1963).

Количество пыли на хвое древесных пород, по данным того же автора, приводится в табл. 5.

Таблица 5. Количество пыли, снятой с 50 г хвои в подмосковных лесах

Место отбора проб	Количество пыли, (среднее из 3 проб), г	Поглощение света пыльным налетом, накопившимся за год		
		чистая чашечка, люкс	с пыльным основанием, люкс	поглощенный свет, %
В Лосиноостровской даче, кв. 50	0,46	230	132	43
В Балашихе, кв. 101	0,24	225	170	25
В лесах на запад от Москвы:				
Серебряноборское л-во	0,11	230	215	7
На Николиной горе	0,09	215	205	5
В Хлюпинском л-ве, кв. 47 (близ автомагистрали)	0,15	225	210	7

Над промышленными предприятиями пыль висит на высоте 200—250 м. В разгар лета этот экран ультрафиолетовые лучи пробивают с трудом.

При воздействии сернистого газа и фтористого водорода на листьях растений появляются ожоги в виде светло-зеленых пятен, которые затем буреют, и листья отмирают. В поврежденных этими газами растениях нарушается транспирация, снижается активность ферментов, разрушается хлоропласт, возникает плазмолиз и обезвоживание поврежденных клеток.

Степень устойчивости к газам зависит от природы растений, фазы их развития, концентрации газа, условий погоды.

Растения, устойчивые к засолению, более устойчивы и к воздействию газа. Повреждение сернистым газом локальное и менее сильное, чем фтористым водородом. Количество окисляемых веществ клеточного содержимого может служить показателем газоустойчивости растений. Более устойчивые к сернистому газу и фтористому водороду растения отличаются повышенным содержанием свободной воды в листьях и более высокой водоудерживающей способностью.

В различных районах количество и качество пыли неодинаковое. В одних местах пыль состоит главным об-

разом из минеральных частиц (маловредных и к тому же тяжелых), в других — преимущественно из копоти и смол, вредное действие которых значительно.

При небольших концентрациях пыли внешние признаки повреждений выражены четко, и процесс отмирания древесных пород идет очень медленно. Точная диагностика повреждений таких насаждений очень затруднена. Надежнее всего повреждение может быть установлено физиологическими и биохимическими методами. Действие вредных примесей зависит от возраста насаждений. В лесах старшего возраста окраска хвои приобретает желтоватый оттенок, часто она неясно выраженная, пятнистая: от более или менее зеленых до желто-зеленых пятен очень неправильных очертаний, с расплывчатыми границами. Сама хвоя становится мельче (короче и тоньше), количество ее на побегах уменьшается. Продолжительность жизни хвои сосны сокращается с 3—5 лет до 1,5 года, а у ели — с 7—8 до 3—5 лет. В результате кроны деревьев становятся ажурными и деревья суховершинят и отмирают (Кротова, 1958).

В насаждениях, подверженных задымлению, продолжительность жизни древесных пород сокращается, но возобновление леса под пологом проходит нормально. Так, вместо 250—300 лет сосна здесь живет 80—120 лет, а ель 70—90 лет вместо 200—250.

Другими словами, насаждения ели и сосны погибают к моменту наибольшей декоративности.

На плодородных почвах насаждения страдают от загрязненности воздуха меньше и оказываются более долговечными. Подкормки азотными удобрениями и известкование кислых почв снижают повреждаемость растений, так как улучшают условия минерального питания, способствуют восстановлению зеленой поверхности и, по-видимому, уменьшают напряженность в обмене веществ растений.

Сильно снижают устойчивость насаждений к вредным примесям воздуха неблагоприятные гидрологические условия, особенно неустойчивое избыточное увлажнение при высоком уровне грунтовых вод и близкое залегание моренных суглинков.

Густые насаждения с подлеском и ненарушенной лесной обстановкой более устойчивы, чем изреженные. Лиственные породы — дуб черешчатый, осина и береза

бородавчатая — наиболее стойки против газов и пыли. Опушки леса повреждаются сильнее, чем древостои, удаленные от стен леса.

Наиболее чувствительны к загрязнению атмосферы хвойные породы (ель и сосна). В старших классах возраста они не выдерживают такого воздействия и выпадают из древостоев во всех типах леса, при любой сохранности лесной среды. Не спасает их и прекращение вытаптывания, рыхление почвы и вообще восстановление лесной среды. Процесс повреждения хлорофилла, отравление клеточного ядра заходит глубоко и приобретает необратимый характер. Поэтому наиболее радикальной мерой является снижение концентрации вредных примесей воздуха. Если это невозможно, неминуема смена сосны и ели на дуб и березу.

Лес в значительной степени содействует очищению воздуха от пыли и препятствует дальнейшему ее распространению. У стены леса, расположенной вблизи от промышленных предприятий, в воздухе содержится  $0,23—0,32$  мг/м<sup>3</sup> сернистого газа. На расстоянии  $15—20$  км его количество снижается до  $0,07$  мг/м<sup>3</sup>, а в пасмурную погоду до  $0,17$  мг/м<sup>3</sup>. Как днем, так и ночью при малой скорости ветра лишь незначительное количество пыли проникает внутрь лесного массива. Основная масса попадает в него со стороны опушки. Эта пыль быстро оседает вследствие безветрия в лесу. В спелом лесу пыли почти всегда меньше, чем вне леса. Число пылинок в единице объема изменяется лишь при сильном порывистом ветре и уменьшается по направлению ветра, проникающего в глубь леса не более чем на  $500$  м. Меньшая запыленность воздуха в лесу объясняется очищающим действием полога крон, в котором обнаруживается больше пылинок, чем под ним и на лесной подстилке.

Количество пыли на листе разных древесных пород неодинаково. Гладкие, глянцевиые листья осины и тополя бальзамического задерживают в  $6,3$ , а дуба в  $2,3$  раза меньше пыли, чем шероховатые листья вяза. На верхушке вяза высотой  $13$  м ее остается в  $8$  раз меньше, чем на высоте  $1,5$  м. Это объясняется сдуванием пыли ветром и смыванием ее дождем с вершин деревьев.

В дождливую погоду пыль смывается и оседает на поверхность почвы. В ФРГ ежегодно фильтруется из воздуха сквозь кроны еловых древостоев около  $32$  т/га,

сосновых — 36 т/га, а сквозь кроны буковых древостоев — до 68 т/га пыли. В одном кубометре осадков, падающих на землю, содержится до 230 мг взвешенных частиц и до 225 мг растворимых (Dirk Peter, 1966).

Перенос пыли от стены леса высотой 23 м достигал на расстоянии до 100 м 65%, до 400 м — 38, до 1000 м — 25, до 2000 м — 10 и до 3 км от стены леса — 5%.

Особенно много газов в воздухе около промышленных предприятий. На расстоянии до 0,2 км от завода их в среднем 32 мг в 1 м<sup>3</sup> воздуха, в пределах от 0,5 до 1 км от завода — 28, от 1 до 1,5 км — 27, от 1,5 до 3 км — 5 и от 3 км и выше — до 1,5 мг на 1 м<sup>3</sup> воздуха.

Размеры вымывания различных минеральных веществ с листьев, ветвей, а также со стволов зависят от вида древесных пород, условий их произрастания и количества осадков. В снытевой дубраве 30 лет вымывается 1,58 кальция, 0,634 магния и 0,43 кг/га калия и натрия; в 69-летней дубраве — 3,24 кальция, 0,77 магния и 0,55 кг/га калия и натрия; в 229-летней дубраве — 3,19 кальция, 1,16 магния и 0,93 кг/га калия и натрия. Ежегодное поступление минеральных веществ с водой, стекающей по стволам, сравнительно небольшое, но из-за длительного и систематического их поступления на одно и то же место — под ствол или рядом с деревом — изменяется кислотность почв. Эти изменения хорошо обнаруживаются в горизонтальном направлении от стволов деревьев на расстоянии 50—60 см и в глубину почвы на 1 м и более. Сток осадков по стволам вызывает устойчивые изменения в почве, вызывающие изменение или устранение растительности вокруг деревьев.

По данным В. Н. Миной (1960), осадки, прошедшие через кроны ели (Ярославская область), характеризуются следующими величинами рН: на открытом месте — 5,1—6,1, под кронами ели — 4,6—6,0, под березой — 4,5—5,9 и под сосной — 3,7—5,5. В подзоле смешанных лесов рН на открытом месте составляет 5,7—6,1, под кронами сосны — 4,7—5,3, под липой — 5,4—5,9 и под рябиной — 5,3—5,9. Во всех случаях рН осадков, прошедших сквозь кроны, смещается в сторону подкисления. Сильно подкисляются атмосферные осадки, стекающие по стволам ели, несколько меньше — по стволам сосны и еще меньше — березы и рябины.

### ФОТОСИНТЕЗ И ДЫХАНИЕ РАСТЕНИЙ

Фотосинтез — один из самых удивительных процессов, происходящих в растениях.

В процессе фотосинтеза совершается последовательный ряд реакций, общее направление которых противоположно естественному сродству атомов. При помощи энергии солнечного света растение преодолевает силы связи между водородом и кислородом в молекулах воды, между кислородом и углеродом в углекислоте. Образующиеся при этом активные продукты (кислород, водород, гидроксильные ионы и др.) стремятся вновь соединиться, отдав избыточную энергию.

При фотосинтезе углекислый газ восстанавливается до уровня углеводов с одновременным выделением кислорода. Эта реакция осуществляется благодаря поглощению световой энергии. Продуктивность фотосинтеза при вспышках света высокой интенсивности увеличивается до максимума, если удлинять темновой период между вспышками. При очень высокой интенсивности света скорость фотосинтеза лимитируется скоростью темновой реакции. Темновой период после вспышки света дает возможность темновой реакции «продолжить» световую реакцию. В результате световой реакции возникает химический потенциал, обеспечивающий последующее образование восстановленной формы никотинамидадениндинуклеотидфосфата и трифосфатов аденозина. Эти вещества несут «ассимиляционную

энергию», которая используется для восстановления углекислоты в темновой реакции. Это процесс создания из углекислоты, воздуха и воды сложных органических соединений — углеводов, входящих в различные продукты питания. Кроме углекислоты, для этого необходима солнечная энергия, поглощаемая хлорофиллом.

Фотосинтез — это процесс получения углеводов из углекислого газа и воды в хлорофиллоносных тканях растений, выставленных на свет. Фотосинтез — это процесс, в котором световая энергия солнца превращается в химическую, запасенную в углеводах. Фотосинтез часто называют ассимиляцией. Насколько грандиозен эффект фотосинтеза, можно убедиться на таких примерах.

Ежегодно наземные и водные растения связывают и превращают в химическую энергию столько солнечной энергии, сколько могли бы дать за это же время при непрерывной работе 200 000 электростанций, подобных Волжской ГЭС им. В. И. Ленина, т. е. около 2 000 000 млрд. *квт/час*. При этом в процессе фотосинтеза из воздуха растениями извлекается 175 млрд. *т* углерода. За 300—400 лет ими усваивается столько же углерода, сколько его содержится в углекислом газе атмосферы и в составе растворенных карбонатов и углекислоты в водах морей и океанов.

Большая часть углерода возвращается в атмосферу в результате окисления отмерших растительных организмов, горения, расходования органических веществ животными и людьми в процессе жизнедеятельности. Таким образом, растительные организмы, начиная от гигантских деревьев и кончая микроскопическими одноклеточными водорослями, являются связующими звеньями между Солнцем и жизнью на Земле. Лучи Солнца, попав на Землю, поглощаются зеленым листом растения.

Синтезируя и накапливая колоссальное количество сложных органических соединений, растения создают условия для существования и совершенствования животных организмов, использующих эти запасы в качестве питательного материала.

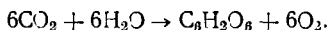
В процессе многовековой работы растений в атмосфере накопилось достаточное количество кислорода, который непрерывно выделяется при расщеплении воды в



ходе фотосинтеза. В организме животных идут процессы, противоположные процессу фотосинтеза.

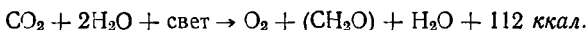
Солнечная энергия, расходуемая зеленым покровом Земли, составляет всего около 0,3% энергии падающего на Землю солнечного луча; в благоприятных условиях она достигает 10—15%, а иногда 25—30%. Как видно, резервы увеличения производства пищевых продуктов на нашей планете достаточно велики.

До недавнего времени считалось, что солнечная энергия, поглощенная хлорофиллом, расходуется на расщепление молекулы углекислоты. При этом кислород выделяется в атмосферу, а углерод идет на синтез органических соединений по формуле:



Однако применение метода меченых атомов внесло в эту схему существенную поправку. Оказалось, что солнечная энергия расходуется на разложение воды. В процессе фотосинтеза кислород выделяется в атмосферу не из углекислоты, а из воды, водород же идет на восстановление молекул углекислоты.

В настоящее время основное уравнение фотосинтеза изображается так:



Фотосинтез — многоступенчатый процесс, состоящий из большого количества стадий. Реакции можно разделить на две группы. Первая связана с непосредственным влиянием света, она называется фотохимической, а вторая протекает при отсутствии света и называется темновой, или просто химической. Темновые реакции регулируются и управляются белковыми катализаторами-ферментами.

Процесс фотосинтеза начинается с поглощения света хлорофиллом. В растениях имеется несколько видов хлорофилла. Главные из них два: хлорофилл А и хлорофилл Б.

Максимумы поглощения света для хлорофилла А лежат в области 400—440 и 630—660 мк ( $\text{мк} = 10^{-6} \text{ м}$ ), для Б — в области 440—470 и 620—650 мк. Хлорофилл поглощает главным образом красные и синие лучи и плохо поглощает зеленые, но хорошо их отражает и рассеивает.

Фотосинтетический аппарат локализован в хлоропласте — дискообразном теле длиной 1—10 мк. Он образован системой пластинок, которые часто накладываются одна на другую. Хлоропласты содержат (в расчете на сухое вещество) около 50% белка, 35% липидов и 7% пигментов. Пигменты хлоропластов относятся к двум основным группам — хлорофиллам и каротиноидам. В нормальных зеленых листьях хлорофилла больше, чем каротиноидов; их соотношение иногда достигает 5:1.

В высших растениях фотосинтез протекает наиболее эффективно при поглощении света хлорофиллом А. Хлорофилл В имеет определенное значение в защите клетки от фотохимических реакций.

Количество веществ, образующихся в результате фотосинтеза, полностью не учтено. Полстер (Polster, 1950) установил, что лес в Центральной Европе синтезирует за день от 75 до 300 кг глюкозы на 1 га, исключая расход на дыхание. По его подсчетам, чистый фотосинтез за сезон изменяется от 21,8 до 77 кг/га в день.

Как уже отмечалось, способность растений к фотосинтезу связана с наличием хлорофилла. Общее количество хлорофилла в здоровых зеленых листьях составляет 1% от их сухого веса. Для его образования очень важен свет, большое значение имеет температура воздуха и почвы, минеральные вещества и вода. Впрочем хлорофилл очень чувствителен и к другим факторам. Шерли обнаружил уменьшение концентрации хлорофилла в связи с повышением интенсивности света. Очевидно, это вещество одновременно и синтезируется и разрушается, но при ярком свете равновесие устанавливается при более низких концентрациях. Синтез хлорофилла происходит при разных температурах, однако максимальное количество его образуется при 15°.

Определение фотосинтеза сопряжено с трудностями, так как одновременно с ним происходит процесс дыхания.

В настоящее время интенсивность фотосинтеза устанавливается тремя способами: 1) по количеству поглощаемого углекислого газа, 2) по количеству выделяемого кислорода и 3) измерением увеличения сухого веса. Учет выделяемого кислорода применим для водных растений. Наиболее распространен первый способ

ольно прост, но требует трудоемких процедур измерения потока воздуха, температуры, света и концентрации углекислоты.

Интенсивность фотосинтеза обычно выражается количеством поглощенной углекислоты (в мг) на единицу площади листьев или на единицу сухого веса листьев и зависит от состояния и вида древесных пород. Размер, интенсивность фотосинтеза у дуба больше, чем у сосны.

По данным Полстера (1950), дневная интенсивность фотосинтеза у различных пород существенно различается (табл. 6).

Интенсивность фотосинтеза одинакова она и в одни и те же часы суток у различных пород сходных по внешнему виду, размерам. Причиной различия является изменение интенсивности света.

Таблица 6. Дневная интенсивность дыхания и фотосинтеза, мг  $\text{CO}_2$  на 1 г сырого веса

Порода	Дыхание	Фотосинтез
Береза бородавчатая	22,9	65,9
Дуб черешчатый	17,5	43,2
Бук европейский	11,1	52,9
Сосна обыкновенная	7,9	17,1
Псевдотсуга тиссолистная	7,5	18,8
Ель обыкновенная	5,5	14,2

Интенсивность фотосинтеза в ясную погоду интенсивность фотосинтеза в полдень понижается. Вследствие усиленного испарения происходит потеря тургора и закрытие устьиц.

Интенсивность фотосинтеза меняется также в пределах суток, будучи наименьшей в начале весны, в конце лета и в начале осени.

Внешние факторы внешней среды, влияющие на фотосинтез: свет, температура воздуха, концентрация  $\text{CO}_2$  в воздухе, почвенная влага, плодородие почвы, состояние листьев. На фотосинтез влияет возраст деревьев, их строение, распределение устьиц и их количество, содержание хлорофилла и степень накопления углеводов в листьях. Это внутренние факторы.

Интенсивность фотосинтеза световых и теневых листьев ясеня была выявлена Бойсеном Иенсеном (Boysen Jensen, 1932). Характер изменения фотосинтеза в зависимости от интенсивности освещения листьев в миллиграммах  $\text{CO}_2$  на  $50 \text{ см}^2/\text{час}$  выражается следующими данными:

Освещенность, тыс. люкс	1	3	5	7	9	11	13	15	20	30	40	50
Световые листья	0,3	1,7	2,7	3,4	3,8	4,2	4,4	4,7	4,8	4,9	4,9	4,9
Теневые листья	1,8	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1

При интенсивности освещения менее 3 тыс. люкс фотосинтез теневых листьев лучше, чем световых; при интенсивности более 3 тыс. люкс фотосинтез освещенных листьев усиливается. При освещении в 21 тыс. люкс интенсивность фотосинтеза у освещенных листьев возрастает почти в 2 раза. Эти выводы Бойсена Иенсена справедливы не только для освещенных и затененных листьев, но и для целых хвойных растений.

На фотосинтез растений оказывает действие и температура. При оптимальной температуре он увеличивается с увеличением интенсивности освещения. Для разных древесных пород оптимальная температура, при которой фотосинтез происходит в полной мере, различна.

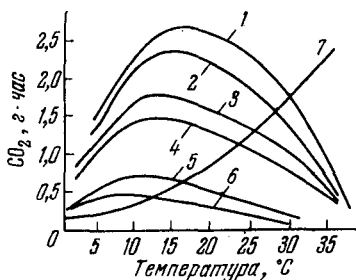
На рис. 18 показано, что наиболее высокая интенсивность фотосинтеза наблюдается при температурах в пределах  $10-15^\circ$ . При одинаковой температуре фотосинтез естественно возрастает с увеличением интенсивности освещения. Потеря на дыхание возрастает с повышением температуры. Однако фотосинтез не может достигнуть максимума, если деревья недостаточно освещены или недостаточно углекислоты в воздухе. В общем можно считать, что этот процесс у древесных растений постепенно активизируется при повышении температуры от  $6$  до  $25^\circ$ .

У деревьев, приспособленных к холоду, температура, при которой возможен фотосинтез, во многих случаях ниже нуля (рис. 18).

Наибольший фотосинтез наблюдается при освещенности, равной 60 тыс. люкс. По мере уменьшения интенсивности света он соответственно сокращается. У хорошо освещаемых деревьев фотосинтез тормозится из-за

Рис. 18. Фотосинтез и дыхание  
ели обыкновенной в связи с тем-  
пературой и освещенностью (по  
Pisek и Wineler, 1959)

1, 2 — освещенность 3000 люкс;  
3, 4 — 1500 тыс. люкс; 5, 6 — 3000  
люкс; 1, 3, 5 — при кратковремен-  
ном освещении, 2, 4, 6 — при крат-  
ковременном затемнении, 7 — дыхание



недостатка в воздухе углекислого газа. Установлена  
прямая зависимость между фотосинтезом и концен-  
трацией углекислоты, которая в течение дня постоянной не  
остается, а уменьшается к полудню (рис. 19). Фото-  
синтез протекает интенсивно и в туманные дни, если в  
воздухе достаточно углекислоты. Следует напомнить, что  
исследования фотосинтеза деревьев при высокой  
концентрации  $\text{CO}_2$  представляют большой практический  
интерес. Отжившее мнение, что в сомкнутых лесах  
аккумуляция углекислого газа более высокая, ошибочно.  
В пределах часа после восхода солнца аккумулированная  
в течение ночи углекислота удаляется не в результате  
интенсивного фотосинтеза растений, как утверждали

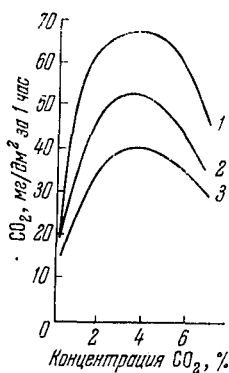


Рис. 19. Фотосинтез листьев то-  
поля в зависимости от концен-  
трации углекислоты (по Koch,  
1963)

Освещенность: 1—60 000; 2—30 000;  
3—20 000 люкс

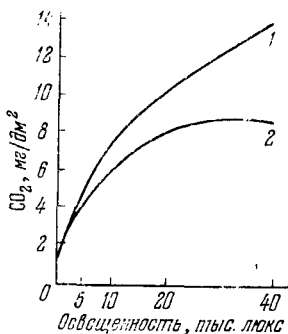
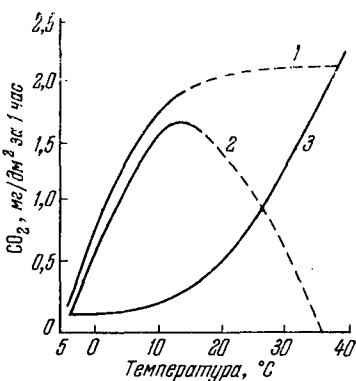


Рис. 20. Фотосинтез листьев то-  
поля при различной интен-  
сивности света и различным содер-  
жанию азота в листьях (по Keller и  
Koch, 1963)

1 — 1,8% N, 2—3,4% N



**Рис. 21.** Влияние температуры на фотосинтез и дыхание

1 — общий фотосинтез; 2 — чистый фотосинтез; 3 — дыхание

этого процесса. Фотосинтез зависит и от того, какое количество солнечной энергии будет затрачено на дыхание и сколько ассимилятов пойдет на процессы роста, органогенеза и формирование различных органов растений. Решающую роль играют запасы минеральных веществ, влаги в почве и процессы фотосинтетической деятельности. Оптимальное соотношение перечисленных факторов в каждом отдельном случае дает наибольший прирост биомассы (рис. 20 и 21).

Для повышения продуктивности древостоев необходимо создавать систему мероприятий, позволяющую использовать на фотосинтез и формирование урожая приходящую энергию фотосинтетической активной радиации (ФАР) с определенным для природной зоны коэффициентом полезного действия (КПД), например 2—3—4%.

Рациональное использование солнечной радиации в процессе фотосинтеза зависит от способности поглощения ее листьями растений из интегральных потоков прямой и рассеянной радиации. ФАР для средних условий прозрачности атмосферы примерно равняется 0,43 прямой солнечной радиации и 0,57 рассеянной. Приведенные коэффициенты несколько меняются в зависимости от высоты солнцестояния и вида облачности.

прежде, а вследствие вертикальной турбулентности воздуха и температурной инверсии.

Продуктивность древостоев — это, по существу, производная фотосинтеза растений. Размеры прироста древесины зависят не только от интенсивности фотосинтеза, рассчитываемой на единицу площади листьев. Они зависят от размеров фотосинтетического аппарата, быстроты его развития в течение вегетационного периода, продолжительности его работы и качественной направленности

Сезонные приходы энергии ФАР варьируют на территории СССР от 1 до 5 млрд. на 1 га.

В тех случаях, когда древесной для наращивания годичного прироста обеспечен энергией ФАР с коэффициентом полезного действия в размере 4%, а количество доступных элементов питания будет достаточным для усвоения энергии ФАР с КПД в пределах только 1%, размеры годичного прироста определяются последним, а имеющаяся влага будет израсходована непроизводительно. При обратных соотношениях, т. е. при низкой обеспеченности влагой и хорошей обеспеченности элементами минерального питания, со сниженной эффективностью будут использованы именно элементы питания. Исходя из этого, необходимо научиться определять возможные КПД приходящей энергии ФАР для фотосинтеза и формирования годичного прироста в разных условиях произрастания. Вместе с этим следует разработать комплекс приемов, необходимых для получения урожаев с заданным КПД, т. е. улучшить условия увлажнения почвы или минерального питания там, где это нужно.

Продуктивность древесной растительности зависит от влажности почвы и почвенного питания. По продуктивности лес делится на пять бонитетов. В зависимости от бонитетов различия фотосинтеза существенны. Уменьшение фотосинтеза зависит от степени и длительности иссушения почвы и понижения относительной влажности

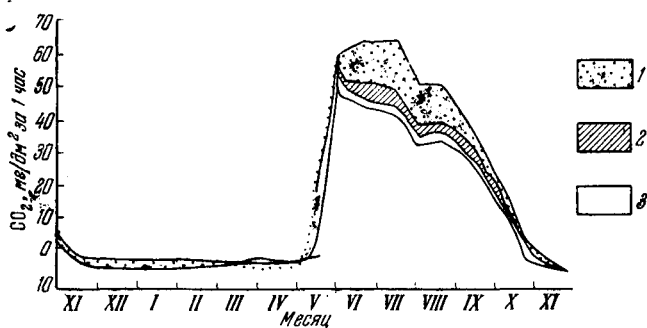


Рис. 22. Дыхание дерева в течение суток в различные месяцы вегетационного периода, по данным Walter Tranquilini.

1 — дыхание надземной части в течение дня; 2 — ночью; 3 — дыхание корней

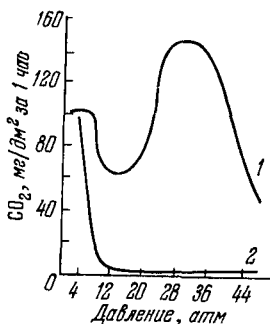


Рис. 23. Изменение дыхания и фотосинтеза сосны (по Врих, 1962) в связи с дефицитом диффузного давления

1 — дыхание; 2 — фотосинтез

воздуха. При избыточном увлажнении почвы в результате плохой аэрации уменьшается поглощение воды корнями, рост их приостанавливается. Корни при длительном избыточном увлажнении отмирают, происходит обезвоживание и усыхание листьев. Падение фотосинтеза при избыточном увлажнении усиливается при переходе от песчаных почв к суглинистым и глинистым. На тяжелых суглинках вследствие полного вытеснения из почвы кислорода фотосинтез почти прекращается. У затопленных деревьев, выросших на песчаных почвах, фотосинтез уменьшается на 10%.

Недостаток тех или иных минеральных веществ вызывает понижение фотосинтеза. Уменьшается он и при ослаблении синтеза хлорофилла. Недостаток железа, магния и особенно азота, являющихся составными частями молекул хлорофилла, уменьшает фотосинтез растений.

Естественно, что болезнь листьев сильно сказывается на этом процессе. Многие фунгисиды и инсектисиды уменьшают фотосинтетическую активность листьев.

Дыхание оказывает существенное влияние на жизнь растений. Дыхание можно определить как окисление питательных веществ в живых клетках, сопровождаемое освобождением энергии. Обычно оно сопровождается выделением углекислоты и поглощением кислорода и происходит непрерывно во всех клетках, но с различной интенсивностью. Например, в покоящихся семенах дыхание крайне замедленно.

Количество расходуемых питательных веществ на дыхание зависит от возраста дерева. В период кульминации текущего прироста деревья тратят на дыхание около 40% продуктов фотосинтеза, в 80-летнем возраст



те — 50%. Причем лиственные деревья расходуют питательных веществ больше, чем хвойные.

Кроме того, дыхание деревьев зависит от физиологического состояния их ткани, а также от температуры воздуха, света, газового состава атмосферы, влажности почвы, от наличия фунгисидов, инсектисидов, от внесения удобрений (рис. 22, 23).

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОЧВЫ С РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ, ЖИВОТНЫМ МИРОМ, ВОДОЙ И КЛИМАТОМ**

Почвой называется поверхностный слой горных пород, переработанный и измененный действием растительных и животных организмов, климата и атмосферных осадков, а на окультуренных землях — и деятельностью человека. Из этого определения видно, что почва является естественноисторическим телом природы. Она состоит из твердых частиц различной величины, почвенной воды, воздуха, почвенных микроорганизмов. Благодаря их деятельности земля органически связана с атмосферой и солнечным светом и получает все необходимое для урожая древесных пород и других растений. Если хороший урожай достигается при активной жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, то нет оснований считать, что он обедняет почву. Напротив, высокая продуктивность лесов — главное средство повышения плодородия почвы.

Окраска верхнего слоя большинства почв обычно темная, серая, коричневая или черная. Почвы отличаются по количеству перегноя, который формируется из остатков животных и их выделений, а также растений и микроорганизмов.

Вследствие жизнедеятельности микроорганизмов животные и растительные остатки в процессе распада изменяются настолько, что утрачивают первоначальное строение. В почве всегда можно найти кусочки полустлевших корней, но это еще не перегной. Только после того как частицы потеряют прежний вид, потемнеют или побуреют, подвергнутся разрушению, из растительных и животных клеток получится перегной, состоящий

из мельчайших частиц, размером 0, 0001 мм и меньше. Частицы такого размера относятся к коллоидам.

Перегной пропитывает верхний слой почвы и прочно соединяет ее частицы в более крупные агрегаты (комочки). Этим он отличается от других полусгнивших органических веществ, встречающихся в почве, которые, хотя и потеряли свой первоначальный вид, вполне отделимы от почвенных частиц. Главный источник перегноя в почве — растения. Из года в год они оставляют в почве и на ее поверхности много отмерших корней и опавших листьев. Все это служит пищей для множества бактерий. Они-то и перерабатывают остатки растений и образуют в почве перегной, или гумус.

Количество в почве гумуса приблизительно можно определить по ее цвету, пользуясь следующими показателями:

Цвет почвы	Содержание перегноя в верхнем слое, %	Количество перегноя * в почвенном слое 0—100 см на 1 га, т
Почти черный	8—15	500—800
Темно-серый	5—8	300—600
Серый	3	120—200
Светло-серый	1—3	50—100

\* Для приблизительных расчетов можно принять, что слой почвы толщиной 0—20 см весит на площади 1 га около 3 тыс. т, отсюда 1% от этого веса составляет 30 т.

Чем больше в почве перегноя, тем она темнее, тем лучше и скорее прогревается, тем полнее поглощает воду и дольше сохраняет ее. Он хорошо поглощает не только воду, но и питательные вещества и этим предохраняет их от вымывания в глубокие слои почвы. Поглощательная способность перегноя во много раз больше, чем ила; кроме того, в нем содержится в 10 раз больше необходимых растению минеральных веществ, чем в минеральном иле.

Перегной состоит из различных частей. К главным относятся гуминовые и ульминовые кислоты и их соли. Остальные составляющие отличаются большей подвижностью, они легче изменяются под влиянием воды, воздуха, температуры и микроорганизмов.

Кислый перегной содействует распаду различных солей, а также минералов почвы, соединяется с некоторыми веществами и вымывается вместе с ними в более глубоко лежащие слои почвы. В результате из подзолистой и дерново-подзолистой почвы вымываются щелочи и известь. В поглощающий комплекс подзолистой почвы кроме кальция и магния входят водород и алюминий, обуславливающие кислую реакцию почвы. Щелочи вымываются из слоя мощностью 0—20 см. Очень слабо вымывается из подзолистых почв окись кремния.

В северной и средней полосе СССР под хвойными лесами, растущими на подзолистых почвах, гумус в основном светлый и кислый, состоит из мельчайших частиц. В нем мало устойчивых гуминовых и ульминовых кислот, зато много веществ подвижных, соединяющихся с водой, растворимых в воде и вымывающихся из почвы, например, креновой и апокреновой кислот, которые называют фульвокислотами. В подзолистой почве их в 2 раза больше, чем кислот гуминового и ульминового ряда.

Для создания 1 г сухого органического вещества растение берет из почвы и испаряет через листья от нескольких сот до 1500 г воды. В этой связи немаловажное значение имеет ее доступность для растений.

В почве содержится недоступная («мертвый запас»), весьма трудно доступная, труднодоступная и средnedоступная и, наконец, легкодоступная для растений влага.

Мертвый запас влаги в почвах разный. В 100 кг супеси может содержаться 2,2 кг мертвого запаса влаги; в том же количестве суглинка — 4,7 кг; в 100 кг глинистой почвы — 8 кг и, наконец, в 100 кг торфяной почвы — от 20 до 50 кг воды, не доступной растениям.

Содержание влаги в почве, при котором растение начинает увядать, называют влажностью завядания — ВЗ. Оно зависит от механического состава почвы и почти прямо пропорционально содержанию в почве илистой фракции (частиц мельче 0,001 мм).

В песках устойчивое завядание наблюдается при нескольких десятых долях процента влажности, в супесях — при 1—3%, в суглинках — 3—10%, в глинах — от 10—15% и даже более.

Величина устойчивого завядания растений неодинакова для разных растений. Растения завядают при

влажности, находящейся в интервале между влажностью устойчивого завядания и максимальной гигроскопичностью почвы. Влагу, содержащуюся в почве сверх влажности устойчивого завядания, называют влажностью замедленного роста растений, очень близкую по величине к влажности разрыва капиллярных связей. Она составляет 70% от наименьшей влагоемкости почвы. При влажности разрыва капиллярных связей подвижность влаги резко уменьшается, при еще меньшей влажности она не подтекает к корням растений. Исходя из этого, можно считать, что влажность замедленного роста и влажность разрыва капилляров, видимо, тождественны (Pogе, 1952).

При переходе от влажности более низкой, чем влажность замедления роста, к более высокой степень доступности влаги резко возрастает. Она продолжает постепенно увеличиваться в интервале между влажностью замедленного роста до наименьшей влагоемкости почвы. Наименьшая влагоемкость, выше которой в почве появляется свободная гравитационная влага, оказывается новой переломной точкой в доступности влаги для растений. Верхняя граница оптимальной влажности проходит несколько выше наименьшей влагоемкости. При еще более высоких влажностях доступность влаги хотя и продолжает увеличиваться, но условия жизни растений начинают ухудшаться вследствие падения воздухопроницаемости и ухудшения снабжения корней кислородом. При влажности в интервале от наименьшей до полной влагоемкости в почве появляется свободная гравитационная влага, которая передвигается под влиянием силы тяжести. Диапазон активной влаги находится между наименьшей влагоемкостью и влажностью завядания.

Вода атмосферных осадков сильно изменяет растительные остатки, расположенные на поверхности почвы. Наряду с этим и с растущих растений смываются различные минеральные вещества. Вымывшиеся с коры, ветвей и листьев, а также с отмерших растительных остатков и с почвы растворы поступают в нижележащие горизонты почвы и изменяют их.

Эти изменения тесно связаны с условиями увлажнения почвы. Избыточное увлажнение неблагоприятно влияет на растения, особенно на корневую систему дре-

весных пород. В условиях аэробного разложения подстилки почвенная влага фильтруется вглубь, поглощая незначительное количество запасов кислорода, находящихся в почве. При этом создается благоприятная среда для роста древесной растительности и корневой системы.

С повышением увлажнения и замедлением оттока почвенных вод происходит длительное затопление и обеднение почвы кислородом. По данным А. Я. Орлова (1962), в черничниках при запасах кислорода в почве более 2 мг/л древесные породы растут хорошо. При уменьшении содержания кислорода до 1,5—2,0 мг/л корни ели и березы прекращают рост, но при кратковременном затоплении не погибают. При еще большем недостатке кислорода через несколько дней корни отмирают.

При запасах растворенного кислорода в почве меньше 0,5 мг/л неблагоприятные условия возникают и в поверхностных слоях почвы, располагающихся непосредственно над уровнем воды, что подтверждается данными содержания закисного железа и его соотношением с окисным.

В лесной зоне осадков больше, чем в степях, расположенных южнее, но температура воздуха и почвы ниже и вследствие этого испарение с поверхности почвы меньше.

Длительное избыточное увлажнение почвы и низкое содержание растворенного в почвенных водах кислорода замедляют процессы окисления и минерализации и ослабляют деятельность микроорганизмов. По этим причинам в верхней толще торфянисто-перегнойных почв накапливается большое количество законсервированного мертвого органического вещества. Оно содержит много элементов питания, которые в таком виде мало доступны и растительностью используются слабо.

Подзолистые почвы освобождаются от избытка воды на большую глубину и на более продолжительный срок. Условия разложения растительности в них более благоприятны, благодаря чему накопления органической массы здесь не происходит.

Торфянисто-перегнойные почвы выделяют углекислоты больше, чем подзолистые; в теплое время года в ельниках  $\text{CO}_2$  больше, чем в березняках.

В лесостепной зоне испарение с поверхности почвы больше. Почва становится суше. В ней содержится больше воздуха, заполняющего почвенные поры, свободные от воды. Отмершая древесная растительность разрушается быстрее; рост и развитие ее происходят также ускоренно. Отмершая растительность сосредоточивается не только на поверхности, но и в почве. По химическому составу опад лиственных заметно отличается от опада хвойных пород — сосны и ели. Органические остатки в лесостепи разлагаются при участии бактерий, а не грибов, гумус резко отличается от гумуса в зоне хвойных лесов. В нем много устойчивых, богатых кислородом нейтральных гуминовых и ульминовых кислот.

Различные составные части перегноя разлагаются с неодинаковой скоростью. Первоначально распадаются наиболее подвижные его части, сильно изменяющиеся под влиянием воды, воздуха и микроорганизмов. Устойчивые ульминовые и гуминовые кислоты и их соли разлагаются медленно. Однако роль их в плодородии почвы велика: они улучшают физические свойства почвы и создают благоприятные условия для жизни бактерий.

Перегной принимает участие в образовании почвенной структуры. Структурные отдельности состоят из комочков почвы различной величины и имеют различную форму. Чем меньше пылеватых частиц и чем прочнее зерна или комочки, тем рыхлее почва, тем она более проницаема для воздуха и воды, тем благоприятнее условия для роста корней и бактерий. Чем больше в почве перегноя, состоящего из гуминовых и ульминовых кислот, и чем больше в почве кальция, тем зернышки пористее, прочнее, быстрее пропитываются водой и не размокают.

В почвах с небольшим количеством перегноя очень мало водопрочных агрегатов. Такие почвы плотные, плохо аэрируемые. Они не пригодны для жизни аэробных бактерий. Вместо них развиваются вредные для растений бактерии, которые способствуют разрушению селитры, находящейся в почве, и лишают растения азотной пищи.

Вода попадает в почву с атмосферными осадками или поступает из лежащих ниже слоев почвогрунта по капиллярам. Кроме того, она поступает из воздуха при конденсации, а также из глубоких слоев почвы в верх-

ние. Эта влага, поднимаясь в парообразном виде из теплых слоев, сгущается и выпадает в жидком виде.

Почвенная влага, как правило, содержит в растворенном состоянии различные минеральные вещества, находящиеся в почве и в почвенном воздухе. Состав почвенного раствора меняется в зависимости от разностей почвы: в солончаках он богат солями, в болотах — органическими веществами; на песчаных почвах очень мало солей, так и органических веществ. Состав почвенного раствора меняется в связи с жизнью почвы. Почва густо населена микроорганизмами и животными. В ней содержится большое количество корней. В 1 г почвы десятки миллионов микроорганизмов, которые в большом количестве скопляются около корней, где и питаются отмирающими корнями и корневыми выделениями.

Состав и свойства почвы непрерывно меняются во времени. Разрушаются минеральные вещества и вместо них появляются новые. Появляются и умирают бактерии. Изменяется количественный и качественный состав перегноя. Претерпевает изменение количественный и качественный состав мезофауны, опада, органических кислот и т. д. Все эти изменения связаны с интенсивностью солнечной радиации.

Как видим, почва представляет собой динамическую систему. В ней происходят непрерывные изменения минерального состава, ее свойств и энергетического состояния. Эти явления находятся в связи с обменом вещества и энергии между слоями атмосферы, почвой, грунтовыми водами, растительностью и, наконец, обитающими в почве животными.

## ПОЧВЕННОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Любое растение потребляет в процессе своего роста питательные вещества, воздух, нуждается в определенном световом, тепловом и водном режиме. Почва, способная удовлетворить все запросы растения, и будет плодородной (Кочинский, 1956).

Для любой древесной породы необходим фосфор, входящий в состав многих органических веществ, в том числе в сложные белки клеточных ядер. Для этого эле-

мента характерна способность вступать в непрочные соединения с сахарами. Фосфор часто повышает стойкость растений против неблагоприятных внешних условий; растения легче переносят холод. Недостаток его даже в начальный период роста древесных растений вредно отражается на их годовом приросте. Фосфора больше в семенах, чем в древесине. Из атмосферы он не поступает.

Растения не развиваются и без калия. Под его влиянием в листьях увеличивается синтез сахаров и передвижение их в другие органы растения. Калий способствует образованию в растениях белковых веществ. Растительные клетки и ткани, хорошо обеспеченные калием, лучше удерживают воду и благодаря этому не так легко увядают. Калий усиливает стойкость растений против холода. При недостатке калия в почве листья преждевременно желтеют.

Кальций находится во всех растительных клетках. Он откладывается и в стареющих органах. Недостаток кальция отрицательно сказывается на развитии корневой системы древесных пород. Перестают образовываться корневые волоски, через которые в растения поступает из почвы основная масса питательных веществ и воды. Улучшение кислых почв достигается известкованием, что попутно создает благоприятные условия для кальциевого питания древесных пород. Содержание кальция в различных почвах СССР неодинаково: им очень богаты сероземы Средней Азии и Закавказья, каштановые и бурые почвы, южные и обыкновенные черноземы. Достаточно кальция и в почвах лесостепи.

Магний входит в состав ряда органических веществ, образующихся в растениях; самый важный из них — хлорофилл. При магниевом голодании окраска листьев становится более светлой, даже желтоватой, при этом жилки остаются зелеными. Постепенно желтый цвет переходит в бурый, и ткань отмирает. Недостаток магния наблюдается в супесчаных кислых почвах. Источником увеличения магниевых питаний — известь.

При отсутствии в растениях железа хлорофилл не образуется, но в составе хлорофилла железа нет. Следовательно, роль железа в образовании зеленого пигмента не прямая, а косвенная. Недостаток железа приводит к распаду ростовых веществ. Листья, начиная с молодых, становятся светлыми (без отмирания ткани).



Марганец, как и железо, регулирует процесс окисления и восстановления. Древесные растения развиваются нормально, когда отношение между железом и марганцем равно 2,5—1,5. Недостаток марганца затрудняет синтез витамина С. Внешне марганцовое голодание проявляется в пожелтении поверхности листьев, особенно молодых, между жилками; сами жилки остаются зелеными. В окраске листьев, кроме того, могут появиться серовато-зеленые и коричневые оттенки, в последующем ткань отмирает.

При необеспеченности растений медью древесные породы не плодоносят, в них содержится мало белка.

Очень важны для растений бор, молибден и кобальт. Без бора растения не оплодотворяются и не завязываются семена. Этого элемента в древесных растениях очень немного. Важный резерв бора, меди, марганца и других микроэлементов — печная зола и навоз. Источником бора является борно-датолитовое удобрение.

Под влиянием молибдена усиливается деятельность клубеньковых бактерий. Цинк входит в состав фермента, активирующего дыхание растений.

Плодородие — основное свойство почвы и зависит от ее поглотительной способности. Растение может забирать необходимые минеральные вещества из слабых растворов, содержащих около 2—3 г питательных солей на 1 л воды. Вместе с тем количество воды в почве постоянно меняется, а поэтому и концентрация почвенного раствора в засушливую погоду больше, чем в дождливую. Супесчаные и особенно суглинистые и глинистые перегнойные почвы лучше регулируют концентрацию почвенного раствора, чем песчаные. При увеличении концентрации почвенного раствора в суглинистых почвах часть солей поглощается глинистыми частицами и гумусом, образуя труднорастворимые соединения и соли. Так может поглощаться железо, фосфорная кислота, угольная кислота и др. Но такие вещества, как кальций, калий, натрий, магний, лишь притягиваются из раствора к поверхности почвенных частиц или же концентрируются в слоях воды, наиболее близких к этим частицам, и вытесняют из них другие элементы. Из раствора поглощается кальций, а в раствор вытесняется магний или натрий, и наоборот. Обычно поглощаются те элементы, которых больше в почвенном растворе. К таким веществам можно

отнести в черноземах известь и в каштановых почвах — гипс. К ним следует отнести кальций, калий, фосфорную кислоту, известь. Наряду с ними почва поглощает и натрий, что ухудшает ее физические свойства. Способность твердой фазы почвы поглощать соли называется поглотительной. Она тем выше, чем больше в почве коллоидальных частиц, минеральных, органических и органо-минеральных соединений. Эта часть почвы называется поглощающим комплексом. Таким образом, глинистые и суглинистые, богатые перегноем почвы обладают высокой поглотительной способностью. В глинистом черноземе величина поглощенного кальция и магния достигает 1% и более от веса почвы, а в песчаных — лишь сотых долей процента. В глинистых и суглинистых почвах питательные вещества закрепляются в почве лучше, чем в песчаных.

Почва поглощает минеральные вещества не безвозвратно. По мере увеличения воды она возвращает их в почвенный раствор.

Кроме минеральных веществ почва поглощает некоторые газы, например, аммиак, который при участии бактерий переводится в селитру, легко вымывающуюся из почвы и слабо поглощающуюся почвой.

Почвообразовательный процесс зависит от характера биологического круговорота азота и зольных элементов. В лесу он тесно связан с составом древостоев и другой растительностью, а также с особенностями подстилки, находящейся под пологом, с увлажнением почвы и ее водным режимом. С последним тесно связано накопление массы органического вещества на поверхности почвы.

Интенсивность современных процессов почвообразования зависит от видового состава растительного покрова и гидротермических условий года.

В лесной зоне после окончания снеготаяния некоторое время верхние горизонты почвы находятся в состоянии переувлажнения. Период переувлажнения тем дольше, чем больше накопилось снега, чем слабее инфильтрация воды в почву и испарение с ее поверхности. В этот период органические и минеральные коллоиды почвы находятся в более дисперсном состоянии. Свободные почвенные растворы сравнительно более концентрированы благодаря переходу в них некоторых продуктов разложения. Почвенный раствор весной и осенью

проникает из подстилки в глубь почвы и существенно изменяется под влиянием микробиологической деятельности. Повышающаяся весной с течением времени температура воздуха и почвы способствует развитию и росту растительности, развитию физиологических процессов и повышению расходов влаги на транспирацию и испарение. Эти процессы вызывают уменьшение не только свободной, но и связанной влаги в почве; вслед за этим уменьшается дисперсность почвенных коллоидов и возрастает прочность структурных отдельностей.

С повышением температуры почвы особенно усиливаются биохимические процессы в верхних горизонтах почвы, возрастает активность дождевых червей, усиливается разложение подстилки. Деятельность дождевых червей и микроорганизмов способствует увеличению содержания гумуса в почве, если этому достаточно содействуют гидротермические условия. В это же время в подзолистом и иллювиальном горизонтах содержание гумуса уменьшается вследствие усиленной минерализации, а в верхних повышается концентрация растворов.

Накопление за летний период органических коллоидов в гумусово-аккумулятивном горизонте значительно увеличивает количество связанной воды, нередко превышающее ее весеннее содержание.

В дренированных суглинистых почвах, занятых широколиственными лесами с травяной растительностью, процесс почвообразования характеризуется более интенсивным биологическим круговоротом благодаря быстрой минерализации растительных остатков и высокой динамичности гумуса. В верхнем 10-сантиметровом слое почвы накапливается илистая фракция, а нижний иллювиальный горизонт медленно оглиняется.

В дерново-подзолистых почвах под дубовыми деревьями концентрация почвенных растворов заметно ниже. Особо резко уменьшается концентрация иона кальция, что указывает на замедление процесса аммонификации, с одной стороны, и на поглощение аммония — с другой, вследствие подавления интенсивности нитрификации.

В почвах под ельниками-зеленомошниками и мертвопокровными ельниками высвобождаются минеральные соединения из хвойной лесной подстилки. Здесь основными продуктами разложения являются органические

ские кислоты и их соли. В период интенсивного разложения подстилки почвенный раствор сильно подкисляется. Углекислота в почвенном растворе под ельниками почти не накапливается. Выделяясь при разложении подстилки, она частично улетучивается и лишь в небольших количествах проникает с раствором в глубь почвы (Скрынникова, 1959).

При выпадении атмосферных осадков почвенные растворы проникают в нижние горизонты почвы. Под еловыми древостоями состав растворов существенно изменяется. Под влиянием биохимических процессов в горизонте А резко снижается концентрация органических кислот. Реакция растворов переходит в слабокислую. В нижних горизонтах наибольшая концентрация растворов совпадает с периодом интенсивных дождей.

Сумма поглощенных оснований под смешанным сосново-березовым древостоем выше, чем под чистым сосновым. Это вызывается постепенным накоплением их в почве в процессе разложения листвы березы, богатой кальцием и другими основаниями, способствующими нейтрализации кислотности почвы. Содержание подвижной  $P_2O_5$  увеличивается в смешанных сосново-березовых древостоях против чистых сосновых.

В процессе разложения органических веществ в почву поступает ряд минеральных соединений. Они нередко отличаются от тех, что находятся в почве и материнской породе, из которых они были извлечены растениями в процессе роста и взаимодействия продуктов распада растительных остатков с почвой.

Растительные остатки, поступившие на поверхность почвы, прежде всего изменяются под влиянием осадков, в которых содержится ряд минеральных веществ, также поступающих в почву. Состав поступающих в почву растворов зависит от физико-химических и биологических процессов, интенсивности минерализации, а также от состава осадков и количества растительных остатков. В процессе почвообразования поступающие растворы играют существенную роль.

Древесные породы и кустарники, выросшие на неплодородных почвах, не могут существенно изменить баланс биологического круговорота из-за недостатка опада. Другими словами, положительное влияние растительности на почвы лучше всего проявляется при

хороших или благоприятных почвенных условиях, когда особо интенсивно протекает круговорот минеральных веществ и азота. На плодородных почвах при преобладании аккумуляции органического вещества над выщелачиванием почва улучшается. В широколиственных лесах, в лесостепи и степи леса улучшают почву и на окружающих полях. Во всех типах леса почвообразовательный процесс зависит от характера биологического круговорота азота и зольных элементов в связи с изменением состава древостоев и водным режимом почвы.

Каждый тип почвообразовательного процесса тесно связан с растительным покровом. Под травянистой растительностью развивается дерновый процесс, под лесной — подзолистый, в условиях застойного, избыточного увлажнения и болотной растительности — болотный. В свою очередь и растительность зависит от почвы.

Одним из важнейших экологических факторов, влияющих на рост и развитие растений, оказывается влажность почвы. Количество выпадающих осадков и связанная с ними влажность почвы влияют и на анатомическое строение хвои. На слабо увлажненных почвах количество устьиц на единицу поверхности у хвои сосны и ели заметно уменьшается, зато несколько увеличивается их длина. На почвах средне увлажненных возникает обратная зависимость, т. е. увеличивается количество устьиц, но уменьшается их длина.

При оптимальной влажности размеры хвои наибольшие. Количество устьиц на единицу поверхности также незначительно. Эти показатели уменьшаются как при резком уменьшении, так и при увеличении влажности почвы.

У лиственных пород — березы бородавчатой, дуба, липы мелколистной, растущих на почвах с недостатком влаги, увеличивается сеть жилок и количество устьиц на единицу площади листа и толщина их, но несколько уменьшается длина устьиц. На средне и сильно увлажненных почвах наблюдается обратная зависимость. Как видим, недостаток и избыток влаги отражаются на водном режиме растений, в тесной связи с которым меняется анатомическое строение листа. Недостаточная влажность почвы приводит к мелкоклеточности листьев и хвои и плохому росту растений.

Реакция почвенного раствора играет важную роль в росте растений. Ель обыкновенная растет в интервале

4,1—6,5 рН, при этом лучшие условия роста наблюдаются при рН от 5 до 6; лиственница сибирская при рН в пределах 4,2—7,0, лучшие условия роста отмечены при кислотности от 4,5 до 7,0. Береза бородавчатая растет при кислотности 4,7—5,0; дуб черешчатый — при 5,5—6,2. Отношение древесных пород к кислотности выработалось в результате длительного их приспособления к тем условиям среды, в которых они оказались. Рассматриваемые породы резко различаются по отношению к влажности почвы. Ель обыкновенная относится к гигромезофитам, лиственница сибирская, береза бородавчатая — к мезофитам, дуб черешчатый — к ксеромезофитам и сосна обыкновенная — к ксерофитам.

Засоление почв обычно наблюдается в жарких и засушливых странах, где осадков недостаточно, а испарение очень велико, и особенно там, где формируются озерные и почвенно-грунтовые воды с большим содержанием солей, особенно хлоридов и нитратов.

Проблема борьбы с засолением возникла много тысячелетий назад и решалась в разные исторические периоды по-разному. В документах 2400 г. до н. э. сообщается, что жители древнего Шумера были вынуждены покинуть засолившиеся орошаемые земли и перейти на новые. Система кочевого земледелия применялась и в древних государствах Средней Азии, например в Хорезме. В других местах вопрос борьбы с засолением решался иначе. Земледельцы нередко сгребали засоленную землю. Взамен привозили и разбрасывали по полю незасоленную, перемешанную с песком и навозом. В древнем Хорезме крестьяне-узбеки вносили на каждый гектар поля от 150 до 300 т незасоленной земли и до 50 т навоза.

По мере уменьшения степени сухости и континентальности климата в направлении к северу Евразии и к областям, характеризующимся влажным морским климатом, соленакопление уменьшается.

От области засушливых пустынь к влажным и умеренным поясам запада, севера и востока Евразии устанавливается последовательная смена типов соленакопления: нитратно-сульфатно-хлоридного на сульфатно-хлоридный, на смену которому приходит хлоридно-сульфатный, который сменяется содово-сульфатным с участием силикатов щелочей.

Чтобы сухость и континентальность климата проявились в развитии современного засоления, необходимы специфические условия рельефа, обеспечивающие близость грунтовых вод к поверхности. Такие грунтовые воды, поднимаясь по почвенным капиллярам к поверхности почвы, в засушливых условиях активно испаряются. В процессе испарения в почве остаются растворенные в воде минеральные соединения. Чем более тяжелый механический состав почв, тем с большей глубины поднимаются к поверхности различные соли. При почвах рыхлого сложения поглощается больше атмосферных осадков и поступает в грунтовые воды.

Почвы почти не засоляются там, где выпадает много осадков и почва получает влаги больше, чем теряет на испарение. Нисходящие токи промывают почву и вымывают растворимые соли в глубь грунта, куда не проникают корни растений. Естественно, где очень много осадков, там выносятся не только вредные соли, но и необходимые для питания растений. Это особенно четко выражено в таежной зоне.

В засушливых зонах также может не быть засоления там, где грунтовые воды залегают глубоко или имеют постоянный отток к соседним понижениям.

Глубина залегания грунтовых вод, при которой осуществляется быстрое засоление почвы, зависит прежде всего от свойств этой почвы. В песчаных почвах оно наблюдается при залегании грунтовых вод на 0,5—0,7 м. В супесчаных и суглинистых, капилляры которых обеспечивают подачу воды и на большую высоту, засоление происходит при глубине грунтовых вод до 2,5 м.

Практически вековое засоление неорошаемых почв начинается при залегании грунтовых вод на глубине 4—5 м. Здесь летом вода по капиллярам поднимается до поверхности почвы и, испаряясь, оставляет соли на ее поверхности. Часто отложение солей при глубине грунтовых вод 4—5 м бывает не сплошным. Если глубина грунтовых вод 2—3 м, подача почвенной влаги ускоряется и засоление почв увеличивается. Почва засоляется на бугорках, в понижениях осенние воды вымывают соли. Такой процесс может повторяться. В результате образуется пятнистое засоление.

Сплошное засоление почв происходит в тех местах, где грунтовые воды залегают на глубине 1—1,5 м и не

имеют оттока. Избыток солей скапливается в понижениях и распространяется по всей площади. Вода здесь не вымывает соли, а, наоборот, способствует подъему грунтовых вод и еще более сильному засолению почвы.

Карбонаты безвредны почти для всех растений. Очень вредна поваренная соль. Магнетизм и особенно натриевые соли также ухудшают свойства почвы. Эти соединения необходимо удалить мелиоративным путем. При незначительном засолении можно перевести соли в глубину почв путем разведения пород с глубокой корневой системой. Однако древесные породы на солонцах сами очень угнетены.

В комплексе мероприятий по освоению и повышению плодородия солонцовых почв особая роль принадлежит внесению удобрений и мелиорирующих веществ. Теоретически роль их в улучшении солонцов ясна. Практически же эти вопросы изучены далеко не достаточно. Расчеты показывают, что для коренных улучшений требуется не менее 10—15 т/га гипса, значительное количество органических и минеральных удобрений.

К. К. Гедройц (1955) разработал теоретическое обоснование гипсования солонцов. В основу было положено замещение в почве поглощенного натрия и частично магния кальцием гипса, в результате чего снижается солонцеватость, создаются предпосылки к дальнейшему окультуриванию почвы. Но так как реакция обмена идет не полностью, количество гипса должно быть увеличено в 1,5—2 раза против расчетного. Образующаяся в результате обмена глауберова соль, по мнению Гедройца, должна быть удалена с помощью дренажных промывок.

Как показал опыт, внесение 10 т/га гипса на корковых и средних солонцах положительного действия на рост древесных пород не оказывает. Как видно, гипсование в данном случае не может считаться универсальным мероприятием. Действие гипса повышается при совместном использовании его с минеральными и органическими удобрениями.

Жесткие условия снабжения растений азотом и фосфором в солонцах объясняются неблагоприятными физико-механическими и биологическими свойствами иллювиальных горизонтов. Жизнедеятельность бактерий в них подавлена. Фосфорные соединения поглощаются, переходят в труднорастворимые формы. Для коренного



улучшения некоторые исследователи рекомендуют кислование почв серной кислотой. Для улучшения только верхнего 20-сантиметрового коркового слоя предлагается вносить 37 л 5%-ного раствора серной кислоты на 1 м<sup>2</sup> почвы. Кроме гипса рекомендуется использовать хлористый кальций, закисное железо, отходы промышленности, богатые соединениями кальция, железа, отходы нефтяной промышленности.

При недостаточном содержании воды в почве вопросы питания растений усугубляются еще более. В связи с этим минеральных удобрений часто бывает недостаточно. В целях рассоления почв необходимо применение дренажа под пологом древостоев, выросших на солонцовых почвах.

Наибольший агротехнический эффект может быть достигнут при совместном применении органических и минеральных удобрений, внесении гипса, применении дренажа и траншейного орошения.

Вопросы мелиорации солонцов требуют дальнейшего изучения. В лесном хозяйстве изучение засоленных почв и мелиорация солонцов почти не производились.

## **ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПОЧВ НА МИКРОФЛОРУ**

В природе ежегодно отмирает огромное количество растений. Однако количество и характер их последующих превращений в различных климатических зонах неодинаков.

В сухих степных районах отмирающие травы и деревья дают сравнительно немного органического вещества, да и оно почти нацело минерализуется при свободном доступе воздуха. В лесах умеренного климата накапливающегося растительного материала значительно больше. Опавшие листья, хвоя, шишки, ветки и сучья, отмершая трава и семена различных растений толстым ковром устилают землю. Весь этот материал скапливается на почве, образуя подстилку. В тропиках, на о-ве Маврикия, за один период цветения споры и пыльца образуют слой толщиной 1 м. Временами в воздухе их

настолько много, что затрудняется дыхание людей и животных.

Почва населена большим количеством разнообразных организмов. Бактерии и грибы — весьма важный фактор среды для растительности и мезофауны. В каждом кубическом миллиметре почвы обычно содержится большое количество особей. Много микроорганизмов возникает на стенках полостей между почвенными отдельностями, покрытыми пленками воды. В этих пленках обитают различные одноклеточные организмы, например амебы, корненожки, инфузории и жгутиковые. Кроме простейших, жителями почвенной воды и пленок являются также различные низшие черви и другие беспозвоночные животные; в почве существуют также различные обитатели воздушных пространств.

Бактериальная масса в живом состоянии составляет в сероземах 1220 кг/га, в черноземах — 1800—2400 кг/га, в подзолистых почвах 740—1400 кг/га. По некоторым подсчетам, общая бактериальная масса составляет 0,03—0,28% от веса почвы.

В живом весе на 1 га почвы приходится 1000—1500 кг грибов; до 700 кг актиномицетов и 100—300 кг простейших (Тюрин, 1946).

Всякое растение после гибели превращается в своеобразную среду для развития многочисленных микроорганизмов. В процессе их деятельности происходит образование качественно нового материала. Разрушенное органическое вещество восполняют сами разрушители.

Грибы, актиномицеты и бактерии питаются нежными частями растений — протоплазмой, затем уничтожают жиры и клетчатку. С меньшей интенсивностью они разлагают лигнин. Деятельный помощник грибов — вода. Впитываясь в древесину ветвей, стволов, вызывает набухание ее, облегчающее доступ к ней микроорганизмов.

В этом сложном комплексе процессов переплетаются физические, химические и биологические явления, не делимые в природе, но требующие отдельного изучения, понимания и рационального синтезирования при разработке научных основ ведения лесного хозяйства. Водный и воздушный режимы обуславливаются строением почвы и водопрочностью структуры, при этом наряду с физико-механическими происходят и физико-хи-

мические процессы. В основе питательного режима почвы лежат химические превращения минеральных и органических веществ при участии микробиологических процессов, осложненные рядом физико-химических явлений.

Режим органических веществ в почве почти целиком зависит от микробиологической деятельности. Таким образом, микробиологическая деятельность почвы обуславливает весь комплекс процессов, составляющих жизнь почвы и определяющих ее плодородие.

В почве есть все условия, необходимые для жизнедеятельности микроорганизмов: влага, воздух, защита от воздействия прямых солнечных лучей. Количество и качество микрофлоры зависят от состава почвы, ее влагоемкости, реакции среды, времен года, метеорологических и климатических условий.

Взаимоотношения между почвенными микробами и растениями очень сложны и многогранны. В почве микроорганизмы-активаторы, которые ускоряют развитие корней и древесных растений, по своей природе представляют сборную группу. Сюда входят спороносные и неспороносные бактерии, дрожжи и др.

Многие виды (азотобактер, клубеньковые, микобактерии, грибы, актиномицеты и др.) образуют витамины: тиамин, рибофлавин, С, К, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, биотин, никотиновую кислоту.

Есть виды микробов, которые усиливают или, наоборот, подавляют продукцию витаминов. Например, азотобактер в чистой культуре синтезирует 173 мг гетероауксина, стимулирующего рост растений, а в присутствии *Bacillus mikoides* — 220 мг. Растения усваивают корнями биотические вещества и аминокислоты из почвы в том виде, в каком их образуют микробы, актиномицеты и бактерии. Некоторые виды бактерий ризосферы пользуются корневыми выделениями как источниками питания. Усваивая или разрушая корневые выделения, они тем самым не дают им накапливаться, устраняя таким образом из зоны корней выделения, вредные для их роста. Растительный покров в свою очередь активно воздействует на микрофлору ризосферы. Он является мощным фактором отбора и накопления определенных видов микробов почвы.

Исключительно большую роль в жизни почвы играет тепловой режим. Основным источником тепла — солнеч-

ные лучи. Другие источники, связанные с биохимическими реакциями, существенного значения не имеют. Поверхность земли нагревается неравномерно. Темные почвы поглощают больше тепла и поэтому нагреваются сильнее, чем светлые, серые или белесые. Черноземы поглощают 86%, серая лесная почва — 80%, подзол (белесая) — всего 20% лучистой энергии. Теплоемкость почвы также неодинакова. Сухие почвы нагреваются сильнее, чем влажные.

От чередования нагрева и охлаждения в течение суток в почве распространяются тепловые волны. Особенно резко они выражены в поверхностных слоях. По мере углубления волны сглаживаются и на глубине 1 м практически исчезают.

Известно, что помимо суточных существуют годовые колебания температуры. С ними связано промерзание почвы, меняющееся с зональностью и климатическими особенностями местности. Промерзание почвы зимой сильно сказывается на биологических процессах. Микроорганизмы легко переносят зимние морозы ( $-20$ ,  $-30^{\circ}$ ). Многие из них переносят даже температуру жидкого воздуха. Под влиянием зимних морозов активность их повышается. Например, азотобактер после трехнедельного пребывания в замороженном состоянии при температуре от  $-15$  до  $-20^{\circ}$  развивается и размножается быстрее, клубеньковые бактерии становятся активнее, дрожжи сильней сбраживают сахара.

Почва облучается солнечными лучами только с поверхности. В глубину большинство лучей спектра не попадает, однако инфракрасные лучи проникают в почву на глубину до 1 м. Альгологи полагают, что обнаруженные на этой глубине водоросли развиваются там только благодаря наличию этих лучей.

Установлена зависимость между составом бактериального населения почвы и типом почвообразовательного процесса. В одной и той же зоне, но в разных почвах состав грибов существенно меняется.

В связи с динамикой влажности и температуры почвы, состоянием растительного покрова численность микроорганизмов сильно варьирует в течение года. Особенно изменяется в почве число неспорозных бактерий, которые при дефиците влаги быстро вымирают. Меньше в почве бацилл, образующих при неблагоприятных

условиях устойчивые против внешних воздействий споры. Однако их численность, как и актиномицетов, в почвах каждой зоны обычно возрастает к осени. Это вызывается обогащением почвы к концу лета более устойчивыми против воздействия микробов органическими соединениями. Максимальное число спор грибов находится в почве весной. Объясняется это тем, что у разных микроорганизмов оптимум влажности различен. Так, нитрификация будет наибольшей при влажности, близкой к полевой влагоемкости; чрезмерное же содержание влаги оказывает значительно более вредное действие, чем слишком низкое. Поскольку минеральное питание растений зависит от активности почвенных микроорганизмов, то и уровень почвенной влажности будет влиять на микробиологическую активность и на питание растений.

На многих почвах минеральное питание растительности непосредственно связано с содержанием в почве органического вещества. Поверхностный слой, содержащий большую часть органического вещества, иссушается слишком сильно, вследствие чего минерализация органической массы микроорганизмами становится невозможной.

Осмотическое давление в клетках многих микроорганизмов, особенно плесневых грибов и актиномицетов, весьма велико и нередко достигает 200—250 атм. Это позволяет им развиваться при ничтожной влажности почвы, равной 80—85% от максимальной гигроскопичности. Микроорганизмы развиваются по закону периодичности. В жизни микрофлоры почвы существует два вида периодичности: 1) вызываемая внешними причинами, сменой времен года (сезонностью) и 2) вызываемая внутренними (относительно почвы) причинами при постоянных внешних условиях. Последняя вызывается действием ядовитых для микроорганизмов выделений, которые разрушаются без участия микроорганизмов: концентрация их в любой момент есть функция двух процессов — образования и разрушения, — идущих одновременно.

Все изложенное позволяет сказать, что численность микроорганизмов и процессы разложения ими органического вещества, сосредоточенного на поверхности почвы в виде подстилки, зависят от физико-химических

свойств подстилки, тесно связанных в свою очередь с древесными породами, которые ее образовали.

Так как запасы элементов питания находятся в почве не только в состоянии свободно усвояемых солей, но и в виде мертвого органического вещества растительных остатков и перегноя, а также живого органического вещества растений и микроорганизмов, питание высших растений в природе очень сильно отличается от питания их в искусственных водных культурах. В настоящее время роль микроорганизмов в питании растений общепризнана.

Известно, что в почвах, как и в других природных субстратах, находятся микроорганизмы-ингибиторы, которые в процессе жизнедеятельности подавляют рост и развитие растений. Они образуют особые вещества, токсичные для высших и низших растений. Токсины, вырабатываемые ингибиторами, при определенных условиях могут накапливаться и придавать почве токсические свойства, которые резко меняются в зависимости от произрастающих на них древесных пород. Наибольшее количество таких веществ обнаруживается под еловыми древостоями, заметно меньше — под сосновыми и осиновыми и очень мало — под березняками и дубравами.

Большую роль играют микроорганизмы в создании структуры почвы. Известно, что для образования комковатой структуры должен быть цемент — им является перегной. Но не всякий перегной выполняет роль цемента. Очень важно, чтобы он был деятельным, свежесинтезированным почвенными микроорганизмами. Такие перегнойные вещества облекают почвенные частицы и цементируют в прочные комки. При наличии комковатой структуры растения лучше обеспечиваются пищей и водой, в результате повышается и плодородие почвы.

В почве весьма деятельно идут процессы аммонификации и нитрификации. При аммонификации основная масса разрушающегося белка служит для микробов источником энергии. Основные агенты аммонификации — бактерии, растущие на мясо-пептонном агаре. При нитрификации окисление аммиака до азотистой кислоты производится подвижными нитритными бактериями, а окисление азотистой кислоты до азотной — нитратными бактериями. Все эти бактерии — аэробы. Ассимиляция солей азотной кислоты и аммония производится весьма

многими микроорганизмами, бактериями, плесневыми грибами и актиномицетами.

При недостатке кислорода в среде некоторые бактерии используют кислород нитратов, восстанавливая при этом азотную кислоту до нитритов или до свободного азота путем денитрификации, при этом азотный запас почвы уменьшается.

Редукцию азотнокислых солей до азотистой кислоты или азота вызывают очень многие, преимущественно неспорообразующие бактерии (*Pseudomonas fluorescens*, *Bact. stutzeri* и др.). Бактерии, способные восстановить нитраты до нитритов и свободного азота, очень распространены в почве. Денитрификационный процесс резко возрастает при избыточном увлажнении почвы.

Некоторые анаэробные бактерии усваивают газообразный азот, совершенно недоступный высшим растениям. Газообразным азотом питаются многие микроорганизмы: бактерии, синезеленые водоросли (*Nostoc phormidium*) и др. Особенно распространены бактерии-азотфиксаторы (*Asotobacter chroocoeum*). На бедных почвах они не развиваются и остро реагируют на дефицит фосфора, не выносят кислой реакции, лучше всего развиваясь при  $\text{pH}=5,5-7,8$ . Из анаэробных фиксаторов азота надо отметить *Clostridium pasteurianum*, вызывающий маслянокислое брожение и растущий при  $\text{pH}=4,7$ .

Фиксация атмосферного азота бактериями интенсивно происходит лишь при отсутствии в среде связанных форм азота. При наличии минеральных и органических азотсодержащих соединений в почве фиксация азота подавляется частично или полностью. Интенсивно осваивают азот воздуха клубеньковые бактерии, живущие на корневой системе бобовых. Бобовые растения за один вегетационный период накапливают от 40 до 300 кг азота на 1 га.

Процесс азотоусвоения микроорганизмами происходит при разложении органического вещества в почве. Клубеньковые бактерии получают энергию при азотоусвоении в процессе ассимиляции углеводов корневой системой растений.

Важно выяснить видовой состав бактерий, разлагающих органическое вещество. Разложение клетчатки происходит с помощью мезофильных микробов, особен-

но аэробных бактерий и меньше — актиномицетов *Cytophaga hutchinsonii*. В разложении клетчатки также принимают участие микобактерии из родов *Polyangium*, *Mухосoccus*, вибрионообразные бактерии из рода *Celvibrio* и грибы из родов *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium* и актиномицеты *Prionomicer citofagus*. Из анаэробных бактерий, разрушающих целлюлозу, необходимо отметить *Vac. omelianskii*.

Разложение пектиновых веществ в анаэробных условиях производится бактериями *Clostridium pedinovirum*, а из грибов — *Mucor stolonifer*, *Aspergillus niger*, *Clostridium sp.* и др.

Окисление углеводов осуществляется также микроорганизмами. Углеводы жирного ряда разлагаются преимущественно неспороносными, а из грибов — *Mucor stolonifer*, *Penicillium*, *Aspergillus niger* и др. Ароматические углеводы окисляются спороносными и неспороносными палочковидными бактериями.

Превращение соединений фосфора осуществляется *Vac. megatherium*. В анаэробных условиях фосфорная кислота восстанавливается микробиологическим путем. Для восстановления фосфатов помимо анаэробных условий необходимо отсутствие в среде более легко восстанавливаемых нитратов и сульфатов.

При разложении грибами целлюлозы и лигнина осуществляется значительное превращение упомянутых остатков древесины в ткани микроорганизмов. По данным Л. И. Курсанова (1940), разложение целлюлозы вызывается *Aspergillus*, *Penicillium* и многочисленными гифомицетами, такими, как *Trichoderma*, *Fusarium*, *Alternaria*.

Преобладающая часть почвенных грибов разрушает азотистые органические соединения, используя их азот. Если в почве содержится значительное количество углеводов, почвенные грибы для построения белковой части своего тела используют азот аммиака и других минеральных соединений. Азот — весьма важная составная часть грибного мицелия. В его составе содержится 3,5—8% азота. Наиболее активно разрушаются азотистые органические соединения муковорыми грибами.

В процессах гумификации органического вещества активное участие принимают плесневые грибы. Некоторые плесени (*Batrytis*, *Fumago*, *Alternaria*) способны



синтезировать вещество темного цвета. При определенных условиях оно выделяется за пределы клетки и является источником образования гумусоподобных веществ.

Актиномицеты, приближающиеся по ряду признаков к бактериям, участвуют в разложении и минерализации органического вещества. Некоторые из них разлагают клетчатку и азотсодержащие вещества даже сильнее, чем *Aspergillus*, и иногда такие стойкие вещества, как лигнин и гумин. Большинство их способно восстанавливать нитраты и нитриты.

В общем синтез гуминовых веществ производится актиномицетами, грибами, бактериями и дрожжами. Распад органических и образование гуминовых веществ осуществляется также аммонифицирующими бактериями, грибами — разрушителями клетчатки и пектиновых веществ, фосфорными бактериями и, наконец, существует синтез, при котором происходит нитрификация и азотофиксация.

К микробам-ингибиторам, содействующим образованию особых токсических веществ, следует отнести *Bac. Mesenterium*, *Bac. subtilis*. Они сильно подавляют рост растений, особенно корней. Грибами из рода *Fusarium* вызывается «утомление» почвы. На дерново-подзолистых почвах Московской области токсичными оказались *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*.

При развитии токсикоза в почве ослабленные растения поражаются различного рода болезнями, которые вызывают нарушение роста. Токсикоз в почве наступает обычно при отсутствии плодосмена вследствие выделения корнями растений вредных веществ. Такие выделения могут производиться не только корнями в почву, но и наземными органами растения в воздух.

Устойчивость токсических веществ в почве, а частично и в воздухе, зависит от метеорологических условий и количества осадков. При недостатке осадков сохраняемость продуктов выделения больше, чем при их обилии.

По наблюдениям Рунова и Еникеевой (1959) в районе Деркульской опытной станции Луганской области, токсичность почв под лесными культурами непостоянна. Она изменяется в течение сезона и увеличивается к осени. В засушливый период токсичность возрастает, при увлажнении почвы снижается. Она меняется также в зависимости от состава насаждений и их возраста. Упомя-

нутые исследователи установили, что под чистыми дубовыми древостоями токсичность выше, чем под смешанными, в результате чего под первыми резко подавляется прорастание желудей.

По общему содержанию микроорганизмов (Гаврилов, 1950; Рунов и Егорова, 1958) первое место занимает березовая и лиственничная подстилка. Среди хвойных меньше всего их в подстилке ели, затем сосны. Наиболее многочисленной группой, разлагающей подстилку, являются неспорообразующие бактерии, которые составляют около 80—90% от общего числа микроорганизмов.

О. И. Пушкинская (1954) показала сильную изменчивость микронаселения в различных типах леса лесостепной зоны и в древостоях разных возрастов.

По исследованиям микрофлоры подзолистых почв северных лесов, произведенным Н. Н. Мустафовой (1959), в подстилке кисличника и черничника преобладают грибы, а в перегнойном слое встречаются грибы и бактерии, причем последних больше, чем бактерий; в подзолистом горизонте также преобладают бактерии; актиномицеты приурочены главным образом к подстилке.

Численность бактерий из-за уменьшения влажности и кислотности почвы увеличивается летом и особенно осенью. Количество грибов также увеличивается летом. В подстилке и подзолистом горизонте под ельником-кисличником микроорганизмов больше, чем под ельником-черничником.

Процесс аммонификации в лесных подзолистых почвах происходит чрезвычайно интенсивно в верхних слоях почвы. Численность аммонифицирующих бактерий уменьшается по мере углубления в почву. В подзолистом горизонте микроорганизмов обычно немного. Количество аммонификаторов летом значительно меньше, чем осенью.

В подстилке наиболее часто встречаются мелкие неспороносные палочки, кокки и пигментные формы, относящиеся к родам псевдомонас и ахромобактер. В перегнойном горизонте — мелкие неспороносные и пигментные формы бактерий из указанных родов, а также в небольшом количестве *Penicillium*, *Mucor*, актиномицеты и спороносные — *Vac. micoides*, *Vac. mesenterium*, *Vac. vulgaris*, *Vac. subtilis* и др.

Процесс нитрификации сильнее развивается в ельни-

ке-кисличнике, чем в черничнике. В первом присутствует наибольшее количество нитрифицирующих бактерий (675 на 1 г почвы, из них в подстилке и гор. А<sub>2</sub> 282).

При участии микроорганизмов совершается круговорот минеральных веществ и азота в природе. Микроорганизмы участвуют в подготовке ростовых веществ — сложных соединений (ауксины и гетероауксины), синтезируемых растительными клетками. Эти вещества, выделяемые микробами в почву, поступают из нее в растения. Однако еще не установлено, какую долю потребности растений в ростовых веществах покрывают микробы, а какую синтезируют сами растения. При созревании растений ростовые вещества концентрируются в семенах. Однако содержание их в семенах невелико — до 0,5 мг ростовых веществ на 1 кг семян.

Микроорганизмы нейтрализуют токсические корневые выделения, превращая их в другие, менее токсические вещества, которые вымываются во время весеннего снеготаяния в процессе фильтрации воды в нижележащие почвенные горизонты.

Почва является своеобразной лабораторией, где готовятся необходимые соединения для построения органического вещества клеток и тканей. Почва — это среда жизнедеятельности организмов, где происходит не только накопление органической массы, но и превращение ее в минеральные вещества, гуминовые кислоты и гумус.

В процессе разложения органических веществ наблюдается смена микрофлоры. Первоначально наибольшую активность развивают неспорообразующие бактерии и грибы; затем начинают доминировать спорообразующие бактерии и актиномицеты. Актиномицеты появляются на полусгнивших остатках, после того как грибы и бактерии уничтожают все легкоусвояемые вещества.

## **МИКОФЛОРА ДРЕВЕСНОГО ОПАДА И ОТПАДА**

В. А. Частухин и М. А. Николаевская (1953) выявили, что распад древесины дуба на поверхности почвы осуществляется грибами. На различных стадиях распада участвуют различные грибы. Первая стадия разрушения древесины обуславливается деятельностью различ-

ных паразитных грибов. Во второй — вследствие заселения отмершей древесины основными разрушителями происходит процесс разложения лигнино-целлюлозного комплекса. У дубовой древесины это: дубовая губка, трутовик верзиколер и др. В третьей стадии разрушения на остатках поселяются: *Muscena polygramma*, *M. eipterogia*, *Gipholoma Syblateriitium*. Распад древесины дуба может идти по разным направлениям в зависимости от видов грибов, поселяющихся на отмирающих деревьях.

Древесину дуба, находящуюся на поверхности почвы, разрушают: *Dladala quercina*, серножелтый трутовик, *Polystictus versicolor*. К ним присоединяется ряд видов из семейства *Agaricaceae*, особенно часто встречается *Huholoma candolenum*, *H. sublateritum*, *H. fasciculare*, а также *H. polygramma* и *Armillaria mellea* (опенок).

Микрофлора подстилок в дубовых лесах отличается большим разнообразием. В спелых древостоях она богаче, чем в молодых. На листьях подстилки имеется группа сумчатых грибов, объединенных под названием «мезоскопические».

На листьях дуба еще осенью (до отпада) начинают развиваться грибы, образующие темные точки по всей поверхности листа. Это мезоскопические грибы, заметные простым глазом. С началом их деятельности начинается распад листьев.

Весной на опавшей дубовой листе появляется много новых черных точек — это перитеции сумчатого гриба *Mycosphaerella punctiformis*. Встречаются и другие грибы, но их меньше. На подстилке из дубовых листьев целлюлозоразлагающих и нитрифицирующих бактерий больше, чем на подстилке хвойных.

Листья, составляющие основную массу подстилки, падая на поверхность почвы, приносят специфическую микрофлору. В. А. Частухин и М. А. Николаевская обнаружили на листьях значительное количество гнилостных бактерий и микроскопических грибов.

Опыты показали, что лучше всего листья разлагаются под воздействием базидиальных грибов, относящихся к группе подстилочных сапрофитов. К этой флоре, поселяющейся на опадающих листьях, присоединяются микроорганизмы из подстилки. При их активном участии весной происходит процесс ее разложения.

По данным В. А. Частухина и М. А. Николаевской можно судить, что при разложении подстилки в лесу благодаря жизнедеятельности базидальных грибов происходит энергичный процесс минерализации органического вещества. Это одна из причин низкого содержания гумуса в лесных почвах по сравнению со степными, хотя в лесу количество органических остатков, попадающих на поверхность почвы, почти вдвое больше.

Листва и травяной покров, поступающие на поверхность почвы в форме опада, разрушаются под воздействием осадков, почвенной фауны и микроорганизмов. Очень быстро идет распад листьев клена остролистного, ясеня, ильмовых и лещины; заметно слабее разрушаются листья липы и еще слабее — дуба. Через два года остается  $\frac{1}{3}$  неразложившихся листьев дуба и ильма и  $\frac{1}{5}$  — клена остролистного.

В ельнике-зеленомошнике (Архангельской области) в первый год после опадания хвои, мелких ветвей и коры разрушаются только 18% опада, через два года 54, а через три года 73%; в ельнике-черничнике в первый год разрушается 12% опада, через два года — 48, через три — 64%. В ельнике торфяно-болотном — соответственно 36 и 45%.

Аналогичный характер разложения во времени наблюдается и под пологом сосны. Здесь в сосняках-долгомошниках за три года разложилось только 46% подстилки.

Помимо опада важным источником органического вещества являются также корни растений. Очевидно, чтобы получить ясное представление о судьбе растительных остатков в лесу, нужно изучать не только их распад на поверхности почвы, но и разложение отмирающих корней. Этот процесс происходит в несколько других условиях, чем разложение подстилки (содержание  $\text{CO}_2$  больше, чем на поверхности почвы, влага распределяется равномернее и т. д.). Но распад корней, представляющих собой одревесневшие части растений, должен иметь много общего с разложением древесных остатков на поверхности почвы.

Основная масса корней дуба сосредоточена в слое 0—15 см и составляет примерно 1,5 кг на 0,1 м<sup>3</sup> почвы; при этом  $\frac{1}{3}$  всего количества приходится на мелкие корни. Ежегодный опад корней в 30-сантиметровой тол-

ще почвы в двухлетних культурах дуба составляет 34, четырехлетних — 88, восьмилетних — 148 и 30-летних — 282 кг/га.

Количество гумуса, азота и других биологически важных элементов в почве находится в прямой зависимости от массы мелких корней, особенно диаметром меньше 1 мм.

Помимо микроорганизмов, вызывающих разложение корней, исследовалась также микрофлора, связанная с деятельностью сосущих корневых окончаний. Обычно считается, что микроорганизмы ризосферы связаны с корневыми выделениями растений, и не учитывается то обстоятельство, что развитие мелких корневых окончаний сопровождается заменой отмирающих корневых волосков новыми. Если имеется микоризный чехол, здесь же происходит как развитие, так и отмирание грибных гиф. Около корневых окончаний независимо от корневых выделений должно скопиться значительное количество микроорганизмов, питающихся частями растений. Таким образом, ризосфера представляет собой комплекс микроорганизмов.

Между условиями разложения древесины, существующими на поверхности и в глубине, наблюдаются большие различия. Трудно сказать, почему трутовые грибы не развивают плодовых тел на корнях; зато хорошо развивается мицелий многих грибов. Наиболее часто по ходу корней дуба, даже в значительном расстоянии от дубовых пней, мы находили плодовые тела *Hypoholoma*: *H. fascicolare*, *H. sublateritum* и некоторых других. Очевидно, эти грибы участвуют в разрушении корневой системы.

Микрофлора разлагающихся корней дуба представлена различными видами из семейства *Agaricaceae* (виды *Hypoholoma*, *Armillaria mellea*, *Mycena poligramma*). У них много общего с флорой шляпочных грибов, развивающихся на дубовой древесине. Разложение корней начинается с микоризных окончаний и в местах многочисленных язв на корнях дуба.

Микрофлора разлагающихся корневых остатков содержит в общем формы, характерные для разлагающейся древесины; на более поздних стадиях распада к ней присоединяется ряд микроорганизмов, характерных для почвы (анаэробные масляные бактерии и др.).

Общее количество микроорганизмов в ризосфере дуба больше, чем в почве того же насаждения. На поверхности живых корневых окончаний и в ризосфере дуба развивается значительное количество бактерий, мобилизующих подвижные формы азота. Среди последних обнаружены и грибы из рода *Phoma*.

Актиномицеты под пологом осиновых, ясеневых и дубовых древостоев количественно мало различаются, зато микроскопических грибов несколько больше в почве под дубами и меньше под осинами. Развитие целлюлозоразлагающих бактерий особенно интенсивно идет под осинниками.

В подстилке и почве важную роль играют высшие грибы. В подстилке ясеня, где преобладают флуоресцирующие бактерии, развитие высших грибов ограничено по сравнению с подстилкой дуба и особенно осины.

Нитрификация в почве под всеми насаждениями протекает с одинаковой интенсивностью. В ризосфере ясеня и особенно осины преобладают флуоресцирующие бактерии и актиномицеты; в ризосфере дуба наиболее интенсивно развиваются микроскопические грибы, а в ризосфере осины — спорогенные грибы.

В почве под дубняком по сравнению с ясеневым насаждением микробиологические процессы более подавлены. Здесь, как и в подстилке, преобладают спорозные формы.

Многие виды грибов являются микоризообразователями. К числу их В. А. Частухин (Частухин, Николаевская, 1953) относит представителей родов *Boletus*, *Russula*, *Gortinarius*, *Scleroderma*, *Amanita*, *Trichoderma* и др.

Микоризные грибы, по исследованиям Н. М. Шемахановой (1962), воздействуют на растения продуктами своего метаболизма. Выделяемые ими витамины и ростовые вещества вызывают развитие корневой системы, в основном сосущих корешков, и их усиленное ветвление. Это приводит к увеличению поглощающей поверхности корневой системы, которая создает контакт между грибом, тканями растения и почвенными частицами.

Микоризообразование у древесных растений зависит от многих факторов, главным образом от состава минеральных веществ, интенсивности света, температуры, кислотности, состава микроэлементов, влажности почв,

биотических факторов. Благоприятно влияет на образование микоризы достаточное количество легкодоступного азота, фосфора и оптимальная интенсивность света. В среде, бедной азотом и фосфором, микориза не развивается. Сильно подавляются грибы-микоризообразователи при чрезмерных дозах азота и фосфора.

В насаждениях с различной сомкнутостью и, следовательно, с различным освещением под пологом интенсивность образования микоризы на корнях древесных растений будет различной.

В опытах Н. М. Шемахановой (1962) микоризы при интенсивном освещении оказалось больше, чем при слабом. При интенсивном свете сильно способствует образованию микоризы уменьшенное количество азота по отношению к фосфору и фосфора по отношению к азоту.

Значение света для образования микоризы подтверждено и в ряде полевых опытов. Таким образом, рубки ухода могут содействовать этому процессу. Микориза развивается хорошо лишь при достаточном количестве гумуса, поэтому бедные почвы хорошо удобрять навозом и компостом.

Успешное развитие любых растений тесно связано с влажностью почвы. Сильное высыхание почвы приводит к полному исчезновению микоризы, во влажные же годы в степной и лесостепной зонах она образуется у всех семян.

Обильное микоризообразование происходит у дуба при влажности 40—60% и полное или почти полное отсутствие микоризы наблюдается при влажности 20—25 и 80% от полевой влагоемкости почвы (Самцевич, 1955).

На развитие микоризы благоприятно влияет марганец, молибден, цинк, а также оптимальное значение  $pH = 5,4$ .

Между грибами и высшими растениями часто существует симбиоз. Роль микоризообразующих грибов сводится прежде всего к снабжению древесных растений элементами питания и витаминами.

Так, микоризообразующие грибы из рода *Boletus* и *Amanita* (Шемаханова, 1962) синтезируют и выделяют в окружающую среду витамины группы В, пантотеновую и никотиновую кислоты и биотин, которые стимулируют прорастание семян, а также ростовые вещества. От них зависят физиологические функции растений. Бла-



годаря увеличению поглощающей поверхности корней повышается транспирация и усиливается активность корневых систем. В связи с этим увеличивается и содержание хлорофилла в листьях; увеличение рабочей поверхности корней способствует усилению поглощения фосфора, азота, калия и кальция. Скорость поглощения питательных веществ находится в тесной зависимости от температуры среды и содержания в ней кислорода.

Микоризообразующие грибы способны усваивать труднодоступные для растений фосфато-апатит и трикальцийфосфат. Благодаря им растения лучше развиваются при недостатке влаги и физиологической сухости почвы, так как эти грибы обладают выносливостью к высоким осмотическим давлениям.

От возникновения семени до появления всходов, а затем и до спелости дерево может подвергаться разнообразным грибным заболеваниям. На семенах хвойных обнаружено до 30, а на лиственных даже до 50 видов грибов. На желудях дуба развиваются пеницилловые грибы, *Trichoderma roseum*, *Schisophilum commune*, *Stegium chrysotum*, фомопсис и др. На семенах клена и ясеня возникают *Echinobotrium artum*, *Kaphalosporum*, *Monosporum galanthi* и ряд других видов.

В дубовых молодняках поселяется *Clithris quercina*, *Willeminia comendens*; в 40—50-летних — *Diatrypella minuta* и *Stigma* sp. Основной вредитель дуба — *Fomes robustus*, *Polyporus dryophilus*, *Polyporus sulphureus*.

В результате вредной деятельности перечисленных грибов качество древесины в перестойных 220-летних древостоях низкое. Выход деловой древесины в осокоснытевой дубраве равен 48%; в снытевой — только 27, полево-кленовой — 53; в спелых, 130-летних древостоях — 70%.

Распад живой и отмершей древесины осуществляется комплексной флорой различных грибов. На различных стадиях распада древесины действуют различные грибы.

Болезни лесных пород и повреждения лесных продуктов, вызываемые грибами, распространены в лесах всех стран. Из хвойных пород особенно страдают от лесных вредителей сосна, ель и пихта.

Зараженность сосновых древостоев сосновой губкой (*Trametes pini*) в Архангельской области в древостоях

бора бруснично-черничного с возрастом весьма существенно изменяется:

Возраст древостоя, лет	82	100	105	150	183	204	210	260
Поражено деревьев, %:	0,3	1,3	2,1	7,8	23,0	24,4	24,6	18,0
сосновой губкой								
пузырчатой ржавчи- ной	—	—	—	—	1,3	2,6	1,9	1,6
корневой губкой	—	—	0,3	0,9	1,2	1,5	2,8	3,6

В Карельской АССР и Ленинградской области зараженность сосновой губкой достигает 60%, в Бузукском бору Куйбышевской области 16%, а в некоторых местах даже 60%. Еловые и пихтовые древостои во многих местах заражены корневой губкой на 60%, опенком — на 16%.

Лиственные древостои заражаются стволовыми вредителями еще больше. В дубовых древостоях Воронежской области сердцевинной гнилью, вызванной дубовым трутовиком, поражено 10—42% деревьев. При этом выход деловой древесины составляет 50% от нормального. Осиновые древостои 70—80 лет заражены сердцевинной гнилью, вызванной ложным трутовиком.

Культуры сосны в молодом возрасте повреждаются вертуном. В сосновых питомниках наблюдается полегание семян, пораженных фузариумом, пожелтение хвои.

Лиственница сильно поражается *Stereum abietinum*, поселяющимся на сломанных сучьях, а также лиственничной губкой.

Грибы, вызывающие гниль стволов и корней, причиняют большой вред лесному хозяйству. Они обесценивают деревья, превращая их в дровяной материал, способствуют ветровалу. Грибы, вызывающие гниль в стволах, обуславливают увеличение бурелома. Упавшие деревья быстро заселяются короедами, лубоедами и усачами; насекомые заносят в ходы споры различных грибов и ускоряют разрушение древесины. Если упавшая еловая древесина не заселяется насекомыми, 84% упавшей ее массы через три года имеет здоровый вид. При заселении стволов типографом, гравером и древесинником здоровой остается 72% древесины. Если кроме перечисленных насекомых появляются усачи, здоровой остается только 60% древесины, 28% поражены гнилью

второй и третьей стадии. Разрушение еловой древесины грибами зависит от плотности заселения стволов усачами. Через 7,5 лет при отсутствии усачей насчитывается 68% здоровой древесины, при слабом заселении 41, при среднем — 33 и сильном лишь — 22%.

Имеет значение и положение упавших деревьев. Стволы, плотно лежащие на земле, содержат больше здоровой древесины, чем лежащие неплотно. Существенно действует на устойчивость древесины и видовой состав грибов.

Еловый отпад через 3 года поражается гнилью в первой стадии в размере 12% от объема стволов, во второй — 22% и в третьей стадии появляется трухлявая гниль (3% от общего объема стволов); в дальнейшем она быстро возрастает. Еловый отпад 10-летней давности содержит 37% гнили третьей стадии, 20-летней — 85%, к 30 годам отпад на 100% превращается в трухлявую гниль.

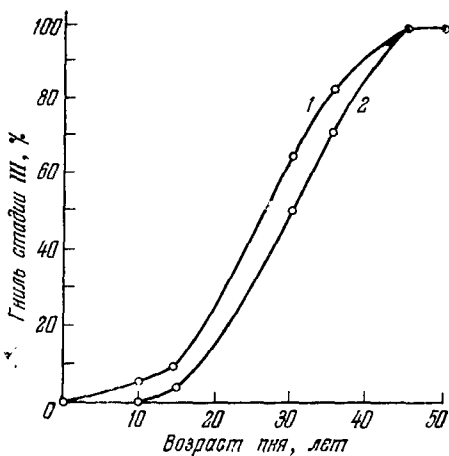
Сосновый отпад более устойчив. Отпад 5-летней давности содержит 4% гнилой древесины, 10-летней — 9,5, 20-летней — 25, 40-летней — 49, 60-летней — 66 и 90-летней — 98%. Эти данные относятся к средней части Архангельской области. В более южных районах распад идет быстрее.

В разрушении древесины участвуют главным образом окаймленный трутовик, щелевой гриб, еловый трутовик и ряд других.

Дубовые пни диаметром 80—100 см через 45—50 лет полностью превращаются в трухлявую гниль. С периферии процесс разрушения происходит значительно медленнее, чем в центре пня. Обычно при сильном разрушении дольше сохраняется периферическая часть пня. Это вызвано более быстрым ее просыханием после дождя.

В первые годы быстрее всего разрушается заболонь, в пределах 2—3 см у периферии. В дальнейшем начинает разрушаться центральная часть пня (рис. 24). В первое десятилетие гниль в ядровой древесине составляет десятые доли процента. К 15 годам трухлявая гниль составляет 4% от площади пня, в 20 лет — 15; в 30—50; в 35—73 и в 40 лет — 86%.

В разрушении древесины дубовых пней, находящейся на поверхности почвы, участвуют *Polyporus sulphureus*, *Polystictus versicolor*, *Irpex* sp., *Schizophyllum commune* и ряд других.



**Рис. 24.** Интенсивность разрушения пней до гнили III стадии.

1 — гниль с периферии пня;  
2 — гниль ядра

Липовые пни превращаются в трухлявую гниль через 8 лет, ильмовые и кленовые — через 10 лет. К этому же времени разрушаются и ясеневые пни. Древесина пней больше впитывает влагу, чем круглые лесные материалы. Поэтому разрушение их идет быстрее.

Из ряда компонентов леса существенного внимания заслуживают съедобные для человека грибы, обладающие рядом интересных биологических особенностей.

Там, где есть достаточно почвенного перегноя и лучше разложилась лесная подстилка, где почва теплее и имеет нетяжелый механический состав, наблюдаются хорошие урожаи грибов. Если в верхнем горизонте почвы питательных веществ мало, то грибы встречаются редко.

Для роста грибницы необходима средняя температура 14—16°. Длительное повышение температуры до 25° и более или резкое снижение ее, а также ухудшение снабжения воздухом из-за сильного увлажнения почвы препятствует ее росту. Теплая и тихая безветренная погода с достаточно влажным воздухом ускоряет рост грибов. Благоприятно действует на них рассеянный свет; прямой солнечный свет угнетает.

Грибница залегает на небольшой глубине, в пределах 6—12 см, в разложившейся подстилке. В многолетней грибнице шляпочных грибов заготавливается необходимое количество пластических веществ не только в год плодоношения, но и в год, предшествующий урожаю.

Грибы — полезный и питательный продукт. В их эк-

стракте содержится 36% воды, 21,43% азотистых соединений, 0,6% — жира, 21,19% — углеводов, 8,72% — золы, 5,2% — калия и 2,0% — фосфористых соединений.

В грибах много белков. В белых грибах содержится 5,39% азотистых веществ. По количеству питательных веществ они превосходят многие овощи. Грибами питаются и многие крупные лесные животные: лоси, олени, медведи, а из мелких зверей очень любят грибы белки и зайцы. Так, в одном гнезде белки было найдено 116 грибов общим весом 600 г, из них 22 белых; в другом — обнаружено до 300 различных грибов.

Поэтому ближайшей задачей исследований должно быть выявление тех мест в природе, где наиболее обильны урожаи грибов, в первую очередь в березовых, осиновых, смешанных сосново-еловых, елово-березовых и сосновых древостоях, а также проведение опытов по расселению грибов спорами и путем переноса грибницы.

Об урожайности грибов в различных экологических условиях существует очень мало сведений. Имеются сведения, что в лесах Архангельской области урожаи красных рыжиков на каргопольской суше изменяются от 30 до 60 кг/га, рыжиков синих в ельниках приручейных — 50—80 кг/га, маслят в борových лесах — до 130 кг/га, белых грибов — до 30—60 кг/га и подосиновиков и подберезовиков — 60 кг/га. Некоторые съедобные шляпочные грибы разрушают древесину, к ним относятся опёнки.

В типичных местах следует организовать грибные хозяйства с обязательным дождеванием почв в засушливые периоды, с внесением азота, фосфора и калия и в небольших количествах кальция, хлора и серы.

В высших грибах помимо питательных веществ содержатся многие биологически активные соединения. В них есть холин, входящий в состав лецитина и играющий большую роль в обменных процессах.

Кроме полезных, в лесу растут и ядовитые грибы. Алкалоид мускарин был впервые обнаружен в красном мухоморе. Доза мускарина в 0,8 г смертельна для человека. Алкалоид псилоциитин выделен из грибов, растущих в Мексике. Местное население употребляет их при религиозных обрядах, т. к. псилобицитин вызывает у людей галлюцинации. Самые сильные и смертельно ядовитые вещества, относящиеся к полипептидам, содержатся в бледной поганке. Смертельная доза для человека 0,02—0,03 г.

Изучение флористического состава грибов в начальный период (XVII в.) началось с практического распознавания грибов и устной передачи друг другу сведений о них. Второй период относился ко второй четверти XVIII в. и продолжался до середины XIX в. Первые научные флористические исследования в России в области ботаники грибов начались вскоре после организации Академии наук. Начало третьего периода относится к 60-м годам XIX в.— 20-м годам XX в. В этот период появились первые учебники по микологии. В 1856 г. С. Т. Аксаков установил связь шляпочных грибов с корнями древесных растений. Позднее немецкий фитопатолог Франк дал название «микоризы» новообразованиям на корнях, вызванном сожительством грибов с корнями.

Изучение физиологии питания грибов-микоризообразователей в чистых культурах начал Мелин. Он изучил влияние кислотности среды на рост микоризообразующих грибов и роли энзимов в их питании. Лучшее развитие и рост грибов-микоризообразователей наблюдается на глюкозе. Из неорганических источников азота микоризообразующие грибы предпочитают аммонийные соединения. Хорошее стимулирующее влияние на развитие микоризообразующих грибов оказывают аминокислоты с азотно-кислыми аммонием.

Со времени открытия микотрофии у древесных растений вопрос о природе взаимоотношений, существующих между грибами и растением, не перестает волновать ученых, работающих в данной области. Все исследователи в настоящее время пришли к мнению, что микориза необходима для развития древесных пород.

Разнообразие форм микориз, наблюдаемое у деревьев определенных групп, свидетельствует о том, что растения способны вступать в симбиоз с различными видами грибов.

Клубеньковые бактерии обнаружены на корнях ольхи, лоха, облепихи, пушицы и ряда других растений. Однако до сих пор неясно, под влиянием каких видов микроорганизмов они развиваются. Обилие микоризы на корнях благоприятствует их развитию и приживаемости. Немикоризные сеянцы дуба погибают к четырехлетнему возрасту. Микориза широко распространена почти на всех древесных породах. Сеянцы с микоризой отличались большой высотой ствола и развитой корневой системой, с большим

числом мелких корешков и увеличенным количеством листьев.

Микориза снабжает растения азотом. Выяснение возможности утилизировать микоризообразующими грибами фосфор из труднодоступных соединений показало, что некоторые грибы лучше усваивают апатит. Источником азота и фосфора для микоризообразующих грибов могут быть и органические субстраты. Микориза помогает растению использовать труднодоступные минеральные и сложные органические вещества.

Сеянцы, у которых микориза содержала более толстый грибной чехол с отходящими от него гифами, имели более активную поглощающую поверхность и больший объем корней. Сеянцы, несущие такую микоризу на своих корнях, содержали повышенное количество хлорофилла в листьях и имели больший сухой вес по сравнению с сеянцами, на корневых системах которых образовалась микориза с гладким и более тонким чехлом.

Микоризообразование у древесных растений зависит от минеральных веществ, интенсивности света, кислотности, содержания микроэлементов, влажности почвы и других факторов.

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ ЛЕСА И ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ**

Почва служит средой обитания различных животных, начиная от простейших и кончая млекопитающими. В 1 м<sup>2</sup> почвы имеется несколько тысяч дождевых червей, многоножек, личинок двукрылых и жуков, моллюсков, муравьев, клещей; все вместе они весят несколько десятков граммов.

Влияние почвенных животных на процессы в почве выражается в измельчении растительных остатков, что способствует в дальнейшем их быстрому разложению; в перемешивании их с минеральной частью почвы; в биохимическом изменении растительных остатков и промежуточных продуктов их разложения, при котором часть остатков разлагается до углекислоты и воды, а часть выделяется в измененном виде в почву в форме экскрементов.

тов. Животные, образуя ходы и разрыхляя почву, влияют также на ее сложение, структуру и аэрацию.

Особую группу составляют дождевые черви и энхитреиды (очень многочисленные во всех почвах черви белого цвета, длиной до 1,5 см). В почве обитают и насекомые: медведки, личинки различных жуков, некоторые пауки, мокрицы и ряд других. Из позвоночных чаще всего встречаются кроты, а также грызуны (суслики, тушканчики, хомяки, байбаки).

Особенно большое значение для почвы имеют дождевые черви. Они живут повсюду, за исключением пустынь, торфяных болот и сильно засоленных почв. Дождевые черви довольно неприхотливы к температуре и весьма влаголюбивы.

Своей деятельностью почвенные животные в значительной степени определяют ход разложения органических остатков, характер накопления гумуса. Так, образование мягкого гумуса находится в прямой связи с обилием в почве дождевых червей и их активностью. Дождевые черви выделяют различные по химическому составу копролиты. Чем больше растительных остатков в зоне их оптимального развития, тем более гумифицированы выбросы органических веществ.

Растения — основной продукт питания большинства почвенных животных. Одни из них создают благоприятные условия для жизни растений, другие — повреждают их. Под влиянием деятельности животных и микроорганизмов изменяется структура почвы. В кишечниках дождевых червей, личинок пластинчатоусых тигулид, а также в кишечниках мелких энхитреид, коллембол перемешиваются минеральные частицы почвы с органическими. Под влиянием почвенных животных и некоторых других компонентов в почве создаются водопрочные агрегаты, обеспечивающие ее аэрацию, благоприятный водный и пищевой режим.

Крупные роющие животные, обитающие в почве, усиливают в ней некапиллярную скважность, создающую благоприятные условия для просачивания атмосферной влаги.

Под влиянием деятельности животных изменяется мощность подстилки. Лесная подстилка влияет в свою очередь на почву, обогащает ее гумусом и минеральными веществами. Она содействует переводу поверхностного



стока в грунтовой и изменяет химические свойства почвы. Почвенная фауна находится в тесной взаимосвязи с гумусом. Чем больше его в почве, тем выше плотность населения почвенных животных и значительней их масса.

Вес их в местах залегания мягкого гумуса равняется  $70 \text{ г/м}^2$ , а в местах кислого и грубого гумуса — в несколько раз меньше. Почвы, лишенные подстилки, беднее почвенными насекомыми вследствие высыхания их летом и сильного промерзания зимой.

Границы распределения насекомых связаны с границами насыщения почвы корнями, они также зависят и от влажности почвы. Во влажные периоды при недостаточной аэрации деятельность насекомых подавляется. На богатых почвах насекомые почти не появляются.

С наступлением сухой погоды горизонты активности почвенных животных смещаются вниз. На фоне этого постепенного перемещения почвенной фауны наблюдаются суточные ритмы перехода ее из нижних горизонтов в более высокие, вызванные изменением температуры и влажности почвы.

Высокопроизводительные лесные почвы с интенсивно протекающим разложением мертвого опада содержат более многочисленную фауну. Чем беднее почвы и чем больше грубого гумуса, тем меньше в них насекомых. В почвах с грубым гумусом энтомофауна состоит главным образом из личинок жуков-щелкунов, личинок двукрылых, а также клещей, которые составляют по массе около 85% всей фауны. В почвах с мягким гумусом этих членистоногих менее 10%. Вес почвенной фауны в 10-сантиметровой толще достигает  $62 \text{ г/м}^2$  в кисличниках,  $45 \text{ г/м}^2$  в мшистых и  $6-10 \text{ г/м}^2$  в мокрых долгомошных.

Сильнокислые почвы (рН 4—5,2) заселяют проволочники. Пластинчатоусые развиваются в почве со щелочной реакцией. В подстилке, сформировавшейся под пологом еловых древостоев, преобладают клещи, составляющие 85% всего ее населения, и почти совершенно отсутствуют дождевые черви, доминирующие в подстилке лиственных пород. В лесной подстилке хвойных хищные преобладают над растительноядными.

В сухих чистых сосняках плотность почвенных беспозвоночных весьма незначительна. Она резко возрастает в более богатых и увлажненных почвах. Масса беспозвоночных в лишайниковом сосняке на  $1 \text{ м}^2$  состав-

ляет 5,475 г, в мшистом сосняке — 6,212 г, в сложных борах — 12,658 г и в припойменных борах — 14,335 г. Под биогруппами ели в лесах Белоруссии на 1 м<sup>2</sup> насчитывается 190 особей, сосны — 82 особи. Под пологом ели доминируют щелкуны, слоники и клещи. В лесной подстилке под 45-летними еловыми насаждениями насчитывается 376 клещей на каждый квадратный метр, а в окне — 56, пауков под елью — 48 и в окне — 70 шт.; многоножек соответственно 16 и 8, проволочников — 18 и 4 и прочих насекомых — 6 и 7; дождевых червей — 0 и 8 и брюхоногих моллюсков — 53 и 42 шт.

От лесной подстилки зависит выживаемость насекомых и других позвоночных в почве. Без нее почвы сильнее промерзают зимой и высыхают летом. В Грузии на площадках с подстилкой встречается на 1 м<sup>2</sup> 672 червя, 175 многоножек и 127 насекомых, а на площадках без подстилки — соответственно 320, 85 и 74.

Личинки большинства почвенных насекомых приурочены к почвам легкого механического состава. Питание их связано с общим растительным покровом, который сильно влияет на их распространение. Например, личинка майского жука среди сосновых молодняков приходится 1800 мг на 1 м<sup>2</sup> почвы, под чистотелом — 1900 мг, под вейником — 1100 мг. Заметим, что майские жуки с давних пор причиняют большой вред растительности. Еще в 1479 г. духовный трибунал в Швейцарии осудил это насекомое на изгнание за уничтожение посевов и обречение людей на голод. Однако приговор не был приведен в исполнение, так как средств для изгнания майских жуков не оказалось. Они повреждают и уничтожают сосновые молодняки и даже сельскохозяйственные культуры.

Состав почвенных беспозвоночных тесно связан с типами почв и характером почвенного профиля. В мохово-лишайниковой тундре почвы развиты слабо. Постоянно насыщенные влагой мертвые остатки растений неблагоприятны для развития животных. Масса их в тундре колеблется в пределах от 1 до 17 г/м<sup>2</sup>.

В северной и средней тайге на подзолистых почвах почвенная фауна более разнообразна. Но она также численно мала и приурочена в основном к подстилке. Опад не вовлекается животными в почву; в глубь ее проникают только растворимые продукты разложения.

В переувлажненных почвах (сфагновых сосняках)

вес беспозвоночных не превышает 5—7 г/м<sup>2</sup>, в сухих борах-беломошниках — 16,4, в вересковом бору — 24,6. На богатых же почвах сложных сосняков вес фауны достигает 55—62 г/м<sup>2</sup> (данные Шиперовича).

Численность ряда групп мелких почвенных животных (аптеригот, клещей, энхитреид), напротив, выше в почвах, на поверхности которых постоянно сохраняется слой медленно разлагающихся остатков. В южных частях подзолистой зоны она заметно увеличивается. Лучше прогреваемая почва позволяет животным мигрировать вглубь. Слой почвы, в который вовлекается животными опад, несколько увеличивается.

В подзоне смешанных лесов дерново-подзолистые почвы населены более крупными животными. Возрастает роль дождевых червей. Здесь встречаются различные виды кивсяков.

В подзоне широколиственных лесов серые лесные почвы содержат не только подстилочных, но и почвенных дождевых червей. Вертикальная миграция почвенной фауны резко выражена. В составе фауны большое участие принимают пластинчатоусые кивсяки.

В лесостепной зоне преобладают глубинные дождевые черви. Там разнообразен состав пластинчатоусых, распространены личинки чернотелок и пыльцеедов. Подстилочные двукрылые заменяются почвенными. Миграция животных в глубь почвы возрастает. Усиливается прокраска почвы гумусом.

Количество червей в снытевой дубраве на темно-серых лесных почвах изменяется от возраста древостоя. В древостоях с высоким приростом и, как следствие, с большим содержанием минеральных веществ червей больше. Кроме дождевых червей, в почве встречаются кивсяки. Но в лесостепной зоне их сравнительно немного, за исключением 50—60-летних древостоев, где поверхностные слои почвы суше.

В каштановых почвах численность почвенных животных, особенно влаголюбивых, сокращается. Дождевые черви, личинки длинноусых двукрылых исчезают. Деятельность беспозвоночных в более глубоких горизонтах часто лимитируется засолением почв. В пустынных сероземах беспозвоночные рано весной уходят в глубокие горизонты. Масса растительного опада в пустыне незначительна, поэтому гумуса в сероземах очень мало.

Почвенная фауна целинной степи и байрачных лесов резко различна. В последних выявлено 36 видов жужелиц, в целинной степи — 23. Интересно, что ни один из найденных видов не был общим для названных условий. Под пологом искусственных лесопосадок среди жужелиц, найденных при раскопках, девять видов распространены в степных местообитаниях и не обнаружены в байрачных лесах и 19 видов свойственны байрачным лесам и не найдены в целинной степи. Среди личинок хрущей в лесопосадках отмечены и виды, обычные для байрачных лесов.

Весь комплекс насекомых, обитающих под лесополосами, наиболее напоминает население не степи, а скорее зарослей степных кустарников. Из четырех видов кивсяков в лесопосадках выделяется крупный серый кивсяк: 150—250 экз. на 1 м<sup>2</sup>. Чем больше численность и удельное значение лесных видов в комплексе почвенных беспозвоночных, тем благоприятнее условия для роста леса (Гиляров, 1965).

На вырубке в лесостепи численность дождевых червей зависит от ее возраста. Чем моложе вырубка, тем меньше численность беспозвоночных, а также дождевых червей, кивсяков и литобиид. С повышением возраста и уменьшением в связи с этим влажности почвы численность мезофауны уменьшается, что связано с видовым составом растительности на вырубках. Численность и состав беспозвоночных животных зависят от ширины вырубок. Наибольшее количество беспозвоночных в основном отмечается на узких 25—35-метровых лесосеках. На 50- и 100-метровых их заметно меньше, так как влажность почвы здесь ниже. В тесной связи с численностью почвенной фауны и влажностью почвы происходит и рост молодняков на вырубках.

Среди почвенных беспозвоночных разные виды в неодинаковой степени требовательны к элементам почвенного режима: одни более чувствительны к механическому составу, другие — к солевому режиму.

Границы проникновения животных в глубь почвы связаны с глубиной проникновения корней и гумуса. Корневые системы, почвенные беспозвоночные и гумус почвы являются взаимосвязанными звеньями динамического комплекса почвенного яруса биогеоценоза (Гиляров, 1965). Животные постоянно улучшают скважность

почвы. Деятельность роющих животных определяет мощность аккумулятивного почвенного слоя. Между почвенным профилем, составом и численностью почвенных животных существует тесная связь.

Пища разных дождевых червей неоднотипна. Такие виды, как *Eisenia rosea*, питаются продуктами разложения корешков трав; *Lumbricus terrestris* — опавшими листьями древесных пород, предпочитая опад березы опад дуба. *Lumbricus rubellus* предпочитают опад ольхи опад дуба. Все виды потребляющих подстилку дождевых червей охотнее поедают листья бузины и лещины, чем листья дуба и клена.

Кивсякам и мокрицам больше нравятся листья ясеня, чем ольхи черной, липы и особенно бука и дуба. Пролежавший на поверхности почвы в течение зимы лучше всего поедается опад из листьев липы, ясеня и граба, хуже — дуба и бука. Почвенные улитки *Clausilla* охотнее употребляют опад лещины и бузины, чем бука и клена.

Дождевые черви избегают таких растений, как шалфей и мята, выделяющих фитонциды. Наиболее благоприятная пища для них — опад кленов, граба, березы, лиственницы сибирской, малоблагоприятны — хвоя сосны, листья ясеня, акации белой и ореха грецкого.

Дождевые черви увеличивают подвижность питательных элементов (азота, фосфора, калия) в почве, т. е. способствуют минерализации питательных веществ, чем усиливают биологический круговорот веществ под пологом леса. Тела животных после их отмирания подвергаются разложению, в котором значительную роль играют сапрофитные организмы.

По данным О. В. Чекановской (1960), один червь в день пропускает через свой кишечник количество земли, равное его весу. Приняв средний вес одного червя в 0,6 г, а количество их на 1 м<sup>2</sup> в 50 особей, или 500 000 на 1 га, получаем, что за сутки через кишечник червей проходит 0,25 т земли. Если принять, что активная деятельность червей продолжается 200 дней в году, то эта цифра вырастет до 50 т.

Помимо земли черви перерабатывают и полуразложившиеся растительные остатки. При наличии в поверхностном слое почвы 30 червей на 1 м<sup>2</sup>, как это нередко наблюдается в лиственных древостоях, за год может быть переработано около 1000 кг/га растительных остат-

ков, что составляет примерно 30—50% ежегодного опада; под хвойными насаждениями 6—10 червей на 1 м<sup>2</sup> перерабатывают только 250 кг органического вещества на 1 га лесной почвы, т. е.  $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{8}$  ежегодного опада.

Один червь поедает от 0,6 до 1,0 кг сухого органического вещества в месяц. Дождевые черви обитают на влажных и сырых участках земной поверхности, покрытых влагоемкими растительными остатками в виде лесной подстилки.

В литературе есть указания, что определяющим фактором распространения дождевых червей в почвах является актуальная кислотность. Исследования, однако, показали, что черви часто встречаются при рН-3,5—4,0. Устойчивость червей к кислой реакции почвы связана с наличием в растительных остатках кальция. Присутствие солей серной и азотной кислоты в концентрациях 0,05—0,09% действует на них губительно.

В солонцах и солончаках они встречаются только при благоприятном солевом составе.

Питаясь опадом, дождевые черви значительно обогащают почву перегноем, снижают кислотность и увеличивают сумму поглощенных оснований. С увеличением количества дождевых червей содержание в почве подвижных гуматов возрастает.

Дождевые черви стимулируют рост семян и саженцев древесных пород, что объясняется не только улучшением агрофизических свойств почвы под влиянием их жизнедеятельности, но и общим ускорением биологического круговорота веществ. Кроме того, черви вырабатывают и вносят в почву ростовые вещества, способствующие развитию растений. Новозеландский ученый Р. Л. Нильсон исследовал 14 видов дождевых червей, находящихся на острове, и установил, что количество биологически активных веществ, выделяемых каждым из них, очень различно, а значит, неодинакова и приносимая ими польза. Искусственное заселение лугов наиболее полезными червями резко повышает качество травостоя.

Почвообразующая деятельность дождевых червей связана с наличием растительных остатков под пологом леса. Разложение опада благодаря присутствию дождевых червей значительно ускоряется в тех древостоях, где он слабо изменяется под влиянием атмосфер-

ных осадков. Степень водопроницаемости почв также зависит от численности червей, а водоустойчивость копролитовой структуры лесных почв связана с продуктами их питания: более водоустойчивые копролиты возникают при питании листьями клена, ясеня, ольхи черной и менее устойчивые — листьями дуба, клена полевого и хвоей лиственницы.

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ ВРЕДНОЙ ФАУНЫ, РАСТИТЕЛЬНОСТИ И МИКРООРГАНИЗМОВ**

Насекомые относятся к одному из классов животного мира, отличающегося рядом особенностей, выдвигающих их по значению в природе на одно из первых мест. Нередко какой-либо вид насекомых появляется в огромном количестве. Такое массовое распространение их не может не повлиять на жизнь леса. Уничтожив растительность, они могут кардинально изменить микроклимат местности и обусловить появление нового леса, который, в свою очередь, снова изменит микроклимат и окажет влияние на жизнь и деятельность насекомых.

За последнее время большой интерес проявляется к установлению связи между погодой и численностью насекомых. Однако выяснить ее роль очень трудно, так как погода — динамический процесс глобального порядка, в котором возможны и запаздывания по времени, и географические смещения. Поэтому решение проблем биоклиматологии следует начинать с изучения отдельных насекомых; первичная ступень отношений насекомых со средой — отношения отдельных насекомых с их микрорастениями.

Поскольку насекомые очень чувствительны даже к незначительным изменениям микроклимата, состав фауны зависит не только от самого растения, но еще больше от окружающих условий. Поэтому на одном виде растений на открытых местах преобладают светолюбивые виды насекомых, а в затененных — теневыносливые. Таким образом, жизнь насекомых тесно связана с комплексом естественноисторических условий, т. е. с почвой, метеорологическими условиями, возрастом древостоя, его санитарным состоянием и т. д.

Насекомые больше других организмов реагируют на изменение освещения, температуры и влажности воздуха. Тепло и влага прежде всего определяют границы распространения видов и степень их вредного действия. Вид обычно обитает в той микроклиматической среде, которая определяет возможность его существования.

Увеличение температуры воздуха, освещения и понижение влажности воздуха ведут к увеличению численности светлюбивых насекомых. Например, с увеличением освещенности увеличивается число кладок непарного шелкопряда. В светлую часть дня наиболее активна бабочка дубовой листовертки.

Температура воздуха особенно сильно влияет на темпы физиологических процессов. Под влиянием температуры меняются темпы развития и химизм обмена веществ, активность клеточных дыхательных ферментов, активность нервной ткани и вязкость протоплазмы. От нее зависит плодовитость насекомых и продолжительность их жизни. Температура координирует все физиологические процессы насекомых: чем она выше, тем быстрее рост, развитие и метаморфозы, вместе с тем сокращается длительность жизни на стадии имаго.

Под влиянием температуры изменяются темпы яйцекладки и длительность копуляции. Меняется скорость созревания половых продуктов. Изменение температуры обуславливает темп работы сердца, ритмичность дыхательных движений и нередко предопределяет развитие самцов и самок.

Сумма эффективных температур зависит от следующих величин:

$$T(t-c) = K,$$

где  $T$  — длительность развития фазы, возраста или цикла развития насекомого;  $c$  — так называемый биологический нуль, или термический порог развития данной фазы;  $t-c$  — эффективная температура, специфическая для каждого вида;  $K$  — сумма эффективных температур.

Рост и морфологические процессы насекомых возможны лишь в очень ограниченном диапазоне температур. В зависимости от вида и стадии нижний предел обычно колеблется между  $5-10^{\circ}$ , верхний — между  $30-35^{\circ}$ . Следовательно, область эффективных температур определяется в  $25-30^{\circ}$ . В природе развитие проте-



кает в еще более узких границах, поскольку предельные границы обычно тормозят рост и вызывают гибель насекомых. Неэффективные температуры останавливают рост и вызывают гибель насекомых.

Исключительно высокой чувствительностью к отрицательным температурам отличаются насекомые в активной стадии, когда они обычно нуждаются и в повышенной влажности среды.

Засушливая и жаркая погода вызывает снижение обмена у насекомых, уменьшение воды в теле и обуславливает наступление вынужденной диапаузы.

Однако как недостаток, так и избыток воды нарушают обмен веществ насекомых, что сказывается на активности и выживаемости особей. Степень влажности во время роста насекомых сказывается на их плодовитости.

Лесные насекомые поедают растения или их части. Некоторые из них очень разборчивы в выборе кормового растения. Дубовая листовертка питается исключительно дубом, а короед березовый заболонник повреждает только березу. Гусеницы зимней пяденицы и многие другие насекомые поедают все виды растений.

Пищевые свойства древесных пород и особенно листьев не остаются постоянными. Они меняются от возраста деревьев и условий произрастания. Освещенные листья обычно содержат повышенное количество углеводов и сухого вещества, но заметно меньше влаги. Расселение насекомых различных видов приурочивается к тем фазам вегетации, которые лучше всего удовлетворяют их потребности в пище.

Физиологическое состояние насекомых — продолжительность развития и рост гусениц и куколок — зависит от количества и качества съеденной ими пищи. Например, непарный шелкопряд лучше всего развивается на дубе. На других породах развитие его запаздывает на 2—10 дней. Медленно растут куколки и гусеницы, питающиеся листьями березы и липы, средний вес их значительно меньше оптимального. Условия питания отражаются не только на весе личинок и куколок, но и на плодовитости бабочек и выживаемости потомства. Величина яйцепродукции пропорциональна весу куколки и выражается прямолинейной зависимостью. Наиболее высокой плодовитостью отличаются бабочки, воспитавшиеся на дубе. Их гусеницы отличаются большей устойчивостью и

лучше выживают. Они дают 61,8% самок, 38,2% самцов, на яблоне — 39,6% самок и 60,4% самцов (Воронцов, 1963). Чем быстрее идет рост и раньше наступает развитие, тем интенсивнее питание гусениц. Косвенный показатель интенсивности питания — количество кала, скапливающегося под деревьями.

С лесом связано большое количество различных видов насекомых. Они населяют все ярусы древесной растительности, подстилку и почву. Однако не все они — вредители древесных пород.

Чем разнообразнее видовой состав растений, входящих в древостой или, наконец, в фитоценоз, тем богаче фауна дендрофильных и других насекомых. Наряду с этим энтомофауна такой древесной породы, как дуб, состоит из 1400 видов насекомых, включающих паразитов и хищников. Из указанного количества видов 850 питаются соками и тканями дуба. Наибольшее количество видов (530) кормится листьями, побегами и почками. Другие лиственные породы привлекают значительно меньше насекомых. Например, на тополях питаются 700 видов дендрофильных насекомых; на иве — 400; на дикоплодовых деревьях — 250; на ильмовых — 200; березе — 120; липе — 85; клене — 85; грабе — 90; ясеню — 75; ольхе — 70; лоху — 43; и саксауле только 35 видов. Из хвойных больше всего обитает насекомых на сосне — 200 различных видов; на ели — 180; лиственнице — 150; кедре — 130 и пихте — 110.

Чем больше в составе дубовых древостоев других пород, тем меньше тех видов вредителей, которые обитают на дубе. Особенно важно уменьшение таких вредителей, как непарный шелкопряд и листовертка. Уменьшение в составе древостоев той или иной породы вызывает уменьшение пищи для ее обитателей. В чистых древостоях наблюдается слабая деятельность энтомофагов и птиц, видовой состав их весьма беден. Зараженность яиц соснового шелкопряда в смешанном древостое в 7 раз больше, чем в чистом. Зараженность куколками паразитов в очагах сосновой пяденицы в смешанном древостое равняется 36%, в чистом — 12,7% (Воронцов, 1963).

Отдельные насекомые, обитающие на кронах деревьев, кустарников и в травяном покрове, обычно не приносят большого вреда. Но в годы массового размножения они поражают деревья, вызывая нередко усыхание древо-

ствоев или отдельных деревьев. Вслед за усыханием частей кроны усиливаются грибные заболевания.

Наибольшая численность насекомых приурочена к изреженным древостоям. Здесь их в 2—4 раза больше, чем в сомкнутых, так как температура воздуха и освещенность выше, а относительная влажность ниже. К тому же, и видовой состав растительности, а следовательно, и пища здесь разнообразнее. В дубовых сомкнутых 30-летних жердняках наблюдается наиболее низкая температура воздуха и почвы, меньшая освещенность и высокая влажность воздуха. С повышением возраста сомкнутость, естественно, уменьшается, а освещенность и температура повышаются. В зависимости от количества насекомых изменяется и численность орнитофауны.

Листогрызущие насекомые истребляют листву, которая в значительной мере (обычно в то же лето) восстанавливается. Однако новая листва, как правило, поражается мучнистой росой. Хвойные породы очень плохо

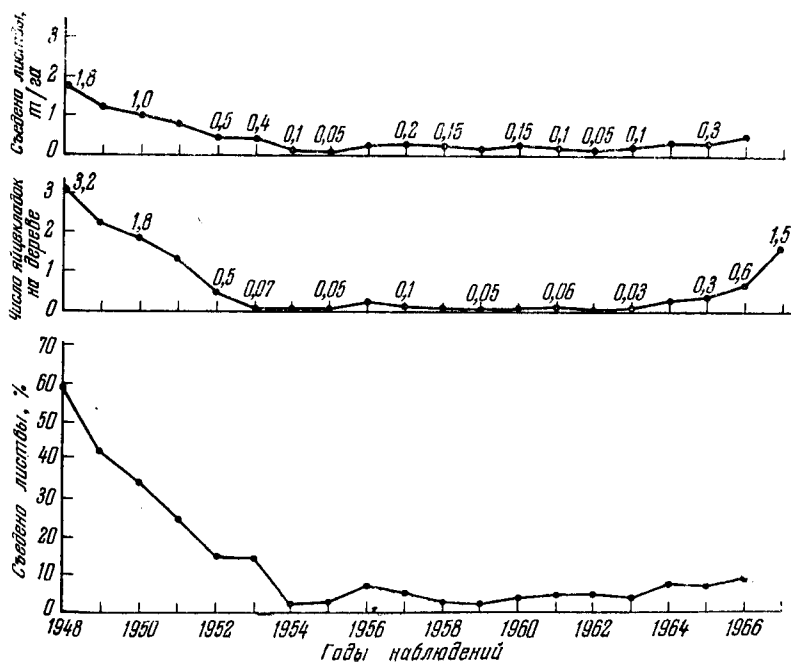


Рис. 25. Количество яйцекладок непарного шелкопряда и съеденной им листвы в дубовых древостоях Теллермановского опытного лесничества

восстанавливают хвою после уничтожения ее насекомыми. Поэтому эти деревья обычно погибают.

Растительоядные беспозвоночные животные в периоды массового размножения заметно сокращают поступление органических веществ на поверхность почвы. При массе дубовых листьев, равной 3,2 т/га, изменения величины съеденной листы в зависимости от количества яйцекладок на дереве показаны на рис. 25. Цикл с начала ослабления до оправления насаждений, поврежденных непарным шелкопрядом, длится 10—12 лет. Потери на приросте составляют 25—50%.

Беспозвоночные фитофаги потребляют растительное вещество, трансформируют его и выделяют в почву, а по окончании жизнедеятельности попадают в почву в виде трупов (табл. 7, по Рафесу, 1964).

Таблица 7. Процесс жизнедеятельности беспозвоночных фитофагов

Год от начала плотности копуляции	Вес неповрежденной листы, м/га	Съедено листы, м/га	Трупы вредителей, насекомых и экскременты, м/га
I	9,30	0	0
II	9,23	0,07	0,03
III	9,03	4,3	1,92
IV	8,15	5,5	2,43
V	5,51	6,1	2,70
VI	6,28	1,9	0,84
VII	7,0	0	0

Миллионы насекомых высасывают из растений соки, уродуют их галлами, наростами, опухолями, свертывают листья трубочками, оплетают паутиной, повреждают мякоть с поверхности, скелетируют листья, оставляя от них только сеть жилок, или целиком уничтожают. Они выгрызают хвою, проникают под кору, прячутся в корни, в почки будущих побегов и цветов и прокладывают свои червоточины, выедают ядро семян и сердцевину плодов, сверлят, минируют кору, продырявливают древесину стволов, веток, побегов, корней и т. п. (Халифман, 1963).

Ежегодно угрожают лесу совки, пяденицы, пилильщики, шелкопряды. Непарный шелкопряд повреждает чуть ли не 300 разных растений, начиная от клюквы и кончая мощными хвойными деревьями. Самки шелкопряда не летают, зато гусеницы в самом молодом возрасте, крохотного размера, покрытые длинными волосками, переносятся ветром на десятки километров и на новом месте за один год оголяют огромные площади. Фантастически прожорливые гусеницы соснового шелкопряда способны уничтожить миллионы гектаров леса. По численности зимующих яйцекладок непарного шелкопряда и количеству отложенных яиц решается вопрос о необходимости борьбы с вредителями леса. Допустим, что в среднем на 1 м<sup>2</sup> лесной подстилки в 40-летнем сосновом древостое найдено 20 куколок сосновой совки, а так как известно, что при 40 куколках на 1 м<sup>2</sup> наблюдается полное уничтожение хвои на деревьях, то при 20 будет уничтожено 50% хвои.

Приняв кормовую норму гусениц равной  $K$ , количество гусениц —  $A$  и обозначив массу хвои на дереве через  $M$ , можно установить процент ожидаемого повреждения деревьев в древостое по формуле

$$X = \frac{AK \cdot 100}{M} .$$

С вредителями ведется неустанная борьба. Селекционеры создают новые сорта растений — все более стойких против разнообразных вредителей и болезней. Агрономы изобретают приемы возделывания и выращивания культур, помогающие оградить урожаи от вредителей. На помощь приходит химия. За 2000 лет до нашей эры египтяне в борьбе против насекомых и грызунов употребляли серные соединения.

До второй мировой войны яды для борьбы с паразитами производились из натуральных органических соединений. Были получены новые сорта синтетических химикалиев, от которых погибали вредные насекомые. Наиболее распространен был дуст — ДДТ. Кроме этих химикатов, употреблялись и более ядовитые из ряда других органических фосфатов. Химики синтезируют все новые и новые яды, которые распыляются и разбрызгиваются на растения разными способами. Однако яды влияют не только на урожайность, но и на качество урожая, иногда вредны для животных и человека.

Р. Карлсон (1964) своей книгой «Умолкнувшая весна» вызвала в США настоящую бурю. Она собрала множество фактов, свидетельствующих о том, что производство и применение химических препаратов с непроверенным действием привело к страшным последствиям. Наряду с многими случаями, Карлсон упоминает и тот, который произошел в Мичиганском университете. Несколько лет назад над 185 акрами университетской земли звенели песни малиновок и трели соловья. Зоологи университета Д. Уолес и Менер, стремясь победить болезнь, поражающую голландский вяз, обработали участок химикалиями. Осенью листья опали вместе с мертвыми гусеницами. Их склевали птицы и отравились. И вот уже несколько лет пения птиц не слышно.

Там, где часто применяются яды, вредные насекомые приобретают устойчивость, а полезные — в массе погибают. Конечно, теперь еще нельзя отказаться полностью от химических методов борьбы, но необходимо их усовершенствование.

В лесах средних широт усердно защищают деревья муравьи. Еще в 1838 г. лесничий Петр Перелыгин писал, что муравьи являются истребителями личинок насекомых. Если около дерева имеется муравейник, ни одна личинка на этом дереве не уцелеет. Одна муравьиная семья в состоянии уничтожить всех вредных насекомых в радиусе 250 м, но муравьям заметный вред наносят пернатые и четвероногие животные.

В борьбе с насекомыми надо использовать биологические методы. Другими словами, необходимо использовать все средства, направленные на подавление вредной деятельности грибов и насекомых, разрушающих и уничтожающих древесную растительность. Рассеивая инсектициды, гербициды, фунгициды, нематосиды, пестисиды и другие вещества, мы не должны нарушать экологическую среду, способствующую процветанию растений, животных и человека.

Наряду с муравьями и птицами вредные насекомые уничтожаются микроорганизмами и грибами. Поэтому за последнее время разрабатываются микробиологические методы борьбы с ними.

Сейчас ученые приходят к мысли о необходимости внедрения физических методов уничтожения вредителей, в частности, использования звуковых установок.

О губительном действии на живой организм звука определенной частоты и интенсивности хорошо известно. Экспериментально установлено, что звуком можно без особого труда убить или разогнать насекомых. Однако в полевых условиях акустическую обработку можно провести лишь на небольшом участке. Если в определенном пункте организовать передачу аналогичных звуков, записанных на пленку, можно легко привлечь насекомых, а затем уничтожить их. Однако чтобы обработать достаточно большую площадь, потребуется большое количество источников звучания, что значительно усложнит и увеличит стоимость этого способа борьбы с вредителями. Видимо, следует идти по другому пути — трансляции особых сигналов, издаваемых самими насекомыми. Всем хорошо знакомы любовные серенады, исполняемые самцами кузнечиков, которыми они вызывают самок. Многие насекомые также расточают ультразвуковые комплименты. Особенно чувствительны к ультразвукам ночные бабочки, имеющие на груди и брюшке чрезвычайно чувствительные органы слуха.

Некоторые звуки насекомых являются сигналами тревоги и предупреждения об опасности. В этих случаях, особенно при большой интенсивности звуков, насекомые обращаются в бегство. Этот способ давно применяют при отпугивании птиц с аэродромов. Можно использовать метод глушения естественных сигналов. Это вызовет панику среди насекомых и затруднит встречу их или вовсе сделает ее невозможной.

Для борьбы с вредными насекомыми может быть использована микрофлора стволовых вредителей, включающая спороносные и неспороносные формы. Преимущества микробиологического метода борьбы определяются возможностями селективного воздействия на стволовых вредителей при одновременном сохранении хищных и паразитов, нападающих на насекомых.

В период втачивания и прокладки маточных ходов продолговатым короедом на живых деревьях токсическое воздействие защитной системы дерева ограничивает развитие большинства видов микроорганизмов. У здоровых деревьев, не заселенных вредителями, под корой микроорганизмы не развиваются. Их распространение сопряжено с ослаблением дерева и проникновением в него стволовых вредителей.

Анализ внешней микрофлоры яйца продолговатого короеда показал присутствие здесь лишь некоторых неспоровых форм бактерий и дрожжей. Аналогичная микрофлора обнаруживается и на яйцах малого черного елового усача. В литературе имеются сведения, что эти микроорганизмы стимулируют скорость созревания эмбриона.

Внутренняя микрофлора личинок младших возрастов очень сходна с внешней микрофлорой яйца, поскольку условия обитания на первоначальных этапах почти равнозначны. Спустя 12 дней после появления первых личинок под корой начинают развиваться неспоровые формы бактерий, которые попадают в кишечник насекомых вместе с частицами луба. Неспоровые микроорганизмы на первоначальной стадии отмирания дерева способны разрушать сложные углеводы и органические кислоты, которыми в этот период богаты ткани луба.

Дальнейшее развитие личинок протекает в условиях динамичного изменения биохимической структуры луба. После заселения деревьев короедами в его тканях значительно снижается количество жирных и смоляных кислот. Из-за углеводного голодания в 5—8 раз уменьшается содержание крахмала в дереве, резко падает количество моно- и дисахаров и в 3—4 раза снижается окислительно-восстановительный потенциал ферментативной системы. Изменения, возникшие в лубе, создают благоприятные условия для формирования более разнообразного комплекса микрофлоры за счет споровых форм (*Vacc. cereus*, *Vacc. megatcherium*, *Vacc. tesentericus*, грибов фузариум и пенициллиум). Деятельность спороносных бактерий связана с трансформацией относительно стабильных форм органического вещества, которое начинает преобладать в лубе после его деструкции неспоровыми формами бактерий. Успешное развитие споровых микроорганизмов на данном этапе (разрушение луба) определяется наличием у них мощного ферментативного аппарата, позволяющего использовать вещества, недоступные для неспороносных бактерий.

В фазе куколки в составе микрофлоры продолговатого короеда преобладают дрожжи, актиномицеты и микобактерии. Численность бактерий рода псевдомонас снижается в 3—4 раза, участие споровых бактерий, вследствие обогащения среды белком за счет отмерших спороносных бактерий, продолжает оставаться постоянным.



В составе микофлоры взрослых особей продолговатого короеда преобладают споровые бактерии рода бациллус. После полного разрушения дуба молодые жуки покидают дерево. Анализ указывает на преобладание в них споровых форм: *Bac. cereus*, *Bac. mesentericus*, *Bac. agglomeratus*. Взрослые формы служат как бы аккумуляторами и переносчиками определенного комплекса микофлоры. Такие же закономерности развития микофлоры отмечены у елового усача, лиственничного долгоносика и др.

Для перспектив биологической борьбы с вредителями леса представляет интерес присутствие у стволовых вредителей кристаллофорных бактерий из рода бациллус. По энтомолитогенным свойствам кристаллофорные штаммы, выделенные из жуков короедов, обладают инфицирующими качествами. Пища непарного шелкопряда, зараженная бактериями, выделенными из жуков короедов, вызывала смерть гусениц на 5—6-й день. Наряду с этим энтомопатогенная микофлора сибирского шелкопряда выделяется из гиподермы, кишечника, мальпигиевых сосудов, яичников и секреторных желез. От микроорганизмов свободны только гемолимфа и жировое тело здоровых особей.

Микофлора сибирского шелкопряда и его паразитов представлена в основном спороносными бактериями из рода бациллус, в меньшей степени неспороносными бактериями из рода бактериум, *Pseudomonas* и *Mycobacterium*, в незначительном количестве — дрожжами из рода дебариомицетез.

Максимальное количество микробов отмечается в последнем возрасте личиночной стадии, наименьшее в стадии бабочек. В организме сибирского шелкопряда и его паразитов (паразитических мух и наездников) обнаруживаются патогенные формы бактерий.

На изменение численности микроорганизмов сибирского шелкопряда влияют внешние факторы (пищевой, световой, температурный режим, влажность воздуха) и внутренние физиологические факторы (линька, окукливание, гистолиз).

Немалое значение в снижении численности вредных насекомых имеют гельминты, паразитирующие во вредных лесных насекомых. Кишечные обитатели у хозяев с коротким кишечником, быстро переваривающих пищу,

выбрасываются во внешнюю среду, не оказывая на них заметных вредных влияний. Только в отдельных случаях при скоплении энтомогельминты разрывают кишку некоторых насекомых (усачи и др.). Многие черви, живущие в насекомых (спируриды, филярииды и др.), представляют большую опасность не для них, а для позвоночных животных. Большую опасность для насекомых представляют эндопаразиты, питающиеся кровью и жировым слоем хозяина, мигрирующие из одних органов в другие. К группе этих паразитов относятся мермитиды и рабтитиды (Положенцев, 1965).

Паразиты, попавшие в насекомое, проникают в полость тела и начинают развиваться, достигая нескольких сантиметров, а затем выходят наружу и размножаются.

В почве гельминты также поражают насекомых, ограничивая их массовое размножение (майский жук и др.).

Почвенных насекомых поражают также мелкие гельминты из отрядов рабфитид и тиленхид. Гельминты из рода неоаплектана поражают личинки хрущей, долгоносиков, плодоярок и др.

Насекомые, пораженные нематодой, погибают через 16—24 часа. В одной личинке насекомого вмещается 100 тыс. личинок нематод.

Насекомые, зараженные гельминтами, сильно истощаются, перестают прокладывать ходы и неоднократно повторяют дополнительное питание. Нередко от гельминтов погибает 60% личинок майского хруща и 70—100% гусениц непарного шелкопряда, 96% — большого и малого сосновых лубоедов, 95% — соснового долгоносика. Учитывая это обстоятельство, П. А. Положенцев рекомендует использовать гельминты для борьбы с вредными насекомыми.

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ, ЛЕСА И НАСЕКОМЫХ**

Под зеленым плащом леса и в кронах деревьев обитают многочисленные и разнообразные позвоночные животные. В лесу большое количество птиц, лосей, пятнистых оленей, белок и различных хищников. Все животные

тесно связаны с окружающей лесной средой. Звери и птицы, живущие в лесу, существенно влияют на растительность, подстилку, почву и один на другого. В свою очередь и сами животные зависят от леса, так как растительность служит для многих пищей, а травоядными животными питаются хищники. Растительноядны и многие птицы. К их числу относятся клест, еловик, дятел, поползень, кедровка. Осенью рябиной, калиной, шиповником, крушиной и черемухой питаются дрозды.

◀ Некоторые птицы выбирают из подстилки насекомых, например вальдшнепы — птицы с красивыми черными глазами и характерным длинным клювом. На конце клюва вальдшнепа небольшие бугорки, покрытые мягкой кожей. Между бугорками есть темные ямки со скоплением мелких нервов. Благодаря им птица обладает тонким осязанием, позволяющим при втыкании клюва в землю улавливать ничтожнейшие сотрясения, производимые живущими в земле червяками и насекомыми. Охотится за почвенными животными и удо. Он поедает мух, жуков, окукливающихся в лесной подстилке. Собирает личинок с земли лесной конек и ряд других птиц.

Многие птицы питаются семенами древесных пород. В годы массового размножения мышей-полевок значительная часть урожая семян, не съеденная птицами на деревьях, уничтожается на земле мышами. Часто в дубравах мышевидные грызуны растаскивают желудки, посеянные под пологом леса или на вырубках. Уничтожают мыши и буковые орешки. Семенами питаются и крупные дикие животные, например кабаны, олени и медведи. Кабан может съесть за один раз более 15 тыс. буковых орешков, или 1800 орехов лещины, или 1200 желудей или 400 диких груш.

Птицы и грызуны истребляют много древесных семян, сбивают 90% кедровых шишек. Из общего количества семян птицами уничтожается от 25 до 75%, белкой до 17%; мелкие грызуны истребляют до 85% семян, осыпавшихся на землю.

Около 38% сосновых шишек сбиваются птицами, белка уничтожает 24% всех осыпавшихся на землю семян, а мелкие грызуны — до 2% общего урожая.

Из опавших на землю лиственничных семян 10—40% уничтожается птицами и 18—40% истребляется мелки-

ми грызунами. Еловые шишки сбиваются в количестве, достигающем до 98% от общего урожая. Дубовые желуди и буковые орешки, осыпавшиеся на землю, поедаются мелкими грызунами.

Вместе с тем звери и птицы способствуют распространению не только легких семян, но и тяжелых желудей, буковых и кедровых орешков. Дрозды в большом количестве переносят семена рябины, черемухи, крушины, бузины, терновника, боярышника, кизила и многих других.

Лесная подстилка, благоприятно влияющая на водный режим почвы и способствующая образованию ее зернистой структуры, осенью рыхлится птицами. Особо деятельную работу проводит черный дрозд.

Основной пищей белок служат семена хвойных: ели, сосны, лиственницы, пихты и кедра, а также желуди, грибы (базидиальные и пластинчатые), древесные трутовики, цветочные почки многих древесных пород и даже висящие на деревьях лишайники. Летом белка питается созревающими ягодами, ест птенцов, яйца птиц и даже насекомых. Сама белка служит пищей ястреба-тетеревятника, лесной куницы и ряда других хищных животных, а ее запасы истребляются медведями, кабанами, бурундуками, мышевидными грызунами, дятлами, клестами, кедровками и кукушками. Бурундук служит пищей соболя, а мышевидные грызуны поедаются лисицей, горностаем, куницей, сободем, норкой, лесным хорьком, барсуком, лаской, дневными хищными птицами (сарыч, лунь, пустельга, кобчик). Лесной хорек нападает на зайцев и сурков, ловит птиц, лягушек и домашнюю птицу.

Медведи охотятся на крупных животных, включая лося; питаются и растительной пищей: молодыми листьями осины, ангеликой, сальвестрис, рябиной, клюквой, малиной, кедровыми орехами, дикими фруктами и т. п.

На долю птиц много забот выпадает во время гнездования. Чтобы выкормить прожорливых птенцов, им приходится с раннего утра до позднего вечера собирать насекомых. Продолжительность рабочего дня птиц-родителей колеблется от 17 до 20 часов в сутки.

Разные виды лесных птиц поедают разных насекомых. Даже один вид в процессе воспитания кормит птенцов разной пищей. Например, птенцы большой си-

Птицы в первые дни получают кашницу из размельченных яичек бабочек и мелких личинок пауков. Через 7—8 дней они питаются крупными науками, вернее содержимым их брюшка, а в период оперения — голыми и волосатыми гусеницами, бабочками и личинками жуков. Таким образом, изучение развития птиц позволяет дать исчерпывающую характеристику питания каждого из видов и уяснить, какую пользу они приносят для леса. Такое изучение могло бы позволить наметить пути для разработки биологических методов борьбы с вредными насекомыми. Цифры потребления насекомых свидетельствуют о высокой интенсивности уничтожения птицами вредителей. Например, суточные нормы поедания насекомых пестрого дятла в Воронежской области 28.V составляли 693 гусеницы, поползля — 309 и черного дрозда — 162 (Королькова, 1963).

Большое количество кормов на лесосеках и обилие семян мелколепестника канадского (190 млн. шт/га), юота (320 млн. шт/га) и других видов привлекает много различных насекомоядных и растительноядных птиц. Здесь можно часто встретить таких птиц, как жаворонок, овсянка, белая трясогузка, лесной конек, пеночка-грешотка, садовая славка, соловей и др. В наземном ярусе обычно кормятся перепел, вальдшнеп, козодой, а из крупных насекомоядных птиц — сизоворонка. Большое количество кормящихся здесь птиц привлекает ястреба-перепелятника.

В жердняках после вылета птенцов остаются зяблик, овсянка, лесной конек, длиннохвостая синица, садовая славка, но летом жердняки очень бедны птицами. В спелых и перестойных древостоях особенно много птиц, разыскивающих корм в кронах. Крупными гусеницами здесь питаются кукушки, иволги и сойки. Пеночки ловят молей, мелких жуков, комаров. Поползень собирает насекомых по стволам, а в конце лета — орешки лещины.

Один какой-либо вид насекомых или животных, находящийся в определенном месте кормовую базу, служит пищей для других видов насекомых, птиц или крупных животных. Появление в массовом количестве непарного шелкопряда вызывает обильное размножение мух-тахин, наездников и других паразитов. Очаг размножения полезных и вредных для леса насекомых привлекает

птиц: иволгу, кукушку, скворца, сизоворонку, дятла, пищуху, ореховку и др.

В общей сложности в дубовом лесу насчитывается до 41 вида птиц, которые уничтожают гусениц насекомых-вредителей. Наряду с непарным шелкопрядом птицы истребляют значительное количество других вредных насекомых, в частности дубовую листовертку и гусениц совки. Дятлы и пищухи поедают короедов и лубоедов. Кроме того, дятел охотится за усачами, проникающим глубоко в древесину. Малый пестрый дятел приносит птенцам до 710 гусениц дубовой листовертки, или 47% всего потребляемого ими корма.

Роль птиц в уничтожении гусениц вообще и непарного шелкопряда в частности огромна. Кукушка — исключительно насекомоядная птица. Она питается гусеницами бабочек, не исключая волосатых, в том числе гусеницами дубового и соснового шелкопрядов. Интересно, что большой пестрый дятел из 266 приносов корма птенцам в 53% случаев доставил гусениц непарного шелкопряда (в среднем за один принос 4,5 шт.). Очень активную роль в уничтожении вредных насекомых играют поползни, черный дрозд, длиннохвостая синица, грачи, сороки и другие птицы. Иволга питается гусеницами пяденицы, бражника, шелкопрядов. Кроме упомянутых, многие птицы уничтожают бабочек и куколок непарного шелкопряда. Пеночки питаются гусеницами пяденицы и хохлаток.

При незначительной численности бабочек и куколок на участке наибольшее количество их приносит певчий дрозд, затем соловей и садовая славка; значительно меньше потребляют их соропут, кулан, овсянка и горихвостка. Птицы никогда не уничтожают всех насекомых. Они только частично уменьшают их численность.

Необходимо создавать специальные условия для птиц, способствующие повышению их биологической активности. Следует привлекать птиц в искусственные гнездовья.

Оценка деятельности птиц представляет сложную задачу. В данном случае понятия «польза и вред» очень относительны. То, что полезно для одного хозяйства, вредно для другого. Обыкновенного канюка лесоводы считают полезной птицей за истребление мышей, а охотник ту же особь считает вредной. Клест из-за расточи-

ельного уничтожения шишек бесспорно вреден для лесного хозяйства. Зато белка использует из сброшенных шишек здоровые семена для питания. Вообще говоря, абсолютно полезных птиц не бывает. Пеночка, собирающая мелких гусениц с листы, безусловно, полезна, но она поедает и пауков, которые полезны деревьям.

Главная роль в уменьшении численности грызунов после их массового размножения принадлежит абиотическим факторам, а не хищникам или эпизоотиям. Не входя в критику этих взглядов, мы едва ли погрешим, если будем считать, что птицы, по меньшей мере, существенно ускоряют падение численности грызунов.

Многие птицы уничтожают и мышевидных грызунов, причиняющих вред лесным культурам лиственных пород, особенно дубу: желтогорлую мышь, рыжую полевку, лесную и полевую мышей и серую полевку. Из них наибольший вред причиняют желтогорлая мышь и рыжая полевка. Они распространены всюду и повреждают много всходов и особенно семян.

Численность мышевидных грызунов зависит от количества перезимовавших особей и интенсивности их размножения в весенне-летний период, что связано с урожаем семян предыдущего года и с условиями погоды в зимний и ранневесенний периоды.

Учеты показывают, что от 20 до 55% всходов повреждается животными, причем разные древесные породы претерпевают повреждения в неодинаковой степени: клен остролистный — на 55, липа — на 42, клен полевой — 39% и ясень — на 19%.

В природных условиях чем выше захламленность площадей, тем больше численность мышей на единице площади и тем больше они уничтожают семян.

Уцелевшие семена весной всходят. Однако и в этой стадии самосев значительно повреждается мышами. В отдельные годы уничтожается до 90% семян дуба (в среднем 66%).

У мышевидных грызунов немало врагов. Из пернатых следует назвать сарыча и сову неясыть; из хищных зверей лисицу, лесную куницу, ласку, горноста, норку, хорьков — степного и обыкновенного. Лисица в основном питается млекопитающими, чаще всего мышами: полевка составляет 41% случаев, лесная соя 0,4%, зай-

цы весной составляют 18% и зимой 56%. Весной лисица истребляет и птиц (8,3%), летом она питается насекомыми: из них на долю жуков приходится 92%, в том числе пластинчатоусых 62% (хрущи 20%). Всего лисица поедает до 95 видов насекомых, из них около 25 полезных.

Куница в основном истребляет грызунов (79% встреч). Полевки численно преобладают над мышами, они составляют 65% от всех мышевидных. Из насекомых куница чаще всего поедает жуков.

Наряду с перечисленными животными, существенно влияют на лес копытные. В некоторых районах они серьезно препятствуют естественному и искусственному лесовозобновлению. Вредная деятельность лосей и пятнистых оленей сводится к сплошной порче молодняков естественного происхождения и посадок. Особенно сильно повреждаются сосновые и дубовые посадки. Любимое место обитания лосей и оленей в дубовых лесах — молодняки I и II классов возраста. Лоси объедают кору дубков на высоте 2 м, но длине до 0,7 м и по окружности в размере  $\frac{3}{4}$  и более периферии ствола. У молодых дубков 5—6-летнего возраста они обкусывают верхинки.

Питаясь сосной и рябиной, лоси съедают за зиму 8% биомассы подроста кормовых пород. Около двух третей съеденной ими биомассы возвращается на поверхность в виде экскремента и только треть расходуется на покрытие энергетических затрат организма.

При плотности населения лосей 3 особи на 1 км<sup>2</sup> вес съеденных ими побегов выражается десятками килограммов на 1 га, а с учетом годовичного прироста и онада древесных пород — тоннами на 1 га.

Как видим, в природе живые организмы связаны между собой в очень сложные системы, известные под названием цепей питания. Такие цепи обычно состоят из нескольких звеньев, которые идут от растения к животным.

Растение, пока оно живет, сохраняет большую часть своих тканей, хотя значительная часть их переходит в цепи питания животного мира. Но, видимо, больше материала переходит после гибели растения, а также с опадающими листьями.

Если бы дело обстояло иначе, мы не видели бы сплошной зеленой растительности, жизненная база всех био-



Таблица 8. Биомасса основных групп животных Теллермановского леса (сухой вес, по Корольковой, 1963)

Группа животных	Биомасса, кг/га	
	животных	пищи, поедаемой ими в течение года
Копытные	1,3	187,0
Мыши и полевки	0,9	247,0
Белки и зайцы	0,1	1,7
Мелкие хищные млекопитающие	0,1	0,1
Порочные	0,1	0,3
<b>Итого</b>	<b>2,5</b>	<b>435,4</b>
Мелкие птицы (воробьиные, дятлы пр.)	0,2	16,7
Хищные птицы	0,1	0,4
<b>Всего</b>	<b>2,8</b>	<b>452,5</b>

сообществ была бы ненадежной и существование целых сообществ оказалось бы весьма непрочным, чего нельзя сказать о большинстве природных биоценозов.

Биомасса основных групп животных в дубовых лесах лесостепной зоны очень мала, зато пища, поедаемая ими в течение года, по сравнению с весом животных значительна (табл. 8).

Животные выступают либо в роли врагов растений, уничтожающих большее или меньшее количество особей, отдельных их органов, либо в роли симбионтов, которые, поедая те или иные части растений, одновременно переносят пыльцу, способствуя перекрестному опылению.

Вред, наносимый растительными животными в различных зонах при поедании семенных кормов, сочетается с вредом, наносимым ими при уничтожении вегетативных частей растений.

В результате длительного воздействия на растительный покров животные способствуют смене ранее существовавших сообществ новыми. Особенно велика в этом отношении роль копытных, если численность их на единице площади не соответствует кормовым ресурсам.

Крупные млекопитающие — потребители растительной массы — встречаются в большом количестве в хвойных, смешанных и широколиственных лесах умеренного пояса (лось, олени, косули, лани).

В жизни различных животных огромную роль играет способность различать цвет. Он помогает им находить пищу, прятаться от врагов и сохранять потомство. Яркая окраска ягод и плодов, как и их сладкий вкус, привлекают птиц и животных, которые затем распространяют со своим пометом семена растений. Очень яркая, пестрая окраска некоторых растений и животных служит как бы сигналом их несъедобности, поэтому их называют отпугивающей. Но есть и такие, которые могут приобретать окраску, очень похожую на отпугивающую. Поэтому, например, плоды бузины, красной жимолости, волчьего лыка и других растений, отличающихся ядовитыми свойствами, птицами и другими животными не поедаются.

Особенно выделяются на фоне зелени ярко-красные поляны земляники и костяники. В августе пестрит под пологом сосны темно-красная брусника, а на болотах среди белых мхов с розоватыми головками разбросана темно-красная клюква. Все это привлекает не только птиц и животных, но и человека.

Ягоды занимают значительное место в пищевом рационе человека. Они подаются на стол свежими, сушеными, мочеными, в виде сиропов, варений и освежающих напитков. В ягодах содержится фосфорная кислота, кальций и железо. В них обычно много воды и небольшая доля сухого вещества. В чернике 86,5% воды, сухой остаток равен 13,5%, сумма сахаров 4,7%. В голубике сухой вес составляет 13,7%, вода 86,3, сумма сахаров 6,4%. Сухой вес брусники 15,16%, воды 84,84, сумма сахаров 7,16%.

В чернике содержится витамин А, его вдвое больше, чем в молоке. Витамином С богаты черная смородина, малина, морошка, рябина, шиповник и меньше — черника и брусника.

Запасы ягод еще до сих пор недостаточно выявлены и уточнены. В Ленинградской области урожайность клюквы определяется в 625—800 кг/га; в Архангельской и Вологодской областях — от 100 до 1000, в Коми — от 150 до 2900 кг; урожайность брусники — от 150 до 2000

черники — 100—2000; голубики — 140—1200; морошки — 60—3600, малины — 180—2500, земляники — 100—2000, черной смородины — 200—1500, облепихи — 500—3500 кг/га.

Урожай брусники, черники, морошки и клюквы изменяются в связи с изменением типов леса.

Богаты брусникой сосновые боры, брусничники, долгомошники и бруснично-черничники. Очень слабые урожаи брусники в сосняках сфагновых. Черника, естественно, дает наиболее обильные урожаи в сосняках и ельниках-черничниках, несколько меньше — в долгомошниках. Большие урожаи малины отмечаются среди ветровальников, древесина которых разрушилась до второй стадии и более. Клюква отличается наибольшей урожайностью в сосняках сфагновых, а морошка — в сосняках и ельниках-долгомошниках и по окраинам сфагновых сосняков и ельников, а также на чистых болотах. Наибольшая урожайность брусники бывает в изреженных древостоях сомкнутостью от 0,2 до 0,5 включительно, а черники — при сомкнутости древостоев от 0,4 до 0,7. На урожай этих двух видов ягод вредное влияние оказывают заморозки. Хорошие и средние урожаи брусники и черники на севере отмечены через 2—3 года.

Ягоды — продукт питания боровой дичи. Их любят рябчики, тетерева, глухари и другие птицы. Во время созревания ягод медведи приходят кормиться черникой и брусникой.

## ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ

Большой вред лесу причиняют лесные пожары. Они могут начаться спустя две недели после исчезновения снега, при возникновении антициклона и сухом южном ветре. При такой погоде на вырубках быстро высыхают старая трава, моховой покров и мелкие ветви.

При неосторожном обращении с огнем на возвышенных местах появляются синеватые дымки, а вскоре желто-красное пламя. Оно неторопливо лижет порыжевшую старую траву. Огонь идет по траве не снеша, прячется в ложбинке, затем снова появляется на пригорке, оставив за собой извилистый черный след. На бугорке он уничто-

жает траву и мелкие ветви. Бросается в сторону, но встретив препятствие, снова прячется. Это первая стадия пожарной опасности в лесу, первое настоятельное предупреждение. Необходимо незамедлительно организовывать оперативную борьбу с пожаром, к которому лесоохрانا должна быть всегда готова.

Проходит еще три дня и от былой кротости огня не остается и следа. Огонь, возникший на иссушенной подстилке в прогалинах, быстро пожирает старую траву. Извилистыми путями он добирается до вырубki, усеянной сучьями, брошенными вершинами, валежником. Огненный поток налетает на хвойный подрост, языками лижет бархатистые корни, со свистом и гулом устремляется вверх. Через мгновение темно-зеленый наряд листьев рыжеет. Еще мгновение — и на деревьях вместо темной зелени торчат во все стороны обгоревшие ветви.

Через час вместо зеленеющей вырубki остается черный уголь и кое-где клубящиеся синие зловещие дымки. Огненная стихия докатывается до леса и, замедлив движение, идет по микроповышениям в глубь леса. Зайдя в густой лес, она притихла и спряталась, оставив за собой синие дымки. Это — вторая стадия пожарной опасности.

Дождя давно нет. Спрятавшись в ближних гнилых пнях и колодицах, огонь постепенно пожирает трухлявую гниль, затем небольшим пламенем выбегает на лишайник. Вскоре огонь начинает облизывать вереск, доходит до молодой сосенки, охвоенной до земли. Пламя с шумом и треском взвизгивает вверх. Деревцо черным скелетом остается стоять на такой же черной, обуглившейся земле. Огонь идет дальше, добирается до зеленомошника, достигает елового подростa и с ревом охватывает его. Смоляные ели дымятся, сверкают золотом углей, шевелятся, как живые, листья на березах быстро вспыхивают и гаснут. Сосны загораются медленно, но затем пылают ярче других деревьев. Моховые болота играют зловещим оранжевым светом. Валяются деревья. Все кругом сереет, покрывается рыжей ржавчиной, рассыпаются зеленова-то-красные искры. Черный с белесыми клубами дым, пронизанный кроваво-красным пламенем, с ревом, свистом и рокотом мчится вперед. Через полчаса на месте веселого шумевшего зеленого леса стоят обуглившиеся стволы ели и сосны с порыжевшей и почерневшей хвоей. Огонь свиристует в лесу, затем опускается на землю, лижет!

языками подрост и разбрасывает искры по сторонам. К вечеру он затихает, а ночью еле-еле продвигается вперед.

Пожар продолжается несколько дней, иногда неделю. Скорость распространения его очень изменчива. Она колеблется от десятых долей метра до 6—7 км в час. Столь сильные изменения скорости движения пожара связаны с временами года, с часами суток, относительной влажностью воздуха, видом и влажностью горящего материала, скоростью ветра, сомкнутостью древостоя, его захламленностью, типом леса и мощностью подстилки.

В среднезахламленных древостоях сомкнутостью 0,5—0,6 при скорости ветра 11 м/сек скорость распространения пожара днем 5—6 м/сек и 0—0,1 м/сек ночью; при относительной влажности воздуха 30% — днем 600, утром и вечером 300 и ночью 30 м/час; при влажности

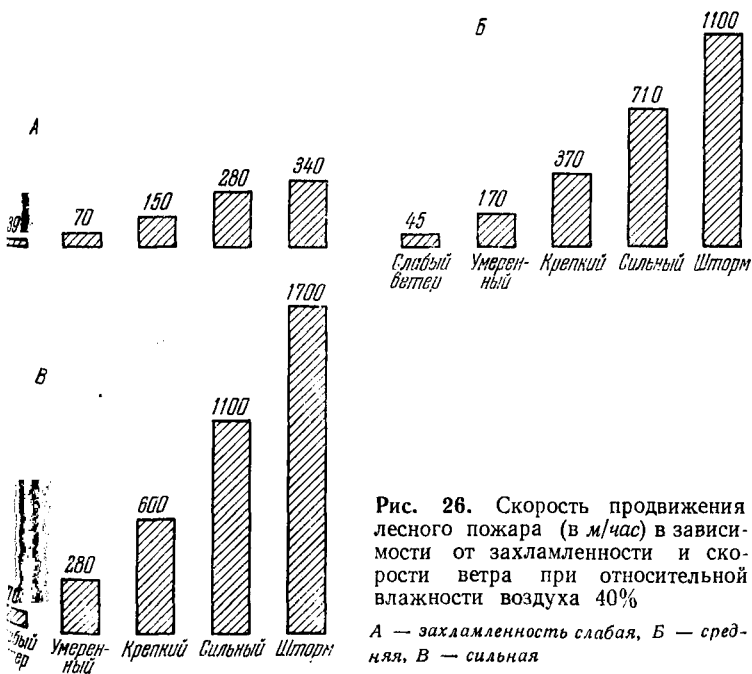


Рис. 26. Скорость продвижения лесного пожара (в м/час) в зависимости от захламленности и скорости ветра при относительной влажности воздуха 40%

А — захламленность слабая, Б — средняя, В — сильная

50% днем 200, утром и вечером — 150 и ночью — 10 м/час; при 70% — днем 60, утром и вечером 30 и ночью 4 м/час. О распространении пожара днем в древостоях сомкнутостью 0,5—0,6 при относительной влажности 40% можно судить по рис. 26.

Условия произрастания и типы леса в таких случаях имеют большое значение. В сухих сосновых борах-верещатниках пожар распространяется в 1,4 раза быстрее, чем в зеленомошных, в ельниках-зеленомошниках его скорость составляет 0,6, в ельниках-долгомошниках 0,3 и в сфагновых сосняках 0,1 скорости в сосняках верещатниках.

Указанные скорости характерны для устоявшейся засушливой погоды. Спустя 10 дней после обильных дождей или после исчезновения снега пожар проходит на сплошной лесосеке и в редицах в 2,5 раза, в древостоях полнотой 0,3—0,4 — в 5,5 раза, и при полноте 0,7—0,8 — в 90 раз медленнее.

Пожары, охватывающие большие территории, повреждают насаждения неравномерно. Об этом можно судить по данным табл. 9.

Таблица 9. Распределение площадей по степени повреждения пожаром сосновых и еловых древостоев, %

Порода	Отпад по запасу, %				Средний % отпада
	5	25	55	85	
Сосна	51	16	11	22	31,8
Ель	4	3	47	46	65,0

Днем пожары охватывают 47—58, утром — 21—24, вечером — 13—23 и ночью — 5—9% площади, охваченной пожаром в течение суток.

Отпад из древостоя после пожара по массе уменьшается с увеличением полноты и уменьшением захламленности площади (табл. 10). Высокая относительная влажность воздуха, низкая температура и безветрие в полных древостоях ослабляют интенсивность пожара. В редких древостоях обстановка для возникновения интенсивных пожаров благоприятнее, так как здесь более сухо и ветренно.

Т а б л и ц а 10. Степень повреждения древостоев от пожара, % от общего запаса древостоев

Захламленность древостоев	Сомкнутость древостоев		
	0,3—0,4	0,5—0,6	0,7—0,8
Слабая	15	10	5
Средняя	24	21	13
Сильная	51	35	—

Полные насаждения, прилегающие к рединам и прогалинам, расположенные с наветренной стороны, как правило, сильно повреждаются пожаром.

В ночные часы более низкая температура воздуха, бóльшая относительная влажность и обычно меньшая скорость ветра обуславливают пожар меньшей интенсивности. Как и следовало ожидать, наименьший отпад приходится на ночные часы. Повреждение пожаром древостоев в утренние и вечерние часы более или менее одинаковое.

Разновозрастные древостои, состоящие из нескольких пологов, вклинивающихся один в другой, повреждаются пожаром сильнее, чем насаждения простой формы. Это вызвано тем, что пламя горящего мха и подроста, перейдя через второй ярус в первый, захватывает кроны деревьев. В данном случае пожар, в отличие от пожара в простых древостоях, по виду приближается к верховому.

Степень повреждения соснового леса изменяется также в зависимости от возраста древостоев. Наибольшей устойчивостью против пожаров отличается лес в спелом возрасте. В этот период в слабозахламленных древостоях отпад не превышает 10% общего запаса; в среднезахламленных 22% и сильнозахламленных 36%. Перестойные древостои повреждаются несколько сильнее спелых. Сильные повреждения пожары наносят молоднякам.

Менее устойчивы против пожаров еловые древостои. Даже будучи слабозахламленными, они после пожаров, прошедших утром, дают отпад до 38, а ночью — до 22% общего запаса ели. Еловые древостои почти во всех типах леса повреждаются при дневных пожарах. Исключением представляют влажные черничники и долгомошники.

В слабозахламленных сосняках бора-брусничника отпад равен 16, в лишайноково-мшистом — 22, в черничнике — 12 и в сосняке сфагновом — 6% запаса сосны.

Усыхание древостоев происходит в течение 5 лет. В среднеповрежденных сосновых древостоях этот процесс протекает следующим образом: если во время пожара погибло 18% общего запаса, то через 1—3 года — 8%, через 3—4 года — 5,1% и через 4—5 лет — 4%. В ельниках усыхание поврежденных деревьев идет интенсивнее. Например, если в год пожара погибло 1%, то спустя год — 6, спустя 1—3 года — 38 и спустя 3—5 лет — 15%.

### **СОВОКУПНОСТЬ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ДРЕВОСТОЕВ**

Источником энергии для прироста древесины служат свет и лучистая энергия, а материалом, обеспечивающим высокий урожай, — вода, кислород, углекислота и питательные вещества. В основном пять компонентов (свет, тепло, вода, воздух и питательные вещества) гарантируют жизнь и продуктивную работу зеленого растения. Обеспечить необходимые для жизни растений условия можно искусственным путем — в вегетационных опытах — и частично в природе — в посадках древесных пород. В природных условиях существует ряд косвенных факторов, влияющих на продуктивность древостоев. К ним следует отнести строение почвы, прочность структурных отделностей, биологическую деятельность в почве и интенсивность разложения в ней органических веществ, состав надпочвенного воздуха.

Большую роль играют и отрицательные компоненты. К их числу следует отнести вредителей из мира насекомых, грибные и вирусные заболевания, сорную растительность, вредные газы, выделяемые промышленными предприятиями, лесные пожары, и т. п.

Больше всего, в весовом отношении, растению требуется воды. Вода составляет 75—95% сырого веса, т. е. от тройного до двадцатикратного веса сырой массы, созда-



ваемой за вегетационный период. Однако это количество далеко от действительно потребляемого и расходуемого растениями при испарении. Расход на транспирацию в 300—800 раз больше единицы сухого веса органического вещества, создаваемого растением.

Кроме воды, главнейшей составной частью растения является углерод, дающий значительную часть сухой массы урожая. В переводе на углекислоту — единственный источник углерода — это составляет 1,85%.

Другая часть воздуха — кислород — потребляется растением также в больших количествах. Надземные части растений вполне удовлетворяются кислородом, но обеспечение подпочвенных органов, требующих в сутки 1 г кислорода на 1 кг урожая, полностью зависит от его запасов в почве и требует больших забот лесовода.

Третья составная часть воздуха — азот — для большинства растений, кроме бобовых, недоступна. Для обогащения почвы этим элементом следует прибегать к минеральным удобрениям или посадкам люпина.

Питательные вещества, извлекаемые растением из почвы, в сумме редко превышают 10% сухого веса урожая, но они являются существенными элементами в жизни растений. При недостатке любого питательного вещества первоочередная задача — внесение его в почву.

Если роль основных факторов как источников энергии или материалов для построения органического вещества ясна, то гораздо менее изучена роль косвенных факторов, которые очень часто имеют решающее значение.

Почва, как среда обеспечения растений необходимыми веществами, не всегда обладает благоприятными свойствами. Например, содержание воды и воздуха в почве в оптимальном соотношении возможно лишь при определенных физических свойствах. Водопроницаемость, способствующая накоплению влаги, своевременное поступление влаги по капиллярам к корням растений, уменьшение испарения из почвы, циркуляция воздуха в почве — все это возможно лишь при соответствующей структуре почв. Ни в плотной, ни в глыбистой почве указанные процессы из-за малой порозности нормально протекать не могут. Это и заставляет считать строение почвы самостоятельным, хотя и косвенным фактором жизни растений. В настоящее время имеется ряд путей для создания благоприятной структуры почвы. В числе их следует назвать

внесение органических удобрений, обладающих коллоидными свойствами. Органические удобрения способствуют также образованию легкоусвояемых форм пищи и обогащают почву углекислотой.

Последний из косвенных факторов — биологическая деятельность почвы — имеет исключительно большое значение. Она, как и все косвенные факторы, регулирует плодородие.

Наибольшие успехи в настоящее время достигнуты в обеспечении растений влагой. Почти на всей территории Советского Союза с количеством годовых осадков свыше 300—350 мм при рациональном регулировании водного режима можно обеспечить влагой сельскохозяйственные и лесные земли, переводя поверхностный сток во внутрпочвенный.

Лес, потребляя громадное количество воды из почвы, иссушает ее, как и всякая растительность. Но это касается главным образом глубоких слоев почвы, а создаваемая в лесу влажная атмосфера предохраняет поверхность почвы, водоема, реки. Лес способствует увлажнению воздуха, уменьшению тем самым расхода влаги растениями, охраняет поля от иссушающих ветров, способствует снегонакоплению, уменьшению стока и т. д.

Резко отрицательное влияние застаивания воды на поверхности почвы ставит плодородие почвы в тесную зависимость от ее водопроницаемости, от которой зависит избыточное увлажнение или сухость почвы.

Почва содержит питательные вещества, большая часть которых находится в неусвояемой форме. Ускорением процессов разложения органического вещества и усилением биологической деятельности в почве с образованием доступных растению питательных веществ можно обеспечить на должном уровне содержание почвенного кислорода, углекислоты и минеральных веществ. Кардинальная мера воздействия на эти компоненты — рубки ухода.

Главным путем повышения урожая древесины является наиболее полное использование солнечной энергии и сокращение непроизводительной траты ее на испарение.

Для создания 1 г сухого вещества растения требуется на построение молекул органического вещества — около 0,5 г, для создания сырой массы урожая — 5 г, для растворения всех зольных составных частей 50 г, на транспирацию — 500 г воды.

Все факторы, влияющие на рост растений, одинаково необходимы в биогеоценозе, и ни один из них не может быть заменен другим. При недостатке какого-либо одного компонента рост леса может ухудшиться. Наряду с этим количественные изменения одного компонента могут влиять на изменение взаимоотношений отдельных факторов.

Например, обильное питание фосфором двояко влияет на уменьшение количества потребляемой воды: с одной стороны, оно несколько уменьшает листовую массу и транспирацию растений, с другой — сокращает вегетационный период из-за ускорения созревания. Избыток воды в почве влияет на содержание в ней кислорода, подавляет рост корней и всего растения. Если причиной низкой продуктивности является недостаток влаги в почве, никакие удобрения не в состоянии повысить урожай. При недостаточном количестве фосфора в почвах продуктивность древостоя не повысится даже при обильном внесении азотных удобрений. Если в почве наблюдается повышенная кислотность, то продуктивность древостоя не может быть увеличена до тех пор, пока она не будет устранена внесением извести.

При обеспечении древостоев всеми компонентами возможно повышение урожая древесины до максимальной величины, при которой определяющим фактором явится лишь приток солнечного света.

Если один и тем более несколько компонентов биогеоценоза имеются в минимальном количестве, условия роста древостоя сильно осложняются и продуктивность древесных пород ухудшается. Можно сказать, что в содержании каждого компонента в биогеоценозе есть свой оптимум. Отклонения от него будут вызывать снижение продуктивности древостоев, вплоть до полного прекращения роста при минимальной его величине, а также за пределами некоторого губительного максимума.

Для примера рассмотрим значение температуры воздуха. Очень слабый рост наблюдается при температуре 1—3°, по мере ее повышения энергия роста возрастает, но при температуре 40° и выше растение развивается слабее.

Оптимум обеспечения растений водой в почве находится в пределах 60% полной влагоемкости, при уменьшении влажности почвы снижается прирост, а при уве-

личении затрудняется доступ в почву воздуха, необходимого корням — прирост древесины снижается.

Оптимальное освещение для большинства растений выражается несколькими тысячами люксов (3000—8000). Более интенсивное освещение плохо сказывается на росте растений.

Максимальная продуктивность растений возможна лишь при определенном осмотическом давлении почвенного раствора — около 3 атм. В районах большого увлажнения почв осмотическое давление обычно ниже 1 атм. В более сухих областях оно поднимается значительно выше оптимального.

Для всестороннего и рационального использования природных ресурсов необходимо детально изучить закономерности развития растительного и животного мира, причем не оторванно от других явлений природы, а в диалектическом единстве с окружающей атмосферой, почвой, водой. Такое единство В. Н. Сукачев предложил называть биогеоценозом. За рубежом его называют экосистемой.

Изучение биогеоценоза в динамическом разрезе позволит наметить наиболее нужные хозяйственные мероприятия, дающие возможность увеличить продуктивность существующих природных биогеоценозов.

Изучение биогеоценозов должно осуществляться комплексно, с широким применением стационарных экспериментальных методов, позволяющих наметить пути развития биогеоценозов более высокой продуктивности.

Комплексное изучение должно выявить суточные изменения биологической массы и ее полезной роли для различных компонентов биогеоценоза, а также процессы накопления и превращения вещества и энергии. При этом должны учитываться и меры воздействия человека на биогеоценозы и вызываемые им смены. Необходимо также выяснить баланс вещества и энергии как в целом по биогеоценозу, так и по отдельным его компонентам.

Первые попытки в этом направлении осуществлены в некоторых типах леса Теллермановского опытного лесничества Лаборатории лесоведения, расположенного в лесостепной зоне.

## Продуктивность стволовой древесины в связи с особенностями почвы

Лучшие условия роста леса создаются там, где имеются оптимальное увлажнение почвы, достаточно минеральных веществ и микроэлементов, а также благоприятные солевой, кислородный режимы, оптимальная кислотность почвы, и там, где наблюдается активная деятельность микроорганизмов, хорошие условия для распада органических веществ, отложившихся в почве, и для подавления вредной деятельности микрофлоры, высших и низших грибов. Итоговым показателем действия суммы факторов на отдельный древостой является запас древесины и ее средний прирост. По этим данным оценивается реакция древесных пород на лесорастительные условия. Разным почвам соответствует различная продуктивность древостоев.

Например, в таежной зоне в типах леса ельников кислично-черничных, расположенных на слабоподзолистых суглинистых почвах, при уровне грунтовых вод на глубине 80—100 см от поверхности весной и 300 см осенью запас древостоев в 120-летнем возрасте равен 400 м<sup>3</sup>/га. На суглинистых подзолистых почвах при уровне грунтовых вод весной 30—40 см и в начале осени до 100 см в типе леса ельник-черничник запас древостоев в этом же возрасте будет 350 м<sup>3</sup>/га, а в ельнике травянисто-зеленомошном, сформировавшемся на суглинистых торфянисто-перегнойных глееватых почвах, при прочих равных условиях — до 330 м<sup>3</sup>/га.

С дальнейшим повышением уровня грунтовых вод весной до поверхности почвы и осенью (до начала дождей) до 50 см на суглинистых торфяно-подзолисто-глеевых почвах запасы древесины в 120-летнем чернично-сфагновом ельнике уже в 1,6 раза меньше, чем в кислично-черничном (230 м<sup>3</sup>/га). На суглинистой почве, покрытой древесно-торфяным слоем в торфяно-болотном типе, при уровне грунтовых вод от нуля весной до 25 см от поверхности осенью (до начала дождей), он равен 180 м<sup>3</sup>/га.

На торфянисто-иловатой почве в таволговых ельниках запас древесины в том же 120-летнем древостое не превышает 130 м<sup>3</sup>/га, а в ельнике сфагновом, сформировавшемся на сфагновых торфяниках, он составляет 90 м<sup>3</sup>/га.

Мы уже подчеркивали, что продуктивность древостоев зависит от плодородия почв. Содержание гумуса при оптимальных условиях роста рассмотренных нами ельников в 10-сантиметровом поверхностном слое ниже, чем в увлажненных чернично-сфагновых ельниках (табл. 11).

Азот с углеродом, как известно, входят в группу органогенов. Между количеством азота и органического вещества в почве существует тесная связь, и от содержания этих элементов зависит плодородие почв, а значит и рост древесных пород.

В почвах рассматриваемых нами типов содержание азота изменяется незначительно. Однако меньше всего его под чернично-сфагновым типом леса, больше — под травяно-зеленомошным, где под мощным слоем торфянистой подстилки залегает темный перегнойно-аккумулятивный горизонт мощностью до 40 см. Верховодка в летний сухой период залегает здесь на глубине 100 см, продуктивность древостоев 390—400 м<sup>3</sup>/га.

Помимо азота важным показателем плодородия почв служит содержание обменных оснований. Высокая насыщенность почвы основаниями в горизонте А<sub>0</sub> наблюдается во всех типах леса, а также на глубине 40—50 см, но в горизонте А<sub>2</sub> (подзолистом) она очень низкая, особенно в чернично-сфагновом типе леса. Очень высокая насыщенность основаниями в травяно-зеленомошном типе леса, даже на глубине 70 см (см. табл. 11).

Кислотность почвы также меняется в зависимости от типов леса. Она, как уже отмечалось, влияет на облиствление деревьев и анатомическое строение листьев. В оптимальных условиях увлажнения кислотность почвы меняется по генетическим горизонтам: повышенная наблюдается в подзолистом горизонте, слабая создается в слое вымывания. В избыточно увлажненных почвах, расположенных в слабопроточных понижениях, приуроченных к таволговому ельнику, почва менее кислая, чем при оптимальном увлажнении. В травяно-зеленомошном типе леса в верхнем горизонте реакция почвы слабокислая, в нижних она приближается к нейтральной. В верхних горизонтах сфагновых ельников под слоем торфа кислотность почвы повышенная; по мере углубления она уменьшается. Так, на глубине 62—70 см рН равно 7,0 (см. табл. 11).

Гидролитическая кислотность рассмотренных почв,

отличающихся высокой емкостью поглощения в верхних горизонтах, высокая. Поэтому степень насыщения немного выше, чем подзолов.

Важную роль в повышении продуктивности лесов играет подвижный фосфор. Его особенно мало в торфянистых ельниках (см. табл. 11). В подзолистых почвах ельников-кисличников и травяно-зеленомошных подвижного фосфора в горизонте  $A_2$  почти нет; очень мало его и в нижележащих горизонтах, до глубины 50 см. Древесные породы, растущие в ельниках-кисличниках и травяных зеленомошниках, используют подвижный фосфор из горизонтов почвы, расположенных глубже 50 см.

Подвижного калия в верхнем 30-сантиметровом слое больше всего в кислично-черничном ельнике; примерно столько же его в ельнике-черничнике на подзолистых почвах; заметно меньше — в травянисто-зеленомошном ельнике на торфянисто-перегнойных глееватых почвах и еще меньше — в таволговом типе леса на торфянисто-илловато-глеевых почвах, в сфагновых ельниках. В почве и особенно в подстилке под ельниками кислично-черничными, черничниками и травяно-зеленомошными подвижного калия содержится достаточное количество для удовлетворения потребностей древесных пород (см. табл. 11). Это дает основание считать, что основная причина низкой продуктивности древостоев на избыточно увлажненных почвах — длительное сезонное переувлажнение.

В тесной связи с глубиной грунтовых вод находится бонитет древостоев. Древостои высоких классов бонитета (I и II) могут расти при уровне грунтовых вод в мае 10—50 см, а в летнее время от 0,5 до 1,5 м. Древостои III бонитета могут расти в мае, июне, июле и августе при глубине грунтовых вод в пределах 50—60 см. При более высоком уровне, от 0 до 20 см, формируются древостои IV и V бонитетов.

Причина понижения бонитета древостоев кроется прежде всего в недостатке в почве кислорода, скорость диффузии которого в воде в 1000 раз ниже, чем в воздухе. При полном насыщении кислорода в 1 л воды содержится 10—12 мг. В ельниках хорошей продуктивности концентрация кислорода превышает 3 мг/л, в еловых лесах плохого роста она падает до 0,3 мг/л.

Осенью при полном насыщении почвы водой количество кислорода на всех глубинах подзолистых почв

Таблица 11. Обменные основания и химический состав почв разн

Показатель	Кисличный				
	глубина взят				
	0-3	3-8	8-10	10-20	25-30
pH	6,1	5,5	5,2	5,2	6,3
Гумус по Тюрину, %	—	5,61	3,06	1,12	0,32
Поглощенный Са, по Гедройцу, мг-экв на 100 г сухой почвы	76,96	6,70	2,40	2,90	6,30
Поглощенный Mg, по Гедройцу, мг-экв на 100 г сухой почвы	15,61	4,90	1,10	0,80	3,80
Содержание подвижного калия, по Кирсанову, мг на 100 г сухой почвы	206,0	120,0	68,0	30,38	—
Содержание подвижного фосфора, по Кирсанову, мг на 100 г сухой почвы	48,91	16,70	11,85	2,23	10,6
Азот, по Кьельдалю, %	2,19	1,71	0,29	0,13	0,0

Таблица 11 (окончание)

Показатель	Таволговый				
	глубина взят				
	0-3	3-8	8-10	10-20	25-30
pH	6,2	6,1	6,3	6,3	7,6
Гумус по Тюрину, %	—	—	—	—	—
Поглощенный Са, по Гедройцу, мг-экв на 100 г сухой почвы	—	—	—	10,18	9,04
Поглощенный Mg, по Гедройцу, мг-экв на 100 г сухой почвы	—	—	—	5,46	3,01
Содержание подвижного калия, по Кирсанову, мг на 100 г сухой почвы	143,6	68,0	49,0	13,0	2,1
Содержание подвижного фосфора, по Кирсанову, мг на 100 г сухой почвы	31,8	3,95	3,65	3,93	10,0
Азот, по Кьельдалю, %	—	—	—	—	—



типов ельников (Архангельская обл.)

Черничный					Травяно-зеленомошный				
разцов, см									
0-3	3-8	8-10	10-25	25-35	0-3	3-8	8-10	10-20	25-30
5,7	5,0	4,5	4,7	5,3	5,3	4,7	4,8	6,1	6,4
—	4,21	—	0,74	0,92	—	74,91	—	29,05	19,05
2,94	3,83	1,83	1,26	3,45	66,5	63,0	18,16	15,16	12,15
3,93	2,10	0,08	0,07	0,40	28,5	21,5	9,15	7,8	6,78
7,0	128,0	78,0	30,1	0,60	138,0	98,0	41,5	14,3	—
1,15	13,98	16,1	1,00	9,63	36,18	9,21	10,15	1,15	—
1,82	1,81	1,61	0,08	0,08	1,95	1,90	1,81	2,58	0,33

Чернично-сфагновый					Сфагновый			
разцов, см								
0-6	6-14	14-20	20-25	25-38	3-8	8-10	10-20	25-30
4,8	4,4	4,4	4,2	4,8	5,0	5,2	5,8	6,3
—	—	—	1,63	1,83	—	—	1,63	0,83
—	—	—	1,13	1,95	—	—	—	—
—	—	—	0,76	1,43	—	—	—	—
—	—	—	—	—	59	57,0	62,1	6,9
—	—	—	—	—	—	3,07	2,31	3,18
1,14	1,03	—	0,05	—	1,18	1,06	—	0,07

равно 3—4 мг/л; в ельниках травяно-зеленомошных — 6—7 мг/л в ельниках сфагново-широкоотравных — уже значительно меньше (Орлов, Мина, 1962).

В сосняке кустарничково-сфагновом на протяжении всего лета в почве обнаруживается постоянный недостаток кислорода, и только после осенних дождей его содержание увеличивается до 2—3,8 мг/л.

Известно, что недостаточная аэрация почвы вызывает в ней образование закисных соединений железа. Чем глубже грунтовые воды, тем меньше в почве таких соединений, и, наоборот, активность образования закисного железа возрастает с повышением уровня грунтовых вод.

В оторфованных заболоченных почвах в летний период содержание закисных форм железа увеличивается, однако если уровень грунтовых вод понижается, железо не препятствует проникновению в почву корней древесных пород.

В подзолистых почвах закисного железа значительно меньше, поэтому такие почвы благоприятнее для роста леса, чем торфяно-глеевые, но при условии невлажной погоды. В дождливую погоду и в этих почвах образуются закисные соединения железа в свойственных торфяно-глеевым почвам размерах.

Избыточное увлажнение всей толщи торфянисто-перегнойно-глеевой почвы и низкое содержание растворенного в почвенных водах кислорода замедляют процессы окисления и минерализации органического вещества и ослабляют деятельность мезофауны и микроорганизмов, разлагающих и разрушающих органические остатки. Вследствие этого в верхней толще почвы накапливается много законсервированных органических веществ.

В торфянисто-перегнойно-глееватых и подзолистых почвах зоны северной тайги активная биологическая деятельность сосредоточена в самых верхних горизонтах почвы. В микрофлоре преобладают неспорообразующие бактерии (табл. 12). Спорозоносные формы и актиномицеты представлены слабо. Низок удельный вес и микроскопических грибов, зато очень большое влияние оказывают высшие грибы.

В составе неспорообразующих бактерий содержится большое количество флюоресцентных и микобактерий, а среди спорообразующих главенствующими формами являются *Vac. agglomeratus*, *Vac. cereus* и спорозоносная

бактерия бациллус. В почвах подавлены нитрифицирующие бактерии и отсутствует азотобактер.

Торфянисто-перегнойные и подзолистые почвы сходны по составу микрофлоры, но различны по ее количеству. Микрофлора вызывает замедленность трансформации органического вещества, в том числе и целлюлозы, которая разлагается в почвах также очень медленно, в анаэробных условиях (Мустафова, 1959; Самцевич, 1955).

Т а б л и ц а 12. Содержание микроорганизмов в различных горизонтах почвы, тыс. на 1 г сухой почвы

Микроорганизмы	Ельник-зеленомошник черничный на подзолистых почвах				Ельник травяно-зеленомошный (на травяно-перегнойных почвах)			
	A <sub>0</sub>	A <sub>2</sub>	B	BC	A' <sub>0</sub>	A'' <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	BC
Неспорообразующие	4730	1050	2500	1120	19000	6100	2500	1050
Актиномицеты	420	32	6	50	4150	1510	72	16
Всего	5570	1160	2580	1160	22100	7500	3100	1400

Конечно, и состав древесной растительности накладывает существенный отпечаток на микрофлору. Под березняками наблюдается интенсификация микробиологической деятельности, под ельниками она угнетена. В низинных болотах микроорганизмов больше, чем в верховых.

Избыточное увлажнение, естественно, влияет на численность почвенной фауны как по всей толще почвы, так и по отдельным генетическим горизонтам. Основная деятельность фауны протекает в верхнем органическом слое глубиной 10 см. Проникновение ее в более глубокие слои ограничивается высоким стоянием грунтовых вод, а также недостатком органического вещества.

В почве с повышенной влажностью почвенные животные глубже 20 см не встречаются. Исключение составляют дождевые черви, проникающие в засушливую погоду на глубину 30—40 см.

В сухие периоды наибольшее количество животных обитает в ельнике травяно-зеленомошном на глубине 10—20 см, где в это время создаются благоприятные режим влажности и условия аэрации. В ельниках болотно-травяной группы некоторое количество беспозвоночных животных обнаруживается на этой глубине только в сухие летние периоды.

В заболоченных типах леса почвенная фауна находит подходящие условия только в кочках, отличающихся меньшим увлажнением.

В почве ельников-черничников преобладают энхитреиды и ногохвостки. В сухие годы тех и других животных в почве одинаковое количество. В более влажные годы преобладают ногохвостки. В ельниках болотно-травяной группы во влажные годы увеличивается количество пресноводных животных и только в сухие годы преобладает собственно почвенная фауна.

В ельнике-черничнике и ельнике зеленомошно-широкотравном на торфянисто-перегнойных почвах значительное развитие почвенных животных наступает раньше, чем в заболоченных типах леса, и период активной деятельности здесь длится дольше. Особенно устойчивы эти максимумы в годы с более сухим вегетационным периодом, что обеспечивает интенсивное разложение почвенной фауной органического вещества и своевременное поступление его усвояемых для питания растений форм в период наиболее активной жизнедеятельности. На заболоченных площадях, особенно во влажные годы, активность почвенной фауны повышается лишь к осени. Только в этот период здесь имеются оптимальные условия для ее развития. В годы с сухим летом максимум развития почвенных животных смещается к середине лета. Например, в сосняке кустарничково-сфагновом наибольшее количество почвенных животных отмечено в середине августа, в ельнике болотно-травяном в середине июля. Таким образом, основной фактор, определяющий развитие почвенных животных,— влажность почвы и ее воздушный режим.

Наиболее богаты почвенной фауной ельники-зеленомошники, а затем типы леса болотно-травяной группы. В ельнике-черничнике почвы беднее и менее насыщены почвенными животными, но они подвергаются длительному весеннему затоплению и лучше аэрированы. На-

более бедны фауной сосняки кустарниково-сфагновые и ельники болотно-травяные.

Первичное измельчение растительных остатков производят в основном многоножки. Меньшая роль принадлежит личинкам жуков и двукрылых. Клещи питаются как непосредственным растительным опадом, так и разложившимися остатками. Образование высококачественного гумуса происходит благодаря деятельности энхитреид, коллембол и клещей. Однако если мы возьмем биомассу этих групп, то увидим, что количество перерабатываемых веществ должно быть очень незначительным.

В целом процесс разложения органического вещества почвенными животными происходит с умеренной интенсивностью и носит прерывистый характер.

Дождевые черви являются основными почвенными животными ельников, но в условиях избыточного увлажнения переработку органического вещества и они совершают замедленно.

С увеличением дренированности почвы, начиная от перегнойно-глеевой через перегнойно-подзолисто-глеевую к маломощному подзолу, под еловыми древостоями заметно снижается содержание углерода и азота, что свидетельствует о большой подвижности этих веществ в почве. Количество воднорастворимых соединений азота и углерода от торфянисто-перегнойной почвы к перегнойно-подзолистой глееватой увеличивается с глубиной. В ельниках-черничниках на подзолистой почве повышается подвижность легкогидролизуемых форм биогенных элементов.

Мощность подстилки под пологом ели на подзолисто-глеевой почве равна 5 см, на торфянисто-перегнойных глееватых суглинистых почвах — 12 см. На первой почве во всей массе подстилки содержится 14,45 т углерода и 0,53 т азота, на второй — 31,28 т углерода и 1,06 т азота.

Как видно, в одних и тех же климатических условиях при относительно близком составе поступающего на поверхность почвы органического опада разложение его и поступление продуктов распада в почвы может быть резко различным. Из этого следует, что доминирующим фактором, воздействующим на почву, на севере является не только древесная порода или состав ее опада,

но и условия разложения, определяющие различное соотношение поступающих в почву гумусовых соединений. При относительно оптимальном увлажнении и некотором застое воды в больших количествах образуются вещества, вызывающие развитие подзолообразования.

Очень важно научиться правильно обращаться с травяными болотными почвами. Осушение почв приводит к изменению почвообразовательного процесса. При этом активизируются процессы разрушения мертвого органического вещества, интенсивность которых зависит от степени осушения почвы и характера ее использования.

Если грунтовые воды залегают неглубоко и земля используется под луговые травы, органические вещества расходуются медленно. В этом случае помимо калийных и фосфорных удобрений необходим азот.

Торфянисто-перегнойные глееватые и глеевые почвы обладают высоким потенциальным плодородием. Низкая производительность произрастающих на них лесов вызвана сильным переувлажнением и недостатком кислорода. Большие запасы питательных веществ располагаются на глубине 30—40 см, однако трудно рассчитывать здесь на повышение продуктивности древостоев без изменения условий их увлажнения.

Для повышения плодородия почв и увеличения продуктивности произрастающих на них древостоев необходимо удалить избыточную воду путем осушительной мелиорации и улучшить аэрацию почв. В конкретном случае следовало бы всюду довести продуктивность древостоев хотя бы до уровня 400 м<sup>3</sup> стволовой древесины. Такие запасы в средней и северной тайге приурочены к ельникам-кисличникам или близким к ним типам леса.

Опыт показывает, что осушенные площади становятся пригодными для выращивания высокопродуктивных лесов. Благодаря улучшению аэрации и созданию благоприятных условий для жизнедеятельности микроорганизмов и почвенной фауны ускоряется поступление минеральных веществ в доступных для древесной растительности формах.

Лучшим ростом после мелиорации отличаются молодняки 10-летнего возраста; предпочтительнее мелиорировать 5—6-летние молодняки сосны, которые хорошо прижились и корни которых еще не угнетены

избыточным увлажнением. Однако и 25-летние сосняки, как показал опыт осушки 1929 г., проведенный Сиверским опытным лесничеством ЛенНИИЛХа на торфе мощностью 0,4—0,6 м, подстилаемом тяжелым суглинком, отличались хорошим ростом. Опытный участок на всем расстоянии между двумя осушителями глубиной 0,5 м был разбит на 7 отдельных секций с расстоянием от осушителей 20, 45, 75 и 95 м. Основная задача при этом сводилась к выявлению динамики роста осушенных лесов и учету изменения компонентов биогеоценоза.

Повторные учеты на постоянных пробных площадях позволили М. П. Елпатьевскому (1964) уточнить представления об эффективности лесосушения (табл. 13).

Таблица 13. Эффективность лесосушения

Возраст леса, лет	Запас по фактическим замерам, м <sup>3</sup> /га	Текущий прирост, м <sup>3</sup> /га	Полнота	Запас и прирост без осушения, м <sup>3</sup> /га	
				запас	текущий прирост
25 (время осушения)	8	0,3	0,3	8	0,3
35	19	1,1	0,35	15	0,07
45	72	5,3	0,55	28	1,3
55	156	8,4	0,75	40	1,2

Осушение соснового молодняка (жердняка), как видим, дало хороший результат. Если для данного участка эффективность осушения близ канав принять за единицу, то при разной удаленности она будет различной:

Средняя удаленность, м	Коэффициент эффективности осушения
20	1,0
45	0,9
75	0,8
95	0,5

Как следует из приведенных данных, на полосе, удаленной от осушителей на 90—100 м, эффективность резко снижается.

М. П. Елпатьевский (1964) рекомендует водоотводящие каналы глубиной 1—1,5 м проводить на расстоянии 300—500 м, а осушительную сеть глубиной 0,5 м прокладывать через 40—50 м. При этом способом достигается быстрый сброс воды весной, во время летних дождей и паводков со всей осушаемой территории, увеличивается интенсивность осушения деятельного слоя почвы на глубину 40—50 см. Такая мелиорация усиливает биологические и окислительные процессы в почве, разложение органического вещества и содействует переходу азота и некоторых зольных веществ в подвижные формы, а значит высокому равномерному приросту древесины.

Рост древостоев после осушения тесно связан с зольностью торфа, его ботаническим составом, степенью разложения и кислотностью. Чем выше зольность торфа, тем лучше рост древостоев после мелиорации. Глубина торфа не влияет отрицательно на рост молодняков сосны, решающее значение имеет его качество. На мелких торфяниках с глубиной торфа около 0,4 м успех роста леса после осушения зависит не только от качества торфа, но и от богатства подстилающих его почвогрунтов усвояемыми элементами пищи. Корни в этом случае располагаются и в торфяной, и в минеральной частях (Вомперский, 1964).

Зольность торфа на избыточно увлажненных почвах зависит от типа болот (табл. 14).

Таким образом, в результате осушения торфяных почв создаются благоприятные условия для роста молодого леса.

Наиболее успешный рост в культуре показала сосна при зольности торфа 31% и более. Хорошие результаты дает и ель при зольности торфа 10—12%.

Основным фактором, влияющим на повышение продуктивности древостоев после осушительной мелиорации, считается потенциальное богатство болотной почвы.

Увеличение продуктивности лесов на осушенных площадях достигается за счет увеличения глубины проникновения корней, сокращения периода их затопления.

На флювиогляциальных песчаных отложениях или песках послеледникового аллювия, часто неоднородных по механическому составу и в различной степени опод-



Таблица 14. Состав золы различных видов торфа, % от абсолютно сухой навески

Типы болот	Глубина взятия образца, см	Азот валовой	Чистая зола	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O
Сосняк сфагновый верховой	0,25	1,21	1,84	0,12	0,15	0,37	0,60	0,15	0,06	0,29	Нет	0,08
Ельник осоково-сфагновый переходный	0,25	2,44	7,33	0,73	0,67	0,85	3,45	0,52	0,18	0,61	0,03	1,11
Ельник травяно-болотный низинный	0,25	2,12	10,93	1,71	2,98	2,23	2,99	0,26	0,23	0,74	0,30	0,14

золенных, обычно произрастают сосновые древостой. Они рассредоточены на различных элементах рельефа. На возвышенных элементах рельефа в аллювиально-песчаных отложениях грунтовые воды залегают на глубине 5—6 м, на склонах и незначительных всхолмлениях на 3—4 м, в незначительных понижениях — на 2—2,5 м, на глубине 0,3—0,8 м и менее.

В тесной связи с изменением рельефа находятся уровень грунтовых вод, типы почв и продуктивность древостоев на них:

Глубина грунтовых вод, м	5 и выше	4,5	3,5	2,74	1,8	1,3	1,0	0,7	0,3
Запас древостоя, м <sup>3</sup> /га	153	180	258	335	344	254	180	102	50

Оптимальная продуктивность древостоев наблюдается при колебании уровня грунтовых вод в пределах 1,75—2,7 м.

В подстилке, сформировавшейся на песчаных дерново-подзолистых почвах в типе леса сосняк зеленомошно-черничный, в горизонте  $A_0$  на 1 г сухой почвы содержится 21 146 тыс. бактерий; спорообразующих бактерий — 1535 тыс., актиномицетов — 1874 тыс., грибов 374 тыс.; в горизонте  $A_1$  845 тыс. бактерий, 242 тыс. спорообразующих бактерий, 240 тыс. актиномицетов и 47 тыс. грибов (Терехов и Еникеева, 1964).

В дерново-подзолистой почве под лесом резко уменьшается количество микроорганизмов при переходе от горизонта  $A_0$  к горизонту  $A_1$ . В достаточной мере богатым микроорганизмами в неокультуренной почве является горизонт  $A_1$ .

Наблюдается прямая зависимость между увеличением влажности почвы и повышением микрофлоры. Избыточное увлажнение отрицательно сказывается на жизнедеятельности микроорганизмов, их составе и численности.

Через год деятельности микроорганизмов в сосняке лишайниково-мшистом, на слабоувлажненных почвах остается 72% неразрушенной подстилки, через 2 года — 23 и через 3 года — 2,5; в сосняке-черничнике (на свежих почвах) — через год — 85, через 2 года — 46 и через 3 года — 12%; в сосняке-долгомошнике (на сырых почвах) — через год — 92, через 2 года — 76 и через 3 года — 46% от первоначального веса, определенного в год закладки опыта.

Влажность верхнего горизонта почвы существенно влияет на отложение и накопление подстилки. В лишайниково-мшистых сосняках, расположенных на более сухих почвах, слой мха 2,5 см, подстилки — 1,5 см, в мшистых, более увлажненных, слой мха 3 см и подстилки — 3 см; в черничнике слой мха 3,5 см, подстилки — 5,5 см; в долгомошнике соответственно 4,5 и 10 см; в сфагновом сосняке 5 и более 50 см. Масса мха и подстилки также меняется в зависимости от типов леса (рис. 27).

Основная часть подстилки в сосновых древостоях — хвоя, составляющая 62%, остальное — мелкие ветви, кора, почечные чешуйки и другие виды опада.

Зольный состав опада в сосняках-черничниках и кисличниках, имеющих ясно выраженный II ярус из ели и березы, богаче минеральными веществами, чем в сосняках лишайниково-мшистых.

В сложных типах леса опад разлагается быстрее, чем в простых.

В процессе распада от весны к осени лесные подстилки обедняются зольными элементами. К осени увеличивается содержание Si, Al, Fe, а Ca, Mg, P и K уменьшается.

Подвижность минеральных веществ сокращается в зависимости от характера погоды. Недостаточное количество осадков препятствует разложению подстилки и ослабляет вынос из нее минеральных веществ. Выщелачивание минеральных веществ зависит не только от массы воды, прошедшей через подстилку и почву, но и от степени разложения органического вещества.

Кислотность дождевых вод, прошедших через подстилку и верхний слой почвы, характеризуется кислой реакцией и изменяется в пределах 4,2—5,6 в сухих борах, 5,2—5,6 в свежих борах-черничниках и 5,4—5,8 в сосняках сложных.

Кислотность вод обусловлена присутствием в них слабых органических кислот, уголекислоты и их солей, а также слабых минеральных кислот. Осенью в растворах могут быть и сильные кислоты. Кислотность почв сосно-

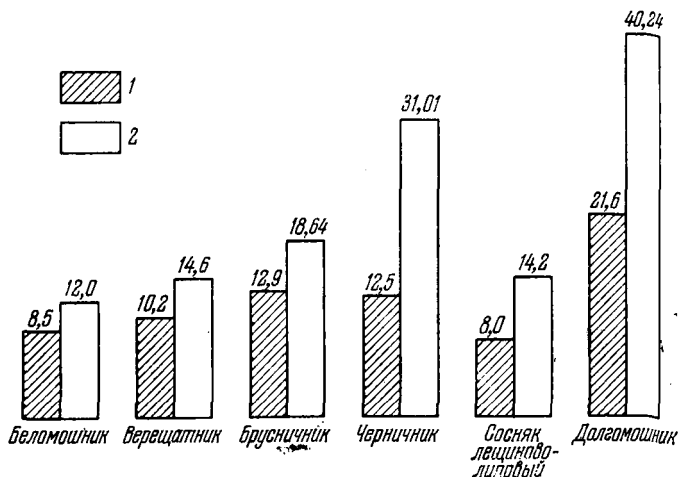


Рис. 27. Масса мха и подстилки в различных типах соснового леса (в т/га)

1 — мох, 2 — подстилка

Таблица 15. Кислотность почвы, обменные основания в различных

Показатель	Беломошник				Верещатник			
	горизон							
	0—5	5—10	20—30	50—60	0—5	5—10	15—25	50—60
Ca <sup>2+</sup> , мг·экв на 100 г сухой почвы	4,30	2,01	1,26	1,22	3,53	1,79	0,92	1,0
Mg <sup>2+</sup> , мг·экв на 100 г сухой почвы	0,26	0,10	0,7	0,20	0,37	0,05	0,03	0,1
H <sup>+</sup> , мг·экв на 100 г сухой почвы	17,39	5,63	3,43	2,39	4,09	2,33	1,25	5,3
pH	4,0	5,0	5,5	5,9	6,0	6,7	6,4	6,7

вых боров на песчаных почвах характеризуется данными, представленными в табл. 15.

В почвенных растворах содержится значительное количество водорастворимых органических веществ. В талых весенних и осенних водах их меньше, чем в летних. Обильные осадки вымывают из верхней части почвенного профиля огромное количество различных микроорганизмов. В растворах много аммиачного азота. Из подстилок сосновых лесов ежегодно поступает в почву 150 кг/га углерода органического вещества, а из подстилающего почвенного горизонта от 20 до 55 кг/га. Кроме того, в нижележащие горизонты из подстилок выносятся от 25 до 85 кг/га водорастворимых минеральных веществ.

Обращает на себя внимание постоянный вынос железа из почвы под пологом чистых сосняков. Колебание выноса железа по отдельным годам выражается в пределах от 0,9 до 2,3; кальция — от 9 до 46; Mg — от 4,7 до 10; калия — от 3 до 15; алюминия — от 0,9 до 3,5 и кремнекислоты — от 5 до 16 кг/га.

Весной Ca и Mg выносятся из подстилки и почвы в разном количестве, летом вследствие интенсивного биологического поглощения оснований вынос значительно меньше, а к осени он снова увеличивается по мере затухания биологического поглощения и накопления свежего опада.

Типы соснового леса (Прокудин бор)

Брусничник				Черничник				Сосняк лещиновый			
глубины, см											
0-5	5-10	20-30	40-60	0-5	5-10	20-30	50-60	0-5	5-10	20-30	40-60
0,55	0,41	0,51	1,91	4,92	2,48	1,0	1,52	15,05	3,21	1,51	0,46
4,39	0,25	0,06	0,11	0,47	0,28	0,22	0,05	7,50	0,32	0,15	0,03
0,21	0,05	0,06	0,40	4,31	1,91	1,56	0,95	5,09	3,05	1,50	0,46
4,4	4,5	4,1	4,8	5,6	5,8	5,2	5,8	6,2	6,5	6,3	5,5

Из подстилок сосновых лесов выщелачивается от 2 до 9% общего количества минеральных веществ и азота и около 1% углерода органических веществ.

Поступление водорастворимого органического вещества, Са и Mg и К из подстилок сосновых лесов превышает вынос их из почвы. Остающиеся вещества участвуют в биологическом поглощении или в почвенных образованиях в верхней части профиля.

В типах леса с избытком влаги в почве процесс минерализации подстилки замедляется, а вынос минеральных веществ сокращается.

Лес отличается мощными приспособительными свойствами. Он никогда не отдает полностью захваченных им минеральных элементов и азота в среду обитания, а задерживает и накапливает их в древесине, ветвях, коре, корнях и подстилке. В лесу сама растительность поддерживает плодородие почвы, за исключением сухих боров, отличающихся недостатком азота и гумуса, и заболоченных площадей, где из-за недостатка кислорода и фосфора ухудшается рост растений. В остальных местообитаниях лес обеспечивает почву питательными веществами за счет возвращающегося в почву органического материала (опад листвы, корней, мелких ветвей и отпад стволов). Моховой покров также является аккумулятором минеральных веществ, поступающих с пылью и с осадками.

Несмотря на сравнительно небольшие изменения в сумме обменных оснований, продуктивность сосновых древостоев резко различна. Следует при этом учесть, что процессы разложения опада в сухих борах сравнительно велики, но масса хвои в сухих типах леса заметно меньше. Поэтому там меньше опад хвои вследствие изреженности древостоев, а стало быть, и меньше поступление минеральных веществ в почву.

Свойства почвы под сосновыми лесами изменяются не только в сезонном цикле, но и от года к году. В основе этих изменений лежит чередование аккумулятивно-биохимических процессов с процессами разрушения и вопроса аккумулятированных продуктов.

Для улучшения продуктивности древостоя в сухих типах леса необходимо систематически вносить в почву органические и минеральные удобрения, которые повысят не только минеральный состав почвы, но и улучшат ее влажность.

Немногочисленные опыты у нас в стране и за рубежом показали, что под полог сосняков-беломошников, верещатников и даже брусничников целесообразно вносить удобрения во влажный период лета.

Применение органических удобрений с одновременным улучшением влажности почвы способствует повышению продуктивности древостоев. На удобренных почвах растения начинают расти раньше, чем на неудобренных. Внесение органических удобрений изменяет среду обитания древесных растений и благоприятно влияет на микроорганизмы и почвенных животных. Необработанная и неудобренная почва боров-беломошников и верещатников биологически мало активна: в ней в 3—4 раза меньше микроорганизмов, чем в удобренной.

Даже при внесении таких органических удобрений, как листья березы, солома, вереск и хвоя в размере 1 г на 100 г почвы ее микробиологическая активность заметно повышается.

Лесные культуры в борах-верещатниках нередко отличаются плохим ростом из-за недостатка главным образом фосфора.

Поэтому культуры сосны следует удобрять осенью фосфористой мукой и калием, а следующей весной — сульфатом аммония. Внесение удобрений увеличивает прирост сосны в два раза.

О продуктивности сосновых древостоев в различных типах леса на песчаных почвах можно судить по следующим данным.

Типы леса	Естественная продуктивность	После внесения минеральных удобрений	После осушительной мелиорации
Сосново-лишайниковый	153	320	—
Верещатник	180	320	—
Брусничный	258	335	—
Черничный	335	390	—
Кисличный	344	400	—
Чернично-кисличный	355	410	—
Долгомошниковый	180	—	340
Сфагново-сосновый	100	—	320
Сосново-сфагновый	50	—	Нет данных

Внесение в почву минеральных и органических удобрений, безусловно, эффективный, но не единственный способ повышения продуктивности лесов. Некоторое повышение продуктивности и особенно ускорение наступления спелости леса достигается изменением густоты посадки древесных пород, введением быстрорастущих хвойных и лиственных пород, улучшением состава древостоев.

Опыт показывает, что чем гуще посадки, тем раньше наступает смыкание крон деревьев, дифференциация их и отставание в росте отдельных деревьев, а также естественное изреживание, которое с возрастом древостоев приводит к выравниванию количества деревьев на единицу площади за счет увеличения отпада в густых насаждениях.

В густых посадках и посевах по сравнению с более редкими, запас и общая продуктивность в молодом возрасте выше, затем выравнивается и падает. В густых посадках осеннее пожелтение хвои наступает на 7—8 дней раньше. Вегетационный период короче, годичный прирост растений и средняя высота меньше, отпад больше, масса хвои, ветвей, стволов и корней также меньше. В очень густом древостое площадь питания на одно дерево очень невелика. Здесь образуется большое количество деревьев низших классов роста, которые в массе усыхают.

По мере увеличения густоты леса возрастает значение среднеразвитых деревьев при одновременном незначи-

тельном отклонении крайних малых и больших от средних размеров.

В сильно изреженном древостое наблюдается большой разброс деревьев по ступеням толщины. Точнее говоря, существует не одна оптимальная густота стояния растения, а оптимальная зона (предел) густоты. При выяснении оптимальных размеров площадей питания для отдельных деревьев необходимо установить математическую зависимость между этими размерами и общей массой деревьев на единице площади.

Увеличение числа деревьев до оптимального ведет к повышению продуктивности древостоев, которая падает при дальнейшем его увеличении из-за недостатка света, углекислого газа, воды и питательных веществ (Тимофеев, 1965).

В молодых древостоях, до 25-летнего возраста, густые посадки лучше используют почвенное плодородие и световую энергию. Редкие посадки так полно использовать их не могут.

В древостоях от 25 до 80 лет увеличение густоты стояния деревьев на 20% против средней приводит к тому, что на протяжении первых 80 лет их жизни средняя высота насаждения постоянно оказывается ниже нормальной на 5—8%.

При увеличении или уменьшении числа деревьев в насаждении на 20—27% средняя высота изменяется на 7—9%. При увеличении числа стволов на 1 га на 122—130% она снижается на 19%. Это примерно соответствует среднему падению высоты на 4% на каждые 22—27% увеличения густоты. Уменьшение среднего диаметра происходит гораздо медленнее — на 6% при увеличении числа стволов на 1 га на 25% (Рубцов, 1964). Общая производительность густых насаждений оказывается на 5—6% выше, а редких на 4—5% ниже общей производительности насаждений средней густоты.

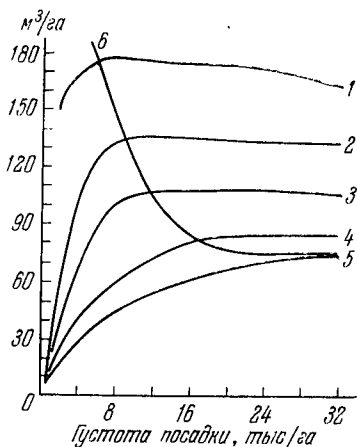
Кульминация текущего прироста в густых древостоях начинается раньше, чем в более редких. Для каждого возраста существует своя оптимальная густота, повышение которой вызывает уменьшение запаса растущих деревьев на единицу площади (рис. 28).

Масса хвои на деревьях каждого класса роста (Пинчук, 1965) меняется в зависимости от густоты посадки сосны: чем гуще посадка, тем она меньше. В пределах



**Рис. 28.** Продуктивность насаждений при различной густоте посадки

Возраст насаждений: 1 — 50 лет; 2 — 19 лет; 3 — 16 лет; 4 — 13 лет; 5 — 9 лет; 6 — оптимальное количество деревьев в древостоях различного возраста



каждой густоты посадки масса хвои в первом классе роста больше, чем во втором, во втором больше, чем в третьем.

С увеличением диаметра деревьев масса хвои повышается. Обычно наибольшее количество ее наблюдается в двухлетних древостоях.

Зависимость массы хвои опада и подстилки от густоты сосновых насаждений характеризуется следующими данными:

Густота деревьев, шт/га	Масса хвои в свежем состоянии, т/га (13 лет)	Масса световой хвои, %	Опад, % (19 лет)	Масса подстилки, т/га
2 тыс.	7,8	80	1,7	22
4 тыс.	7,3	75	6	24,6
8 тыс.	9,2	62	11	29,4
16 тыс.	12,3	57	21	31,4
32 тыс.	19,6	50	37	3212

Чем благоприятнее общие условия роста, тем меньшим количеством света могут довольствоваться деревья. В древостоях, выросших на богатых почвах, минимум потребности в свете всегда меньше, чем на бедных. Оптимальная температура, влажность почвы и воздуха в таких случаях также значительно ниже.

Повышение содержания углекислоты в древостоях способствует усилению фотосинтеза и достигается внесе-

нием минеральных, органических и бактериальных удобрений, а также разрыхлением почвы.

Любой древостой должен обладать такой структурой или такой оптической плотностью ассимиляционного аппарата, при которых он мог бы поглощать падающую на поверхность листы энергию солнечной радиации наиболее полно, т. е. с наиболее высокими коэффициентами полезного действия. При этом надо учитывать взаимоотношения деревьев в древостоях и влияние этих взаимоотношений на их фотосинтетическую деятельность как непосредственно при затенении, так и косвенно, через тепловой, водный и питательный режимы растений.

Большое значение при выращивании устойчивых и продуктивных древостоев имеет вертикальное строение или ярусность. В древостоях, где есть разные ярусы, деревья не только конкурируют в потреблении света, тепла, влаги и питательных веществ, но и положительно влияют одни на другие. Ярусы изменяют экологические условия: освещенность, температуру и влажность воздуха, проникновение осадков к почве, состав и мощность живого почвенного покрова в лесу, разложение подстилки и т. д. Наряду с этим ярусность древостоев существенно влияет на фотосинтез и обмен вещества и энергии.

По исследованиям В. П. Тимофеева (1965), трехъярусные древостои в безлистном состоянии пропускают к почве около одной трети света, а в облиственном состоянии задерживают более 90% света, снижают температуру воздуха на поверхности почвы и увеличивают его относительную влажность. Изменение этих факторов по ярусам вызывает изменение в приросте побегов и охвоении лиственницы, сосны и других пород. Верхним, лучше освещенным частям кроны лиственницы свойствен больший прирост, большая масса хвои и более продуктивный фотосинтез. Наоборот, в нижних частях полога лиственницы, куда проникает меньше 25% света, новых однолетних побегов не образуется.

Углекислоты в воздухе больше всего у поверхности почвы — 0,08%, с подъемом к верхнему ярусу количество ее уменьшается до 0,03%.

Деревья в смешанных древостоях благоприятно влияют одно на другое, способствуя мобилизации и накоплению дефицитных элементов почвенного питания, а также удалению из почвы избытка того или иного эле-

мента. Например, в чистых акациевых древостоях в почве накапливается азот, который поглощается такими растениями-нитрофилами, как бузина. На солонцеватых почвах, богатых гипсом, благоприятно влияют на улучшение почвы граб, клен, скумпия, ель, так как эти породы способствуют подкислению почвы.

В смешанных древостоях создается больше возможностей для увеличения продукции в единицу времени с определенной площади. Они вовлекают в круговорот больше элементов пищи, полученных из почвы, и азот из атмосферного воздуха, чем чистые.

Очень важно создать насаждения из семян, взятых с плюсовых (лучшего роста) полнодревесных прямых и гладких деревьев. Насаждения следует формировать на одной и той же площади из различных видов деревьев, которые должны способствовать росту каждого вида как в экологическом отношении, так и в отношении гарантии получения наибольшего количества органической массы.

Опыт лесоразведения Фокеля на Карельском перешейке, Тюрмера в Поречье Московской области, посадки сосны и лиственницы в Тимирязевской даче ТСХА им. Тимирязева, Шатиловские посадки Орловской области и ряд других искусственных насаждений, дающих общую продуктивность древостоев свыше  $800 \text{ м}^3$ , а в отдельных случаях от 1,5 до 2 тыс.  $\text{м}^3/\text{га}$ , является эталоном, указывающим путь к повышению продуктивности наших лесов.

Таких примеров можно привести много: в Поваровском лесничестве Солнечногорского лесхоза еловые культуры 60 лет имеют запас древесины  $530 \text{ м}^3/\text{га}$ , естественные еловые древостои — только  $300 \text{ м}^3$ . Такие же высокопродуктивные древостои есть в Серебряных прудах Серебрянопрудского района Московской области. Здесь в искусственных древостоях лиственницы насчитывается до  $750 \text{ м}^3/\text{га}$  стволовой древесины, в еловых — до  $600 \text{ м}^3$  и сосновых — до  $500 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Для сравнения укажем, что даже в Архангельской области естественные древостои лиственницы Сукачева дают запас стволовой древесины до  $600 \text{ м}^3/\text{га}$ , а сосновые — до  $500 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Прирост древесины связан не только с типом леса, но и стадией формирования древостоя.

С возрастом изменяется качество отдельных деревьев, в частности, распределение деревьев по классам роста, резко меняется видовой состав и численность грибов-разрушителей древесины. С переходом от спелого к приспевающему возрасту повышается количество деревьев с инфекционными заболеваниями.

В связи с уменьшением сомкнутости полога резко изменяется световой режим. Солнечная радиация, выраженная в процентах от радиации на безлесных площадях, в 15-летнем сосновом древостое составляет 3,6 от открытого места, в 30-летнем — 16,6, в 70-летнем — 30,7. В пределах одного возраста с уменьшением сомкнутости на 0,1 она возрастает на 8—10%. В редких древостоях сомкнутостью менее 0,5 радиация под пологом увеличивается на 15—18% при снижении сомкнутости на 0,1.

Под полог леса проникает два вида радиации: 1) прямая, проходящая через промежутки между листьями в том случае, когда полог освещается прямыми лучами; 2) рассеянная радиация от неба и облаков и 3) рассеянная радиация, частью прошедшая через листья, частью отраженная ими вниз.

На открытом месте содержание физиологически активных лучей в зависимости от облачности неба и стояния солнца в пределах 38—55° колеблется от 48 до 49% общей радиации, а одной рассеянной радиации голубого неба еще выше — до 90%. Под пологом сосны эти лучи составляют не более 30%, в густых древостоях — около 17%.

Коэффициент использования физиологической радиации при оптимальной густоте древостоя с учетом потребления энергии на образование всей органической массы, т. е. ствола, ветвей, листьев и корней, достигает 3%. Фактически он в два раза ниже (около 1,5%). Упомянутое количество радиации используется на фотосинтез. Остальная часть энергии поглощается листьями и используется на транспирацию растений.

Давно известно, что с момента возникновения древостоя сомкнутость I яруса первоначально увеличивается. В результате подрост и подлесок, участвующие в составе древостоя, постепенно выпадают и почти полностью исчезают в стадии кульминации текущего прироста. В связи с сомкнутостью изменяется температура воздуха под по-

пологом леса. Наименьшая температура воздуха и почвы — в сомкнутых древостоях.

В сложных древостоях, даже при редком I ярусе, но густом II ярусе температура воздуха и почвы под пологом последнего резко снижается.

Летом под пологом леса температура воздуха всегда тем ниже, а зимой, наоборот, тем выше, чем более сомкнут древостой. В тесной связи с сомкнутостью древостоев изменяется слой снега, увеличивающийся с понижением сомкнутости. В сложных сосновых древостоях с густым ярусом ели, а также в густых еловых древостоях слой снега обычно самый небольшой.

Если в древостоях, не пройденных рубками ухода, при глубине снега 30 см почва промерзает на 26 см, то при интенсивности рубок ухода 24% и глубине снега после проведения рубки 40 см толщина промерзшего слоя равна 20 см, на площадях, пройденных рубками ухода с выборкой 50% запаса и при глубине снега 62 см, промерзание почвы не превышает 1 см.

В процессе формирования и роста древостоев охвоение изменяется с возрастом. Максимальное охвоение свойственно периоду кульминации текущего прироста. Наибольшей массе хвои соответствует наибольший текущий прирост древесины. Таким образом, между охвоением, или массой хвои на единице площади, и приростом существует прямолинейная зависимость. В тесной связи с охвоением изменяется и количество осадков, проникающих сквозь кроны сосновых древостоев. Атмосферные осадки, достигающие полога сосновых древостоев, частью проникают через него между ветвями и хвоей, частью стекают с них, а задерживающаяся на кронах часть испаряется в атмосферу. Вода летних и осенних дождей в большем количестве задерживается на кронах, чем снег.

Интенсивность весеннего снеготаяния зависит от возраста древостоев. Более медленное таяние снега наблюдается в сомкнутых древостоях 30—60 лет. Естественно, что в пределах одного возраста интенсивность снеготаяния изменяется с изменением сомкнутости. В изреженных древостоях сомкнутостью 0,4 снег тает за 9 дней, а в сомкнутых — за 22 дня.

Расходы влаги на транспирацию также находятся в прямой зависимости от текущего прироста древостоев и

достигают максимума в период наибольшего текущего прироста.

В такой же зависимости находится и общее суммарное испарение, складывающееся из испарения с крон, с поверхности травяного покрова и почвы.

Запасы влаги в почве летом, особенно в конце его, в период наибольшего прироста заметно меньше, чем в другие периоды.

Знание этих закономерностей позволяет на основании годичного текущего прироста для каждой растительной зоны выяснить потребление воды на транспирацию и испарение и по желанию регулировать ее расходы путем рубок ухода, рубок главного пользования и других хозяйственных мероприятий. В период наибольшего прироста, приуроченного в зоне хвойно-широколиственных лесов к 30—40-летнему возрасту, наблюдаются повышенное потребление из почвы минеральных веществ.

Таким образом, насаждения от момента возникновения до спелости и дальше до появления нового поколения леса представляют собой динамическую систему, в которой все процессы находятся во взаимодействии. С развитием древостоя меняются охвоение и сомкнутость полога, а в связи с этим изменяется освещение, солнечная радиация и проникновение осадков сквозь древесный полог. Эти факторы в свою очередь вызывают изменение температуры воздуха и почвы, что влияет на транспирацию, испарение с поверхности травяного покрова и почвы, на активность микроорганизмов летом и на промерзание почвы зимой.

Все отмеченные явления через ряд взаимосвязей влияют на микробиологические процессы, круговорот азота и зольных элементов. Эта взаимосвязь и взаимодействие компонентов выражается в непрерывном изменении каждого из них, а также древостоя и его среды. Потребление веществ из почвы сопровождается и новым поступлением их в форме опада; изменение освещенности в связи с возрастом усиливает жизнедеятельность микроорганизмов, способствующих разложению опада. Иначе говоря, с ростом древостоев происходят глубокие изменения ряда факторов, влияющих один на другой и управляющих ростом насаждения. При исследовании сосняков, с учетом наблюдаемых закономерностей, были сделаны следующие выводы.

1. В целях улучшения водного режима почв и повышения текущего прироста необходимо перед наступлением периода кульминации текущего прироста провести рубки ухода интенсивностью 25—30%, что позволит уменьшить расход влаги на суммарное испарение на 50—60 мм.

2. После рубок ухода значительно улучшается минеральное питание древесных пород и ускоряется круговорот минеральных веществ вследствие разложения подстилки; повышенное потребление из почвы минеральных веществ в период кульминации текущего прироста обуславливает необходимость внесения минеральных удобрений.

3. После рубок ухода под пологом древостоев улучшается освещение, повышаются температура воздуха и влажность почвы и, как следствие, возрастает биологическая активность почвы, увеличивается содержание углекислоты в почве и над ее поверхностью.

В лесостепной зоне под пологом дубовых древостоев формируются темно-серые лесные почвы с мощностью гумусированного слоя от 40 до 50 см; серые лесные почвы (гумусированный слой 30—40 см); светло-серые лесные почвы (15—25 см); слабо оподзоленные, остаточо-солонцеватые почвы (10—15 см); оподзоленные остаточо-осолоделые (10—15 см); солонцеватые (5—8 см) и лугово-болотные почвы, расположенные на дне балок.

Мощность гумусового горизонта  $A_1$  под лесом зависит от рельефа местности, экспозиции и крутизны склонов; наибольшая мощность горизонта  $A_1$  отмечается на слабопокатых площадях, расположенных на наиболее высоких уровнях.

Различия в лесорастительных условиях определяют развитие разных типов леса и резко выраженную разницу в продуктивности древостоев в этих типах леса.

Снытевая дубрава приурочена к возвышенным, сравнительно обширным водораздельным равнинам с уклоном поверхности в пределах 5—6°. Почва здесь отличается наилучшим увлажнением. Влага, поступившая с водоразделов на склоны, благодаря медленному продвижению долго задерживается и обеспечивает оптимальные условия увлажнения для древесной растительности.

Ясене-осоково-снытевая дубрава располагается на низких плато и пологих склонах близ балок с более выра-

женным поверхностным стоком, что уменьшает запасы влаги в почве.

Липово-осоковая дубрава приурочена к довольно крутым западным и северо-западным склонам. Увлажнение здесь несколько хуже, чем в первых двух типах леса, так как часть воды стекает по поверхности и по горизонту  $B_1$  в почве.

Полево-кленовая дубрава занимает средние части склонов юго-западной и юго-восточной экспозиций с уклоном  $10-15^\circ$ , реже  $25^\circ$ . Вследствие повышенного поверхностного и внутрпочвенного стока и испарения с поверхности водный режим почвы менее благоприятен, чем в предыдущих типах леса. Почва темно-серая слабо оподзоленная.

Бересклетовая дубрава, как и полево-кленовая, встречается на небольших площадях. Расположена она на более крутых склонах ( $20-30^\circ$ ) юго-восточной и южной экспозиций. Из-за высокого поверхностного стока гидрологический режим почвы еще менее благоприятен, чем в полево-кленовой дубраве. Почва — остаточ-но-осолоделый солонец.

Солонцовая дубрава обычно расположена на крутых южных и юго-западных склонах. Гидрологический режим здесь крайне неблагоприятен, так как очень большая часть воды весной стекает по поверхности почвы. Испарение превышает поступление влаги в почву. Продуктивность древостоев описанных типов леса приводится в табл. 16.

Т а б л и ц а 16. Распределение фитомассы в различных типах леса, т/га

	Снытевая дубрава	Липово-осоково-снытевая дубрава	Липово-осоковая дубрава	Полево-кленовая дубрава	Бересклетовая дубрава	Солонцовая дубрава
Деревья	570,91	468,57	416,84	271,79	202,43	95,10
Стволы	416,60	313,50	305,50	214,80	148,70	69,50
Ветви	79,2	59,50	56,10	39,60	26,30	12,60
Корни	70,40	52,20	50,90	35,30	23,80	10,80
Листья	4,46	4,31	4,06	3,81	3,09	1,56
Травяной покров	0,24	0,265	0,276	0,438	0,438	0,288



Химический состав водных вытяжек из почвы (горизонт А'<sub>1</sub>) заметно меняется с переходом от одного типа леса к другому. Например, воднорастворимого кальция больше всего в снытевой дубраве; с переходом от этого типа леса к осоково-снытевой дубраве, затем к липово-осоковой, полево-кленовой, бересклетовой и солонцовой его содержание уменьшается. В более глубоких генетических горизонтах изменение менее существенно. Исключение составляет горизонт А<sub>2</sub> в солонцовой дубраве и горизонт А''<sub>1</sub> в полево-кленовой.

В полево-кленовой, бересклетовой и солонцовой дубравах магния в горизонте А'<sub>1</sub>, А''<sub>1</sub> и А<sub>2</sub> заметно меньше, чем в более глубоких горизонтах почвы (табл. 17).

Заметно понижение содержания аммиака с ухудшением условий местопроизрастания, т. е. в полево-кленовой, бересклетовой и солонцовой дубравах (см. табл. 17).

Кислотность почвы в полево-кленовой, бересклетовой и солонцовой дубравах выше, чем в снытевой, снытево-осоковой и липово-осоковой дубравах. То же можно сказать и о содержании фосфора.

Обратная закономерность наблюдается в отношении содержания обменного кальция и магния, а также гумуса (по Тюрину, 1946) (см. табл. 17). В бересклетовой дубраве на глубине 2—10 см обменного натрия 0,58 мг·экв; на 100 г почвы; на глубине 10—12 см — 0,62 и на 13—23 см — 0,70 мг·экв. В то же время в солонцовой дубраве на глубине 1—3 см обменного натрия 0,18 мг·экв; на 3—8 см — 2,10; на 11—18 см — 1,24; на 2—25 см — 2,83; на 25—35 см — 4,71 мг·экв на 100 г сухой почвы.

Таким образом, данные анализа водных вытяжек из почв под разными типами леса свидетельствуют о достаточном содержании минеральных веществ, позволяющих выращивать высокопродуктивные древостои, если бы не было засоления почвы и недостатка влаги из-за стока атмосферных осадков по поверхности почвы в лежащие ниже по рельефу типы леса.

Фосфора, по Труогу, в типах леса с засоленными почвами также меньше, чем с незасоленными вследствие систематического смыва минеральных веществ с поверхности почвы (см. табл. 17).

Содержание гидролизующего азота для некоторых типов дубового леса представлено в табл. 17.

Таблица 17. Воднорастворимые соединения, обменные основания и химический состав почв разных типов дубрав (Борисоглебский лесной массив)

Показатель	Сытевая						Ясене-осоково-сытевая					
	Генетические горизонты и глубины взятия образцов, см											
	A <sub>0</sub> '	A <sub>0</sub> ''	A <sub>1</sub> '	A <sub>1</sub> ''	A <sub>1</sub> '''	B <sub>1</sub> '	A <sub>0</sub> '	A <sub>0</sub> ''	A <sub>1</sub> '	A <sub>1</sub> ''	A <sub>1</sub> '''	B <sub>1</sub> '
	0-1	1-3	3-10	13-22	24-33	40-50	0-1	1-3	3-10	13-22	24-33	36-46
pH водной вытяжки	—	7,1	7,2	7,4	7,0	6,5	—	7,1	7,9	7,6	7,0	6,9
Органическое вещество водной вытяжки, %	—	0,246	0,089	0,025	0,027	0,024	—	0,221	0,071	0,020	0,023	0,021
Ca <sup>2+</sup> водной вытяжки, мг·экв на 100 г сухой почвы	—	6,51	0,84	0,74	0,48	0,52	—	4,98	0,92	0,58	0,28	0,23
Mg <sup>2+</sup> водной вытяжки, мг на 100 г сухой почвы	—	2,43	0,36	0,25	0,24	0,26	—	1,53	0,37	0,26	0,17	0,19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг на 100 г почвы	47,50	31,98	2,21	1,27	1,57	2,55	63,79	24,63	3,51	1,92	2,38	3,28
NH <sub>4</sub> , по Кирсанову, мг на 100 г сухой почвы	27,65	13,43	0,66	0,19	0,26	—	31,18	4,62	0,88	1,02	—	—
Обменный Ca, по Гедройцу, мг·экв на 100 г сухой почвы	—	—	169,70	51,9	26,50	20,50	—	—	47,35	27,79	23,80	22,31
Обменный Mg, по Гедройцу, мг·экв на 100 г сухой почвы	—	—	22,12	9,42	11,34	10,56	—	—	7,51	7,61	7,21	8,01
Сумма обменных оснований	—	—	191,82	61,32	37,84	31,06	—	—	52,86	35,40	31,01	30,32
Гумус, по Тюрину, %	—	—	8,64	4,24	2,50	1,76	—	—	12,60	4,07	2,51	1,37
Фосфор, по Труогу, мг на 100 г сухой почвы	—	—	22,00	18,03	26,00	28,11	—	—	38,51	18,96	9,57	9,0
Валовый фосфор, по Лебедянцеву, мг на 100 г сухой почвы	—	—	256,00	168,00	125,10	132,16	—	—	254,00	159,4	115,0	95,00
Общий азот, %	—	—	0,15	0,10	0,15	0,09	—	—	0,24	0,21	0,16	0,12

Таблица 17 (продолжение)

Показатель	Липово-осоковая						Полевокленовая			
	Генетические горизонты и глубины взятия образцов, см									
	A'' <sub>0</sub>	A' <sub>1</sub>	A'' <sub>1</sub>	A''' <sub>1</sub>	AB <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A' <sub>1</sub>	A'' <sub>1</sub>	AB <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
0-2	2-3	3-10	15-25	30-40	40-50	3-15	15-25	25-30	40-50	
pH водной вытяжки <sup>1</sup>	7,3	7,5	7,6	7,3	7,0	6,8	7,0	5,5	6,5	5,7
Органическое вещество водной вытяжки, %	0,230	0,036	0,021	0,023	0,026	0,028	0,098	0,036	0,052	0,046
Ca <sup>2+</sup> водной вытяжки, мг на 100 г сухой почвы	6,43	0,94	0,81	0,71	0,26	0,28	0,92	0,52	0,65	0,79
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг на 100 г почвы										
Mg <sup>2+</sup> водной вытяжки, мг на 100 г сухой почвы	1,93	0,38	0,30	0,29	0,30	0,19	0,34	0,29	0,31	0,28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг на 100 г почвы	58,84	5,20	2,45	2,30	2,49	—	0,45	1,65	1,26	0,41
NH <sub>4</sub> , по Кирсанову, мг на 100 г сухой почвы	60,51	0,20	0,10	0,42	—	—	2,12	2,40	0,09	0,09
Обменный Са, по Гедройцу, мг·экв на 100 г сухой почвы	—	—	48,00	30,64	27,35	26,50	21,75	12,70	9,42	7,93
Обменный Mg, по Гедройцу, мг·экв на 100 г сухой почвы	—	—	16,85	11,20	6,96	6,80	8,95	6,04	5,45	4,43
Сумма обменных оснований	—	—	64,85	41,84	34,31	33,30	30,70	18,74	14,87	12,32
Гумус, по Тюрину, %	—	—	5,67	3,56	1,19	1,05	12,47	4,68	2,80	0,59
Фосфор, по Труогу, мг на 100 г сухой почвы	—	—	26,0	20,00	19,10	18,0	7,42	5,33	4,56	2,57
Валовый фосфор, по Лебедянцеву, мг на 100 г сухой почвы	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Общий азот, %	—	—	0,24	0,10	0,08	0,07	0,13	0,11	0,09	0,13



В лесостепной зоне при неустойчивом увлажнении почвы водный режим играет очень важную роль. Наибольшие запасы влаги в 4,5—5-метровой толще почвы характерны для снытевой дубравы. Несколько меньше они в ясене-осоково-снытевой, еще меньше в липово-осоковой и бересклетовой дубраве и очень малы — в солонцовой (табл. 18). Чем меньше запасы влаги в почве, тем меньше и расход их за летний период. Низкие запасы влаги в солонцовой и бересклетовой дубравах вызваны повышенным стоком и слабым впитыванием их в почву. Поверхностный сток осадков в солонцовой дубраве равен 128 мм; в бересклетовой — 78 см; полево-кленовой — 55 мм; липово-осоковой — 30 мм и снытевой 25 м.

Т а б л и ц а 18. Баланс влаги в различных типах дубового леса

Дубрава	Запас влаги в почве в начале наблюдения, мм	Запас в конце наблюдений, мм	Разница, мм	Расход влаги, % от суммы осадков				
				суммарное испарение	испарение с крон	испарение с покрова	поверхностный сток	инфильтрация в грунтовые воды
Снытевая	1516	1302	214	54	15,0	19,0	2,6	9,4
Ясене-снытево-осоковая	1496	1289	207	51,6	14,6	19,6	4,2	10,0
Липово-осоково-полево-кленовая	1485	1288	202	50,6	14,1	19,5	8,1	7,7
Полево-кленовая	1467	1268	199	47,5	13,8	20,6	11,4	6,4
Бересклетовая	1481	1328	153	44,1	13,1	21,7	14,6	6,5
Солонцовая	1367	1248	119	38,4	12,7	22,0	19,7	6,4

Наиболее напряженный баланс влаги в почве там, где сильнее выражен поверхностный сток и испарение с поверхности почвы. К таким типам леса следует отнести солонцовую дубраву, несколько лучше водный баланс в бересклетовой дубраве и еще лучше — в полево-кленовой. В этих трех типах леса крайне важно улучшить водный баланс путем траншейного орошения, позволяющего перевести поверхностный сток во внутрипочвенный и грунтовый.

Засоленные почвы — трудный объект для лесоразведения, так как содержащиеся в них легкорастворимые соли отличаются высокой токсичностью, сильно выраженной сухостью, высоким осмотическим давлением почвенных растворов и большой водоудерживающей способностью солонцовых горизонтов, а также неблагоприятными водно-физическими свойствами.

В среднем за 10 лет расход влаги из почвы под пологом 225-летних дубняков не превышает 214 мм в лучших условиях произрастания дуба и 119 мм — в худших. Из общего количества осадков в размере 513 мм больше всего расходуется влаги на суммарное испарение, затем на испарение с поверхности почвы и травяного покрова, со снега, затем испарение с крон. Поверхностный сток выражен тем сильнее, чем хуже условия произрастания, а инфильтрация уменьшается по мере перехода от лучших, темно-серых почв к засоленным.

Существует два вида засоления: содовое, приуроченное к зоне лесостепи и северной степи, и хлоридное, наблюдаемое в основном в южной степи. При содовом засолении концентрация  $\text{CO}_3$  0,01% и более. При засолении в размере 0,02—0,03%  $\text{CO}_3$  лесные культуры гибнут.  $\text{Ca}_2\text{CO}_3$  сильно подщелачивает почвенный раствор. Зато однозамещенная сода  $\text{Ca}_2\text{HCO}_3$  значительно менее вредна, поэтому даже 0,05—0,15%  $\text{HCO}_3$  вредного влияния на рост древесных пород не оказывает.

Хлоридное засоление также вредно влияет на древесную растительность. Хлориды в почве в количестве 0,10% и больше не только на поверхности, но и в глубине почвы действуют губительно на древесную растительность в течение пяти лет после посадки. Даже тамарикс, наиболее солеустойчивая культура, не выдерживает такого высокого содержания в почве хлора.

Сульфат кальция — гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) — безвреден для растений, но сульфат натрия угнетающе действует на древесные породы в количестве от 0,9 до 0,3%  $\text{SO}_4$  (за вычетом  $\text{SO}_4$ , связанной с кальцием гипса).

Чем суше почва, тем сильнее токсичность солей как при содовом, так и при хлоридном засолении. Чем ближе к поверхности почвы залегают легкорастворимые соли в токсических и угнетающих концентрациях, тем сильнее и быстрее проявляется отрицательное влияние их на древесные породы. Даже при залегании солей на глу-

бине 1,5—2,0 м и выщелоченности в верхней части почвы рост древесных пород резко ухудшается. На росте древесных пород отрицательно сказывается не только солонцеватость почвы, но и связанная с ней чрезмерная сухость и плотность солонцовых горизонтов, а также наличие в нижних горизонтах растворимых солей.

В почвах, содержащих большое количество трудно-растворимых солей — гипса и извести (более 8—10%), увеличивается сухость и плотность. Для наиболее солевывносливых древесных и кустарниковых пород: вяза мелколистного, лоха и туранги — могут быть использованы почвы, в которых угнетающие концентрации находятся в пределах 50—100 см, токсические же — на глубине 100—150 см. К этой группе относятся солонцеватые почвы, глубокие и средние солонцы.

Полностью непригодными почвы делаются тогда, когда высокие концентрации наблюдаются по всему почвенному профилю, не исключая и поверхности (солончаки, а также корковые и мелкие солонцы).

Чтобы сделать засоленные почвы лесопригодными и улучшить продуктивность солонцовых дубрав, необходимы мелиорация и орошение. Эта мера, как показывают опыты, заметно улучшает рост древостоев.

Освещенность между кронами деревьев в древостое повышается с переходом от снытевой дубравы к солонцовой, зато на поверхности почвы наибольшее освещение наблюдается в ясене-осоково-снытевой и липово-осоковой дубравах, отличающихся более редким подлеском; наименьшая освещенность отмечена в снытевой, бересклетовой и солонцовой дубравах, имеющих густой подлесок и подрост.

Освещенность под пологом древостоев на высоте 2 м зависит не только от густоты подлеса и подроста, но и от высоты их. В снытевой дубраве высота подлеска достигает 5—6 м, поэтому здесь на высоте 2 м освещенность мало отличается от освещенности на поверхности почвы. В полево-кленовой, бересклетовой и солонцовой дубравах большая часть подроста и подлеска не превышает 2 м, поэтому освещенность на высоте 2 м резко увеличивается,

Наибольшая высота II яруса бывает в снытевой дубраве (20 м), несколько меньше в ясене-осоково-снытевой дубраве (16 м), липово-осоковой — 15 м, полево-

кленовой—14 м, бересклетовой—11 м и солонцовой—5 м.

Над кронами II яруса и между кронами I яруса освещенность составляет почти половину освещенности над кронами и равняется в снытевой дубраве 31 тыс. люкс, в ясене-осоково-снытевой 34 тыс., липово-осоковой 37 тыс., полево-кленовой 39 тыс., бересклетовой 42 тыс. и в солонцовой 48 тыс. люкс при 75 тыс. люкс над кронами всех типов леса.

Слабое проникновение солнечных лучей через II ярус и подрост вызывает существенное изменение термического режима воздуха на высоте 2 м от почвы.

По мере перехода от поляны через солонцовую, бересклетовую и полево-кленовую дубравы в ясене-осоково-снытевую и снытевую летом температура воздуха на высоте 2 м от поверхности почвы снижается. В солонцовой дубраве уменьшение температуры незначительно, зато в снытевой дубраве оно достигает 2,5°, в ясене-осоково-снытевой 2,4°, липово-осоковой—3,5°, в полево-кленовой 1,7°, бересклетовой 1,8° и в солонцовой 1,1°. Даже средняя годовая температура в снытевой дубраве ниже на 0,8°, чем на поляне; в солонцовой дубраве разница между поляной и лесом равна 0,1°.

Различия в температурах почвы зимой и летом также настолько существенны, что в каждом типе леса формируется свой тепловой режим почвы. В результате даже зимой наблюдается разная средняя глубина промерзания почвы. На склонах западной и северо-западной экспозиций в типе леса липово-осоковая дубрава почва промерзает на глубину 31 см, снытевая—

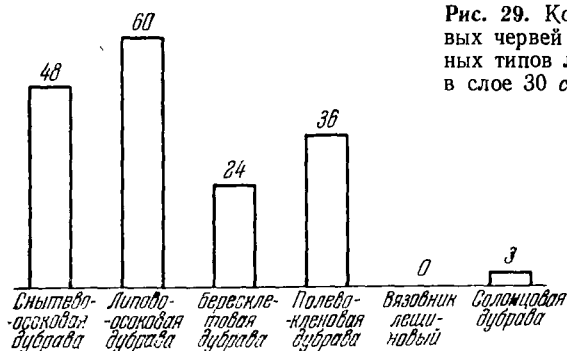


Рис. 29. Количество дождевых червей в почве различных типов леса, шт. на 1 м<sup>2</sup> в слое 30 см



на 21 см, ясене-осоково-снытевая — на 25 см, бересклетовая и солонцовая дубравы — на 14—13 см.

В связи с различным термическим и гидрологическим режимами почв резко меняется количественный и качественный состав почвенной фауны и флоры. Дождевых червей тем меньше, чем менее плодородна и слабее увлажнена почва. Незначительное количество червей бывает в типах леса с засоленными, плохо оструктуренными почвами.

В снытевых и ясене-осоковых дубравах численность дождевых червей по годам колеблется от 32 до 96 шт. на 1 м<sup>2</sup>, в липово-осоковой дубраве — от 31 до 76; в полево-кленовой дубраве — от 15 до 45; в бересклетовой — от 3 до 14 и в солонцовой — от 0 до 5 на 1 м<sup>2</sup> (рис. 29). Если учесть, что в среднем 30 дождевых червей на 1 м<sup>2</sup> в 30-сантиметровом слое почвы могут переработать 1 т/га растительных остатков в год, становится очевидной их огромная роль в процессах почвообразования. Дождевые черви, питаясь опадом, значительно обогащают почву перегноем и увеличивают сумму поглощенных оснований. При наличии дождевых червей содержание подвижных гуматов в почве возрастает и улучшается ее структура. Почвенные животные положительно влияют на рост и развитие разных растений. Г. Н. Высоцкий (1898) наблюдал лучший рост древесных посадок в степях в сухие годы там, где больше дождевых червей. В общем благоприятный для существования леса режим почвы находит отражение в составе почвенной фауны.

Содержание неспорообразующих бактерий повышается от снытевой к ясене-осоковой, бересклетовой дубраве, их несколько меньше в солонцовой дубраве:

Горизонт почвы, см	Осоково-снытевая	Липово-осоковая	Вязовник-лещиновый	Бересклетовая	Солонцовая
0—4	11 400	98 000	235 000	17 300	160 820
4—10	1 680	8 100	9 700	10 400	37 470

Содержание спорообразующих бактерий больше всего в бересклетовой дубраве (табл. 19).

В общем содержание бактерий и грибов возрастает с уменьшением влажности почвы. Исключением является солонцовая дубрава, в почве которой резко сокращается участие спорообразующих бактерий.

**Т а б л и ц а 19.** Содержание спорообразующих бактерий в различных типах дубового леса, тыс. шт. на 1 г сухой почвы

Горизонт почвы, см	Осоково-снитевая	Липово-осоково-снитевая	Вязовник лещичный	Бересклетовая	Солонцовая
Обычный посев					
0—4	20 000	4000	1500	43 000	5620
4—10	6 800	4800	Нет	1 400	2650
Пастеризованный посев					
0—4	6 800	3000	3100	1 200	—
4—10	2 650	3300	540	1 500	—

Целлюлозоразлагающих организмов больше всего в ясене-осоково-снитевой дубраве, несколько меньше в бересклетовой, солонцовой, заметно меньше в снитевой. Пектинообразующих микроорганизмов меньше всего в ясене-осоково-снитевой дубраве, больше всего — в липово-осоковой (табл. 20). Общая численность микроорганизмов в подстилке во всех типах леса почти одина-

**Т а б л и ц а 20.** Количество целлюлозоразлагающих микроорганизмов, в тыс. шт. на 1 г сухой почвы

Горизонт почвы, см	Осоково-снитевая дубрава	Бересклетовая дубрава	Липово-осоковая дубрава	Вязовник лещичный	Солонцовая
Б а к т е р и и					
0—4	500	406	250	1030	308
4—10	120	37	134	445	30
Г р и б ы					
0—4	18	118	106	190	93
4—10	25	10	50	53	8
А к т и н о м и ц е т ы					
0—4	Нет	6	20	180	Нет
4—10	3	9	9	108	3

кова, но в почве их больше всего в осоково-снытевой дубраве.

В солонцовых почвах бактерии, грибы и актиномицеты сосредоточены в основном в самом верхнем слое почвы (0—10 см). Глубже наблюдается резкое снижение их численности (табл. 21). Солонцы характеризуются преобладанием ахромогенных неспорообразующих и

Таблица 21. Общее количество актиномицетов и грибов в различных типах леса, в тыс. на 1 г сухой почвы

Горизонт почвы, см	Осоково-снытевая	Бересклетовая	Липово-осоковая	Вязовник-лещиновый	Солонцовая
<b>Актиномицеты</b>					
0—4	4900	5400	2220	5500	6500
4—10	1920	980	1040	550	750
<b>Грибы</b>					
0—4	880	1360	1210	1240	1480
4—10	65	48	146	40	53
<b>Пектинообразующие</b>					
0—4 (июнь)	2350	1220	440	780	—
4—10	124	128	188	285	—
0—4 (октябрь)	3800	4000	6400	5000	—
4—10	720	396	126	400	—

слабым развитием флуоресцирующих и особенно пигментных бактерий. Отмечается почти полное отсутствие азотобактера и очень низкое содержание нитрофицирующих бактерий в верхнем 10-сантиметровом слое почвы. В солонцовом и подсолонцовом горизонтах нитрификаторов почти нет. Медленное разложение клетчатки в солонцовых почвах вызвано слабым развитием в этих почвах целлюлозоразлагающих бактерий и доминированием актиномицетов. В солонцах преобладают пенecilлиум и грибы рода аспергиллус.

Количественное содержание микроорганизмов (табл. 22) лишь частично характеризует микробиологическую

Т а б л и ц а 22. Содержание микроорганизмов в ризосфере молодых и старых дубов, тыс. шт. на 1 г сухой почвы

Типы леса	Неспорообразующих бактерий		Спорообразующих бактерий		Грибов		Актиномицетов	
	до 50 лет	свыше 150 лет	до 50 лет	свыше 150 лет	до 50 лет	свыше 150 лет	до 50 лет	свыше 150 лет
Осоково-снитевая дубрава	9306	8950	265	346	425	70	3225	4890
Солонцовая дубрава	6400	2800	293	356	354	150	705	1395

деятельность почвы. Оно не дает представления об интенсивности процессов, вызываемых микроорганизмами.

Выделение почвой углекислоты — один из основных показателей биологической активности почвы и интенсивности разложения органического вещества. Разные породы выделяют разное количество углекислоты. В почве под пологом сосново-березовых древостоев выделяется в 30 раз больше углекислоты, чем в поле.

Нельзя считать влажность единственным фактором, обуславливающим сезонные колебания численности микрофлоры. Она зависит от корневых выделений растений, а также от динамики роста активных корней. В период интенсивного развития растений (роста листового аппарата, побегов и активных корней) количество микроорганизмов в почве, прилегающей к корням, значительно возрастает.

В результате взаимодействия перечисленных компонентов биогеоценоза происходит непрерывный процесс обмена веществом и энергией между растительностью, животным миром и микроорганизмами. Интенсивность этого процесса можно проследить на примере интенсивности распада органического вещества, отлагаемого на поверхности почвы.

В снитевой дубраве под влиянием микроорганизмов (без дождевых червей) в течение первого года разрушается 35; в течение второго года 66 и третьего 100% подстилки. В солонцовой дубраве за первый год разлагается 27; за второй — 49 и за третий 76% годового опада.

Деятельность микроорганизмов и беспозвоночных животных способствует ускорению процесса распада органических веществ.

Фитофаги потребляют около 40% создаваемого растениями органического вещества. Значительная часть выделений в процессе их жизнедеятельности, а затем масса их трупов поступает в почву и оказывает существенное влияние на почвообразовательные процессы.

Каждый из перечисленных факторов, естественно, оказывает то или иное действие на продуктивность биогеоценоза.

Как следует из приведенной характеристики основных компонентов типов лесных биогеоценозов в начальный период их естественной спелости, при одинаковой активной радиации коэффициенты использования энергии на фотосинтез и формирование урожаев разными типами леса оказались различными.

Анализ компонентов биогеоценоза в процессе формирования дубовых древостоев показывает такую же закономерность их изменений в пределах одного типа леса, как и в сосновых древостоях. Следовательно, необходимо изучение любого биогеоценоза в динамике по каждой доминирующей в древостое породе. Такой подход позволит обстоятельнее разработать приемы лесного хозяйства и установить время их осуществления.

Направление смен древесных пород в процессе формирования новых древостоев (в нашем случае после рубки) в значительной мере определяется густотой дубовых молодняков, появившихся естественным или искусственным путем, а также примесью к ним кленов полевого, остролистного, липы, ясеня и лещины, возникших порослевым или семенным путем после рубки.

В спелых дубовых древостоях 100—135 лет благодаря сравнительно большой густоте деревьев, равномерному их размещению по площади естественное возобновление после семенных лет происходит успешно. Нередко всходы дуба покрывают всю поверхность почвы. Однако через три года дубки начинают усыхать, превращаются в торчки и к пяти годам остаются лишь отдельные экземпляры.

Под пологом перестойных 200—220-летних древостоев, где деревьев дуба, как правило, не более 80—90 шт/га, после семенных лет нередко встречается

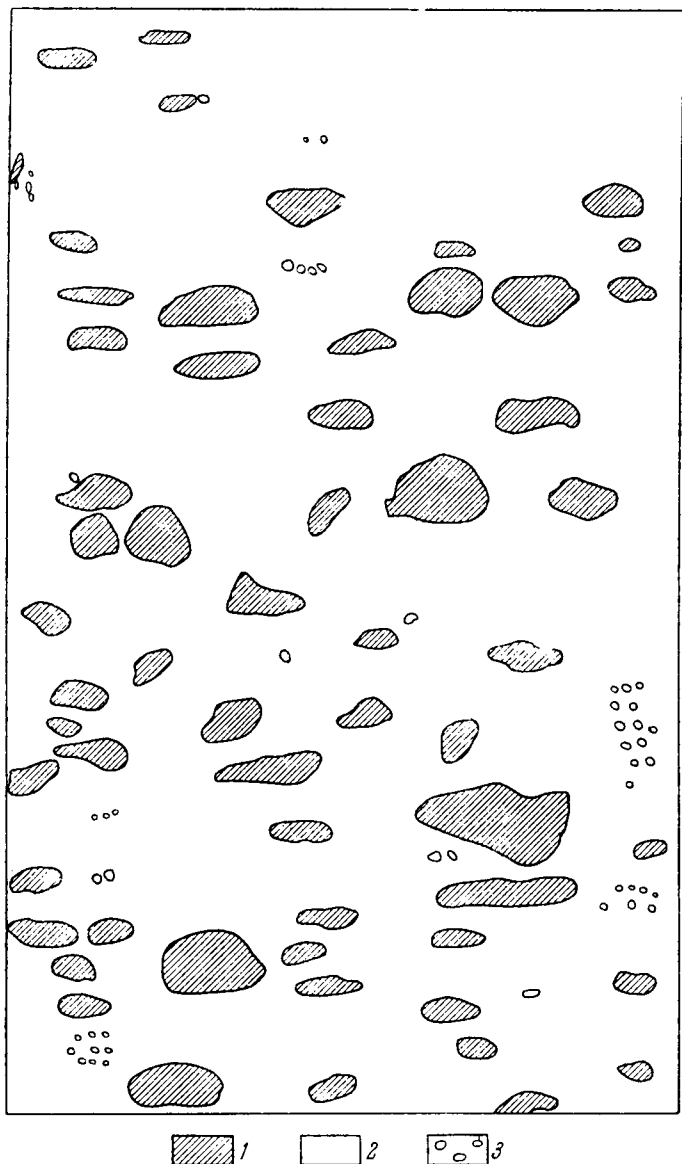


Рис. 30. Северная половина 17-го квартала Теллермановского опытного лесничества с куртинным распределением дуба вокруг старых пней.

1 — густые куртины дуба; 2 — спутники дуба (клен, ясень, липа, ильм); 3 — отдельные деревья дуба

хорошее естественное возобновление подраскидистыми кронами диаметром 30—40 м (рис. 30). В промежутках между кронами поверхность почвы покрыта подростом лещины, клена остролистного и полевого, липы и ясеня. Самосев дуба, возникший под кронами, из-за недостатка света и питательных веществ также начинает отмирать и к пятилетнему возрасту остаются лишь отдельные его экземпляры. Высокий КПД дубового самосева в формировании нового древостоя определяется 1—3-летним возрастом после рубки. Предварительное естественное или искусственное возобновление дуба в возрасте до 3 лет — надежный заместитель вырубаемого древостоя, не вызывающий частых осветлений и прочисток молодняков, так как участвующие в примеси спутники дуба (0,2 по составу) не угнетают его.

При вырубке спелых и перестойных древостоев через 4 и особенно через 5 лет после семенного года предварительное возобновление может сформировать к спелому возрасту дубовый древостой, но он будет редким (80—90 деревьев на 1 га). К тому же этот древостой в молодом возрасте потребует частых систематических уходов.

В целях получения гарантированных результатов лесовосстановления на площадях с недостаточным количеством самосева необходимы культуры дуба с последующим комплексом мер ухода за ними, т. е. прополка, осветлений и прочисток.

Формированию древостоев с преобладающим участием дуба препятствуют ясенево-порослево-и семенные молодняки, а также осина, которая после рубки способна дать более 250 тыс. отпрысков от корней на 1 га.

Ясень, клен полевой, клен остролистный, лещина и осина в первое десятилетие после рубки способны вытеснить весь дубовый молодняк, зато при достижении стадии жердняка последний вытесняет всех своих спутников, за исключением осины.

При любом способе возобновления экологические особенности вырубок в первые годы резко меняются. Поверхность почвы получает в первый год после рубки все то количество солнечной радиации, которое поступает на безлесную поверхность почвы. Так как из бывшей до рубки растительности остается лишь самосев дуба и те редкие виды, которые были под пологом леса, само-

сев значительно улучшается под влиянием радиации. Средняя температура воздуха на 25-метровых вырубках повышается по сравнению с температурой в окне на  $0,1^{\circ}$ ; на 35-метровых — на  $0,2^{\circ}$ ; на 50-метровых — на  $0,4^{\circ}$ ; на 100-метровых — на  $1,4^{\circ}$  и на 300-метровых — на  $1,5^{\circ}$ . Поздние весенние заморозки на 25- и 35-метровых вырубках — редкое исключение, а на 50-метровых температура довольно часто достигает  $-1,2^{\circ}$ ; на 100-метровых она понижается до  $-2,0^{\circ}$ , на 280-метровых до  $-4,0^{\circ}$ . Скорость ветра, направленного поперек вырубки, при ширине ее более 50 м начинает заметно увеличиваться. На середине вырубки шириной 50 м она равна 3,5% открытого большого поля, на 100-метровой — 20%, на 300-метровой — 52%.

Запасы воды в снеге выше всего в окне. Если принять их за 100%, на 25-метровых вырубках запас будет составлять 88%; на 50-метровых — 67, на 100-метровых — 58 и на 300-метровых — 47%. В тесной связи с глубиной снега меняется и промерзание почвы: В окне оно не превышает 10 см; на 50-метровой вырубке — 55 см; на 100-метровой — 65 и на 300-метровой — 80 см.

Коэффициент стока атмосферных осадков также возрастает с шириной вырубки. В окнах размерами  $30 \times 30$  м поверхностного стока обычно нет, на 25-метровой вырубке он равен 0,03%; на 50-метровой — 0,10; на 100-метровой — 0,28; на 280-метровой — 0,35%. В то же время на вырубке с сильно расчлененным рельефом коэффициент стока достигает 0,63.

В первый год после рубки испарение сильно падает, а затем по мере формирования растительности увеличивается. Эта закономерность нарушается только в годы с недостаточным количеством осадков. Ширина вырубков также влияет на изменение испарения. Меньшая испаряемость отмечается на узких, 35-метровых вырубках; по мере увеличения их ширины она увеличивается.

Рост древесной и травяной растительности зависит от запасов влаги в двух верхних 50-сантиметровых слоях. В первые 2—3 года после рубки на более узких вырубках запасы влаги в первом и особенно во втором 50-сантиметровом слое почвы осенью больше, чем на широких. Максимальные запасы влаги отмечаются в середине окон, возникших после группово-выборочных



рубок, затем на 25-метровых вырубках, еще меньше на 35—50-метровых и, наконец, на 100-метровых.

С возрастом вырубки, а следовательно, и с увеличением прироста древесины, запасы влаги в почве резко сокращаются. Трехлетняя рубка расходует столько же влаги, сколько и взрослый древостой. Уцелевший в процессе рубки дубовый самосев на освещенной вырубке в течение первых двух лет развивает глубокую, разветвленную корневую систему и усиливает ассимиляционный аппарат.

После рубки сравнительно густого спелого леса, а также после удаления толстых, с раскидистыми кронами дубовых деревьев в перестойных древостоях 220—230 лет заселение бывшей подкронной части площади лещиной, ясенем, липой и кленами остролистным и полевым несколько замедляется, так как этих пород под пологом дуба в стадии подроста бывает мало. Незначительное количество подростов-спутников на площади, занятой до рубки раскидистыми кронами дуба, обеспечивает после рубки развитие мощной корневой системы и крон самосева дуба. Окрепшие на свету дубки при отсутствии в течение двух лет конкуренции со спутниками несколько дольше выдерживают угнетение развившейся порослью ясеня, лещины и других пород. Однако через 4—5 лет после рубки условия роста дуба всюду резко ухудшаются вследствие затенения, иссушения почвы и перехватывания питательных веществ густыми, поверхностно расположенными кронами ясеня. Наряду с этим выделение корнями ясеня токсических веществ еще больше замедляет и ухудшает рост молодых дубков. Для создания высокопродуктивных дубовых древостоев необходимо к ним примешивать 0,2 клена остролистного и липы, а также 0,1, не более 0,2 ясеня (Молчанов и Губарева, 1965).

По данным В. А. Губаревой, средняя высота 6-летних культур дуба с участием ясеня в пределах 0,7—0,8 равна  $0,8 \pm 0,07$  м, при участии 0,5—0,6 ясеня —  $1,0 \pm 0,12$  и при 0,1—0,2 она равна  $1,8 \pm 0,13$  м. Таким образом, темпы роста дуба в высоту существенно меняются в зависимости от доли участия ясеня в составе молодняков дуба и от густоты ясеня в междурядьях.

Можно было не касаться отрицательной роли ясеня при выращивании дубовых насаждений, если бы ясене-

вые древостои отличались достаточной устойчивостью в период кульминации текущего прироста в засушливые годы. Они в этот период роста сильно иссушают почву и вследствие ослабления повреждаются ясеневым лубо-едом. В молодости они повреждаются заморозками и высыхают.

Анализ экологических условий на вырубках разной ширины позволил выяснить резкие различия в условиях среды на 1—2-летних вырубках и их постепенное приближение с течением времени к типичной лесной обстановке. За счет разложения подстилки корней и порубочных остатков в первые два года после рубки в почве содержится в два раза больше гумуса, чем через 5 и 9 лет. Свежая вырубка обогащается минеральными веществами. С возрастом из-за ежегодного увеличения прироста органического вещества вынос элементов питания увеличивается. Доля веса листьев, которые ежегодно превращаются в опад в 5-летнем возрасте, составляет 25%, в 10-летнем — 17,0%. С возрастом древостоя она постепенно уменьшается, составляя в 40-летнем возрасте — 3,1; в 60-летнем — 1,9; в 100-летнем 1,1 и в 220-летнем — только 0,9% веса стволов на 1 га. Аналогичные соотношения наблюдаются у осины, сосны, ели и лиственницы (рис. 31).

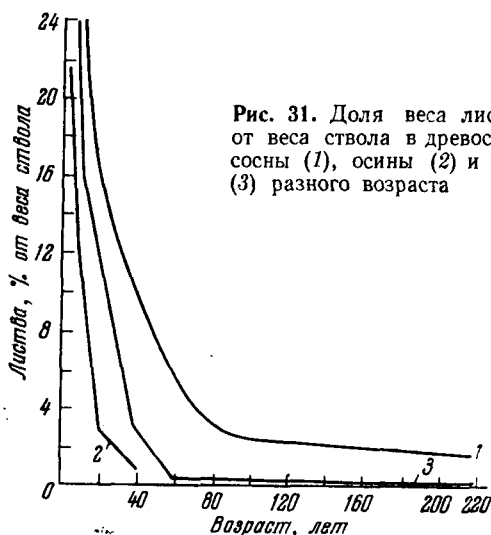


Рис. 31. Доля веса листьев от веса ствола в древостоях сосны (1), осины (2) и дуба (3) разного возраста

Наибольший опад листвы наблюдается на вырубках 50-метровой ширины (2650 кг/га); близкая к ним масса опада образуется на 35-метровых вырубках (2500 кг/га); несколько меньше на 100-метровых (2450), еще меньше на 25-метровых (2400) и на 300-метровых (около 2000 кг/га). Наибольшая масса травяного покрова бывает на узких 35-метровых вырубках — 3890 кг, на 50-метровых — 3690 кг. Масса подстилки с увеличением ширины вырубок уменьшается от 13,71 до 8,6 т/га (рис. 32).

Сплошная рубка дубового леса вызывает изменение в составе и численности микроорганизмов. Эти изменения зависят от видового состава растений, формирующихся на вырубках. Общая обсемененность микроорганизмами подстилки после рубки, по данным С. В. Егоровой и Т. Н. Полиевской, уменьшается в основном за счет неспорообразующих бактерий, а также актиномицетов и микроскопических грибов.

На вырубках разного возраста она зависит от влажности подстилок. Наиболее быстро затухают микробиологические процессы в начале лета на свежей рубке. На 2-летней рубке наблюдается наименьшее количество микроорганизмов, развивающихся после рубки леса. В подстилке на вырубках 3—4-летней давности микрофлора развивается за счет отмирающей массы травяных растений и опада листвы.

На микрофлоре почвы рубка леса отражается иначе. В верхнем слое почвы (2—12 см) условия для ее развития становятся более благоприятными, чем в лесу. Здесь хорошо развиваются неспорообразующие бактерии, участвующие в разложении свежего органического вещества, которые способны расти на отдельных аминокислотах и минеральных источниках азота. Это объясняется быстрым развитием травяного покрова, ризосфера которого богата этими бактериями, а также обогащением почвы свежим органическим веществом и сдвигом рН почвы в щелочную сторону. Лежащий ниже слой почвы (19—22 см) на рубке, где корней травянистых растений меньше, беднее микроорганизмами по сравнению с тем же слоем почвы в лесу. В лесу он богат живыми корнями древесных и кустарниковых пород, вследствие чего в нем развивается соответствующая микрофлора.

В первые годы после рубки процессы нитрификации в начале лета снижаются, на вырубках 3—4-летней давности нитрификация становится такой же, как в лесу.

Деятельность микроорганизмов, принимающих участие в разложении органических веществ подстилок и почв, зависит от ширины вырубок. В верхнем слое почвы (2—12 см) микроорганизмы обильнее развиваются на 35-метровой вырубке, более влажной, чем 50-метровая.

Микрофлора почв по мере роста молодняков меняется вследствие высокой отзывчивости ее на малейшие изменения состава и сомкнутости древостоя. Мы знаем, что с возрастом древостоев существенно изменяются запасы влаги в почве, освещение под пологом леса, температура воздуха и почвы, количественный и качественный состав опада и подстилки, органические и неорганические вещества. Все они в совокупности создают соответственные условия для жизнедеятельности микроорганизмов и почвенных животных.

Отпад и опад за всю длительную жизнь дубовых древостоев можно проследить на рис. 32. Ежегодный опад листьев, цветов, коры и травяного покрова дает представление о количестве органического вещества, перерабатываемого микроорганизмами. Уместно отметить, что отпад ствольной органической массы наиболее интенсивно используется растениями спустя некоторое время после попадания на почву. Например, в Архангельской области поселение ели на упавших стволах (колодах) и пнях происходит при возникновении гнили третьей стадии. На периферии еловых

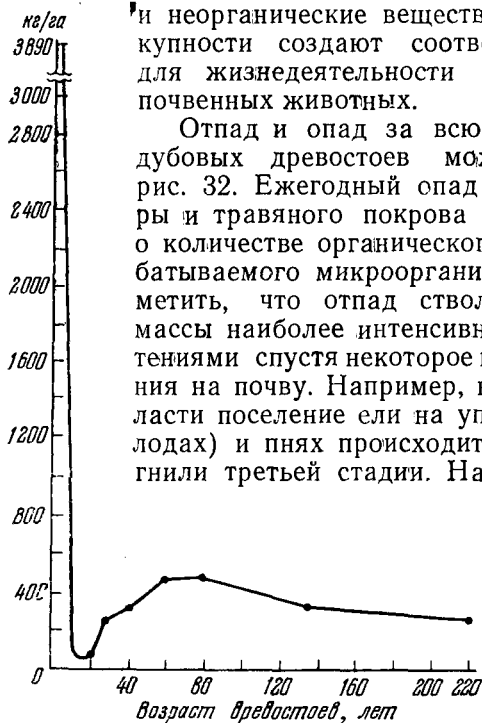


Рис. 32. Ежегодная масса травяного покрова на трехлетней вырубке и под пологом осоково-снытевой дубравы разного возраста

стволов проникновение гнили III стадии на глубину до 5 см наступает через 8—10 лет, у сосны — через 25—30 лет, у лиственницы — через 30—40 лет. Полный распад стволовой древесины происходит у ели через 25 лет, у сосны — через 90 лет. Мелкие ветви, цветы и листва разрушаются микроорганизмами в полной мере в первый год после выпадения, и продукты распада используются для питания в этот же год.

В соответствии с поступлением опада и отпада из древостоя изменяется и численность микроорганизмов. По исследованиям О. И. Пушкинской, при посеве актиномицетов бактерий на крахмально-аммиачный агар обнаружено, что наибольшее количество их сосредоточено в почвах под молодыми дубками (см. рис. 33). Та же закономерность сохраняется в отношении общего числа неспорообразующих, пигментных и некоторых спорообразующих бактерий (рис. 34). Зато общее количество спорообразующих бактерий, микобактерий и их активность заметно возрастают в почвах под старым лесом. Это свидетельствует о затухании некоторых микробиологических процессов при старении леса и замене их другими. Уменьшение численности бактерий и грибов, выросших на стекле, показано на рис. 35.

Несколько иные соотношения наблюдаются и среди микроорганизмов, развивающихся на синтетической крахмало-аммиачной среде. Происходит постепенное уменьшение количества бактерий, особенно в старовозрастных древостоях, зато заметно вырастает здесь количество актиномицетов.

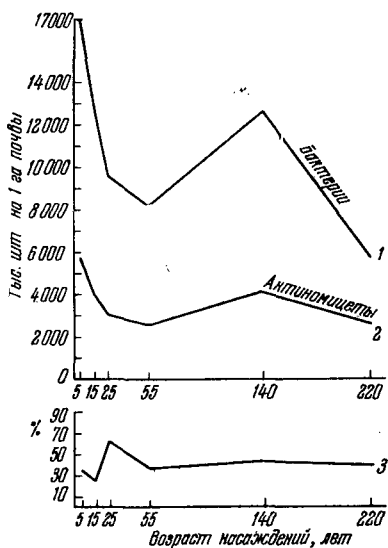


Рис. 33. Содержание микрофлоры в дубовых древостоях разного возраста

1 — актиномицеты; 2 — неспорообразующие бактерии; 3 — спорообразующие бактерии; 4 — грибы

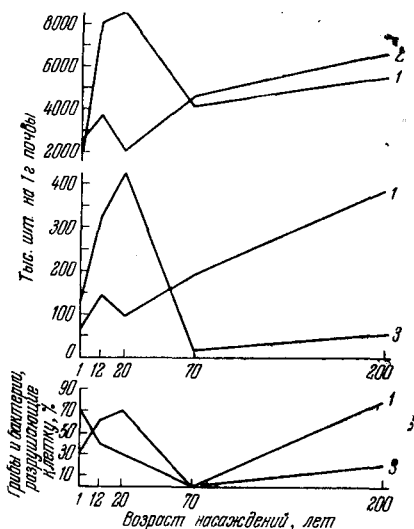


Рис. 34. Содержание бактерий (1), актиномицетов (2) и грибов (3) в лесных почвах под пологом дубовых древостоев разного возраста

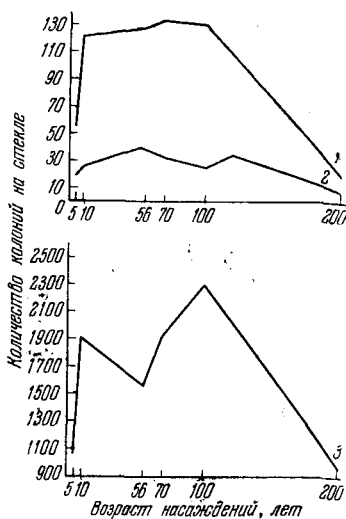


Рис. 35. Содержание грибов и бактерий в древостоях различного возраста

1 — грибы; 2 — *Bacillus mycoloides*; 3 — общее количество бактерий

Общая численность микроорганизмов, участвующих в разрушении органического вещества, приводится на рис. 36.

В первый год после рубки благодаря создавшимся благоприятным условиям для распада органических веществ в подстилке почвенная фауна увеличивается. Но, так как эти условия благоприятны для сорной растительности, семена которой сохранялись в подстилке, почвенная фауна в связи со сменой растительности на второй год сокращается в три раза. Особенно уменьшается численность цикад, дождевых червей и хилопод. На третий год, когда сорняки достигают максимального развития и за счет опада трав резко возрастает подстилка, а вслед за этим повышается влажность верхних горизонтов почвы, численность хилопод, дождевых червей и мерлитид снова возрастает и на этом уровне остается на четвертый год. Через 4 года после рубки в состав растительности входит хорошо выраженный дре-

весный ярус из лещины, ясеня, клена остролистного и липы, оказывающий качественно иное влияние как на почву, так и на ее фауну.

Через 9 лет после рубки почвенных животных снова становится больше. Этому способствует затенение и хорошо сформировавшаяся подстилка из опада листьев разных древесных пород. В 9—10-летних молодняках доминируют уже цикады, а количество дождевых червей такое же, как и на вырубках 5-летнего возраста. Видовой состав 10-летних молодняков близок к составу 24—29-летних древостоев. В 24-летнем возрасте численность беспозвоночных и основных групп животных возрастает до 300 шт. на 1 м<sup>2</sup>. Этому способствует смешанная по составу подстилка. В дальнейшем смешанные древостои превращаются в чистые дубовые, вследствие чего в 30-летнем возрасте опадают в основном дубовые листья и численность почвенной фауны снижается до 172 на 1 м<sup>2</sup>. Наряду с этим резко снижается и влажность почвы.

В засушливое время в 30-летних древостоях крупные беспозвоночные впадают в состояние анабиоза. Резко снижается численность кивсяков, которые активно участвуют в переработке органического вещества (один кивсяк съедает за сутки 10—11 мг дубового опада). При плотности кивсяков 50 экз. на 1 м<sup>2</sup> за весь вегетационный период перерабатывается около 25—30% листового опада.

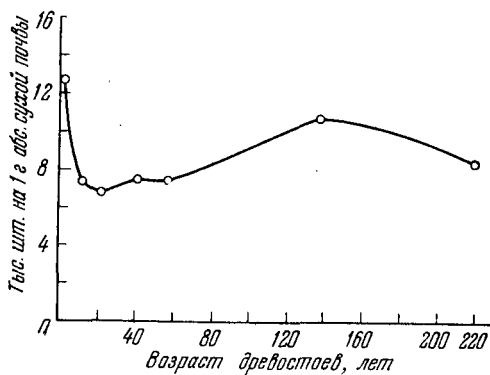


Рис. 36. Общая численность микроорганизмов в древостоях различного возраста

Количество дождевых червей в древостоях разного возраста меняется следующим образом:

Возраст, лет	Число дождевых червей на 1 м <sup>2</sup>		
	наибольшее	наименьшее	среднее
20	118	67	98,4
28	108	44	58,4
43	88	36	62,8
57	84	44	59,2
220	48	24	35,2

Дождевые черви активно участвуют в разложении листьев. За опытный период, длившийся с I.V по 15.VIII 1961 г., черви разложили 58% листьев дуба, 73 — липы, 79 — лещины и 76 — ясеня. В это же время в контрольных сосудах черви соответственно разложили листьев 11,7, 13 и 14% первоначального веса. Аналогичные данные получены Т. С. Перель в других условиях. При неустойчивом увлажнении в лесостепной зоне условия жизни для дождевых червей не всегда благоприятны, особенно для видов, живущих на поверхности.

Вырубка лесов вызывает сокращение численности птиц. На площадях группово-выборочной рубки их обитает до 22 пар, на вырубках 25-метровой ширины — до 15; на 35-метровой — до 12; на 50-метровой — до 10, и на 100-метровой — только до 6 пар гнездящихся птиц (Королькова, 1963). Зато под пологом дубовых молодых и старых древостоев их насчитывается гораздо больше:

Возраст древесных пород, лет	4	22	45	55	220
Число пар гнездящихся птиц	12	4	8	9—15	18—25
Число встреченных в древостое	22	17	32	37	46

Устойчивость естественных и искусственных молодых насаждений зависит от численности вредной энтомофауны. Давно известно, что одни животные приносят дереву пользу, другие — действуют на него отрицательно. Большой вред причиняют дубовым древостоям непарный шелкопряд, дубовая листовертка, кольчатый шелкопряд и др. К определенным типам леса обычно приурочен не один какой-либо вид животных, а обычно группа их, связанная между собой борьбой за существование. Птицы заметно регулируют численность и замедляют наступление массового размножения вредных насекомых. Не меньшее значение для леса имеют грибы — раз-



рушители древесины. Видовой состав грибов на разных стадиях развития древостоев резко меняется. На сеянцах-дубах, ослабленный засухой, заморозками, солнечным перегревом и насекомыми, появляются грибы: альтернария тениус, фузариум, *Pestalocchia truncata* и др.

Процент поражения сеянцев фузариозом на темно-серых лесных почвах варьирует от 10 до 15%, на солонцах — от 12 до 15%. Чем больше воздействие прямых солнечных лучей, тем сильнее выражено повреждение. Под пологом леса и под защитой лещины этих повреждений не бывает.

В 10—15-летних дубняках встречаются грибы *Clitrus quercina*, *Willeminia limed*, *Libertella faginea*, *Diatrypella Stigma* (опенок), *Armillana melea*. Они находят благоприятную обстановку для существования в сомкнутых древостоях, но при нормальном росте молодняков вреда деревьям не причиняют, а содействуют очищению стволов от сучьев. Но при сомкнутости молодняков в пределах 0,3—0,5 они повреждают периферию ствола и вызывают усыхание деревьев. В этом же возрасте особенно опасны раковые заболевания, вызванные грибом *Fomes robustus*. Он вызывает отмирание коры, луба и камбия.

Смыкание молодняков в лесостепной зоне происходит в 10—15 лет. С этого времени сформированный древостой претерпевает изменения в результате перехода из молодой стадии в жердняковую, приспевающую, затем спелую и, наконец, в перестойную. В результате возрастных изменений резко меняются сомкнутость древостоев, вертикальная ярусность, освещенность и т. д. В стадии жердняка (20—30 лет) около 9% дубовых деревьев поражено (*Willeminia comendens*, диатрепия минута и клитрус кверцина); в особо густых древостоях первым грибом повреждается до 15% стволов. В этом же классе возраста появляются первые плодовые тела *Fomes robustus*.

Под пологом 30—40-летних древостоев в снытевой и ясене-осоково-снытевой дубравах наиболее сильно ослабляется солнечная радиация и освещенность, что вызывает снижение температуры воздуха и почвы, ослабление прироста всасывающих и проводящих корней, заметное затухание деятельности спорообразующих бактерий и актиномицетов в почве. Усиливается деятельность грибов *Vas. micoides*; уменьшается содержа-

ние обменных оснований в почве. В результате усиливаются конкурентные взаимоотношения между деревьями и дифференциация их в древостое. Сильно возрастает вовлечение в круговорот органических и минеральных веществ, азота. С этого периода усиливается перемещение минеральных веществ на поверхность, корнепад достигает 150—280 кг/га.

Основными грибами разрушителями древесины в 30—40-летнем возрасте являются *Fomes robustos*, которым повреждается 6% деревьев; этот же гриб вызывает поражение 1% деревьев раковыми заболеваниями.

В 60-летних древостоях состав грибов меняется на виды, свойственные спелым древостоям. Здесь распространены: *Polyporus dryophilus*, *Fomes robustos*, *Polyporus sulphureus*, *Polyporus croceus*, *Festulina hepatica* и др. Попутно еще раз отметим, что в спелом 100-летнем возрасте этими грибами поражается 10—11, в 135-летнем — 19,8, а в 220-летнем — до 30% деревьев.

В 40—60-летних древостоях транспирация и испарение достигают максимума, уменьшается инфильтрация воды в почвогрунт и поверхностный сток, а также вместе с атмосферными и грунтовыми водами сокращается миграция из древостоя минеральных веществ. Повышенные расходы воды на транспирацию и испарение пони-

Таблица 23. Прирост основной биомассы в 30-летней дубраве за год в абсолютно сухом состоянии

Органическая масса			
растений	т/га	животных	т/га
Древесины		Пушных	0,0001
стволов	5,84	Пернатых	0,0002
корней	0,32	Хищных пернатых	0,0002
Листвы	4,24	Копытных	0,00075
Почечных чешуй цветов и плодов	0,70	Почвенная фауна	0,0048
Отпад деревьев	2,66	Мышевидных грызунов	0,0009
Семян	0,116		
Травяного покрова	0,28		
Итого	13,876		0,0088

жают влажность почвы, вызывают уменьшение почвенной фауны и снижение микробиологической деятельности, увеличение мощности подстилки. К концу 60-летнего возраста древостоев текущий прирост достигает кульминации, а расход воды на 1 м<sup>3</sup> прироста снижается до минимума. В этот период особо рационально используется влага почвы. Отпад деревьев и опад листьев и ветвей достигает максимума, а опад мелких корней — 300 кг/га.

В каждом взятом наудачу

возрасте древостоя производится в процессе его роста во времени значительно больше органического материала, чем мы можем зафиксировать при единовременном учете, так как в процессе формирования и роста любого

древостоя происходит непрерывное обновление, а также отпад и опад органической массы (рис. 37). Общее непрерывное нарастание органической массы в ясене - осоково - снытевой дубраве, а также массы растущей части дубравы, характеризуется данными табл. 23.

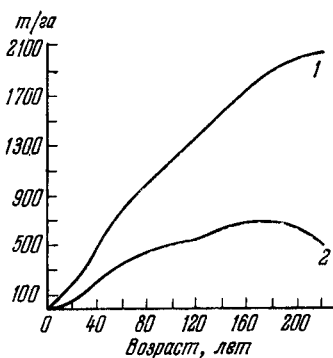


Рис. 37. Общая продуктивность органических веществ (1) и цветущей части (2)

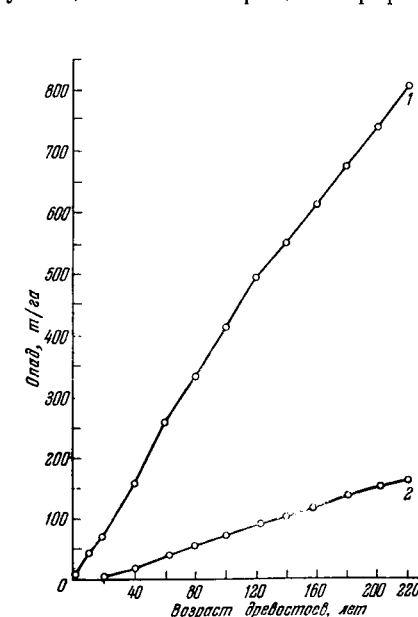


Рис. 38. Опад листьев, цветов мелких ветвей и почечных чешуй в древостоях различного возраста (нарастающим итогом)

1—листья; 2—кора, цветы, мелкие ветви и почечные чешуйки

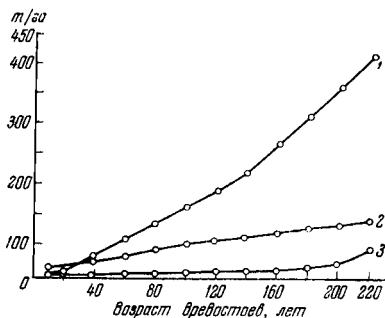


Рис. 39. Масса оппада ствольной древесины (1), ветвей (2) и оппада травяного покрова (3) в ясене-осоково-снытевой дубраве, в древостоях разного возраста

Общий прирост биомассы равен 14,165 т/га, при этом не учтены микроорганизмы, масса которых требует уточнения. За последнее время она оценивается в 10 т/га, однако эта величина не совсем достоверна.

В том и другом случае учтена масса стволов, корней, листьев, цветков, семян, травяного покрова и почвенных чешуй. Разница между общей продуктивностью и растущей характеризует массу оппада этих же элементов древостоя, которая, как видим, составляет внушительную величину и является базой для питания растений азотом и минеральными веществами, часть которых выносятся за пределы биогеоценоза и мигрирует в глубже лежащие горизонты почвогрунта.

Интегральное выражение взаимосвязей всех компонентов биогеоценоза во времени для нарастающей органической массы определяется уравнением, близким к прямой, а одной растущей части — уравнением параболы

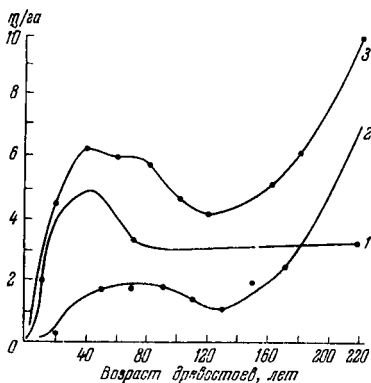
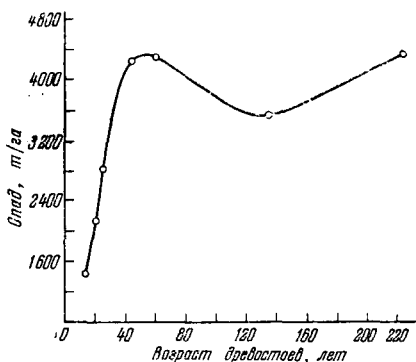


Рис. 40. Ежегодный опад в древостоях разного возраста ясене-осоково-снытевой дубравы

1 — листья; 2 — ветвей, стволов и корней; 3 — общий опад и опад органического вещества

Рис. 41. Общая масса опада в абсолютно сухом состоянии в осоково-снытевой дубраве различного возраста



Из общей массы опада и опада наибольший интерес представляет опад листвы, коры, цветков, мелких ветвей, почечных чешуек, семян, ежегодно поступающий на поверхность почвы и быстро вовлекаемый в биогеоценотический процесс (рис. 38). Отпад стволов, ветвей травяного покрова представлен на рис. 39. Годичный опад органического вещества приводится на рис. 40.

Масса опада в продолжение жизни древостоя меняется. В период кульминации текущего прироста ее больше, в спелом возрасте меньше, в перестойном он снова повышается за счет листвы II яруса, подроста и подлеска.

Листва и мелкие ветви дуба за год после выпадения на землю теряют в весе 35%, клена остролистного и лещины — 55, ясеня 67 и ильма 69; за два года потери в весе листьев составляют у дуба 67, липовых — 63, ясеневых — 78 и ильмовых — 70%.

Распределение питательных веществ, углерода и энергии в свежевыпавшей подстилке дубовых 30-летних древостоев и в атмосферных осадках выражается такими показателями. Количество органических веществ, поступивших в подстилку за счет опада, равно 4250 кг/га; за счет осадков, проникших сквозь кроны, 507 кг/га, из которых вымылось из полога 389 и содержалось в осадках над пологом 118 кг/га. Количество энергии в 10<sup>6</sup> ккал на 1 га в подстилке, равной 4250 кг/га, составляет 98,5, в осадках — 11,4, в том числе вымытых из полога — 9,8 и в осадках над пологом — 1,9.

Содержание азота в подстилке равно 82%, в осадках, проникших под кроны — 18, в осадках над кронами — 2

и вымыто из полога — 8%, углерода — соответственно 90, 10, 8 и 20%.

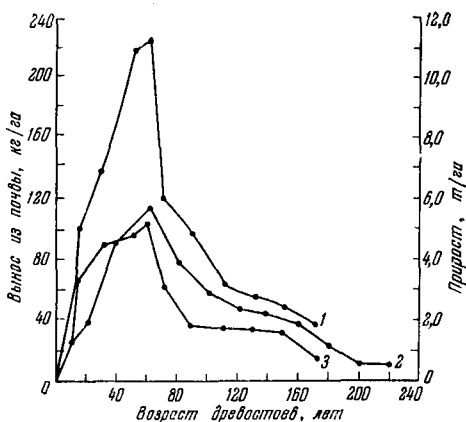
Отпад древесного яруса, особенно ствола и ветвей, в перестойном древостое разрушается медленнее и поступает в интенсивный круговорот под воздействием грибов, насекомых, микроорганизмов и почвенной фауны заметно позднее. Ежегодный опад листвы, опад стволов крупных ветвей и корней и общая масса отражены на рис. 41.

Смесь различных продуктов опада обеспечивает поступление минеральных веществ и азота в почву в течение продолжительного времени, не менее 50 лет (особенно стволов, пней и корней), тем более что в период массового опада численность микроорганизмов и почвенной фауны заметно сокращается. Тем не менее отмершая и отложившаяся на почву органическая масса разрушается микрофлорой, микроорганизмами и насекомыми при участии воды и кислот почвы. Продукты распада органического вещества поступают в почвенный раствор и служат средой для всего животного населения почвы и микроорганизмов и для создания новой органической массы каждый год. Этот процесс идет также непрерывно, с тем или иным постоянством поступления на почву органической массы и темпами убыли или наращивания ее. Последнее зависит от наличия влаги в почве и питательных веществ в растворах. Чем интенсивнее идет процесс роста и жизнедеятельности микроорганизмов в почве, тем продуктивнее произрастающая на ней растительность. Естественно, малоплодородные почвы содержат недостаточное количество питания и микробы развиваются слабо. Здесь низка и продуктивность древостоя, а при незначительном ежегодном приросте всей органической массы меньше извлекается из почвы минеральных веществ и азота. Масса минеральных веществ, вовлеченных за год во все растения и отдельно в деревья, в зависимости от текущего прироста древесной и всей органической массой, в разные возрасты древостоя приведена на рис. 42.

Общее вовлечение в круговорот минеральных веществ и азота в процессе формирования древостоя по двадцатилетиям приводится на рис. 43. Мы видим, что в процессе роста значительно больше минеральных веществ и азота извлекается из почвы, чем аккумулируется в фитоценозе. В годы повышенного прироста в ежегодном круговороте

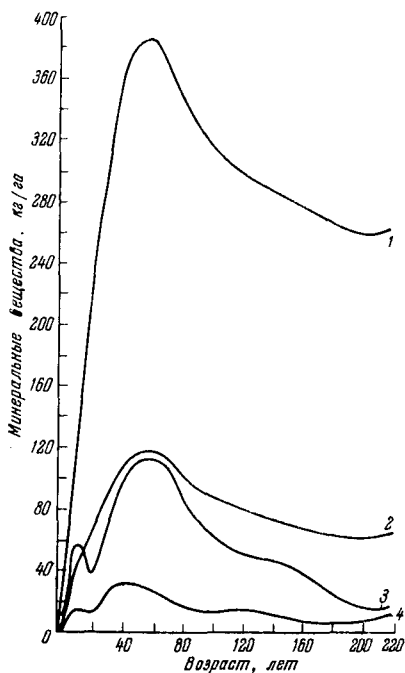
**Рис. 42.** Вынос из почвы минеральных веществ и азота в древостоях разного возраста ясене-осоково-снытевой дубравы в зависимости от текущего прироста

1 — прирост (т/га); 2 — минеральные вещества (в кг/га); 3 — азот (в кг/га)



**Рис. 43.** Вовлечение в круговорот и вынос минеральных веществ и азота в пределах 20-летних классов возраста дуба.

1 — количество минеральных веществ, отложившихся с отпадом древесины и опадом листвы; 2 — то же, азота; 3 — вынос минеральных веществ из почвы; 4 — вынос азота



участвует больше минеральных веществ. Это исключительно важное явление позволяет растущему древостою ежегодно получать необходимое количество питательных веществ даже при условии смыывания части их в глублежащие горизонты грунта, выноса в процессе поверхностного и внутрипочвенного стока из пределов изучаемого биогеоценоза в соседние.

На продуктивность древостоев отдельные факторы могут оказывать не только положительное влияние. Например, высокая сомкнутость древостоев, малая освещенность, отрицательный гидротермический режим, напряженные внутривидовые и межвидовые отношения между деревьями удлиняют сроки наступления спелости леса, не давая крупного сортимента. В этот период нужны прореживания. При наметившемся неудовлетворительном взаимодействии древесной растительности с почвой весьма целесообразны проходные рубки, направленные на удаление деревьев с плохим приростом и пораженных грибами-разрушителями стволовой древесины. В 40-летнем возрасте уже 4,3% деревьев поражены грибами-разрушителями; в 60-летнем — 7,0, в 135-летнем древостое — 19,8, в 220-летнем — 28%. Проходные рубки ускоряют наступление спелости леса и содействуют экономному расходованию почвенной влаги на 1 м<sup>3</sup> текущего прироста. В снытевой и ясене-осоково-снытевой дубравах очень большое потребление влаги на 1 м<sup>3</sup> прироста наступает в одновозрастных древостоях в 140 лет, в разновозрастных — в 160 лет. Таким образом, разновозрастные леса в водоохранном отношении заметно выгоднее, чем одновозрастные.

В спелых 120—135-летних древостоях выход деловой пиловочной древесины достигает максимума. С повышением возраста вследствие увеличения инфекционных заболеваний, вызывающих разрушение древесины, он понижается, и в 220—230-летних древостоях падает до 42%. В этом возрасте прирост древесины меньше, чем масса отмирающих деревьев вследствие наступления естественной спелости.

Таким образом, процесс взаимодействия солнечной энергии с растительностью, углекислотой и водой, накопление в результате этого органической массы, возврат ее в почву и превращение во времени находятся в тесной связи с атмосферой, микроорганизмами и животным ми-



ром. Все эти компоненты составляют единую динамическую систему.

Нетрудно видеть, что биогеоценозы в течение всей жизни непрерывно пополняют запасы органических веществ и азота за счет опада и отпада, формирующих подстилку. За последнее время на изучение лесной подстилки обращено много внимания. Масса подстилки меняется по зонам. Наибольшая наблюдается в подзоне северной тайги. Если принять за 100% массу подстилки в бору-брусничнике (21 т/га в абсолютно сухом состоянии), то в подзоне смешанных лесов Московской области она составит 75, в Брянской области — 68 и в Хреновском бору — 60%. В пределах лесорастительной зоны эта масса изменяется в зависимости от типов леса. В северной тайге Архангельской области она составляет в лишайниковом бору 28, в лишайниково-мшистом — 37, в сосняке-черничнике — 160, в долгомошнике — 195% и в сфагновом сосняке — 510%. Аналогичное соотношение наблюдается в подзоне хвойно-широколиственных лесов в Брянской области и в Хреновском бору. В Воронежской области масса подстилки меняется с изменением состава древостоев, а в пределах одного типа леса — с их возрастом, будучи наибольшей в стадии жердняка, точнее в период кульминации текущего прироста (Молчанов, 1952).

В дубовых древостоях масса подстилки увеличивается до 40—50-летнего возраста, затем начинает уменьшаться и снова увеличивается вследствие развития густого второго яруса и подлеска под пологом изреженного 200—250-летнего дуба. Наименьшая масса подстилки наблюдается в конце августа и начале сентября (Мина, 1954; Молчанов, 1964).

Чем медленнее разлагается подстилка, тем больше ее мощность и тем медленнее протекает круговорот минеральных веществ и ниже продуктивность леса.

Верхняя часть подстилки состоит из свежего, неразложившегося опада, под которым находится второй, или средний, слой различного сложения с ясно выраженной структурой хвои и листьев; в третьем, или нижнем горизонте структура компонентов утрачена, эта часть целиком состоит из гумуса.

Доля верхнего горизонта подстилки меняется в зависимости от типов леса. В лишайниково-мшистом бору он

составляет 11%; на средний горизонт приходится 41, на нижний — 48%. В брусничнике соответственно 9, 34 и 57%; в черничнике — 2,16 и 82%. Часть (25%) нижнего горизонта в черничнике представлена грубым гумусом.

Горизонты лесной подстилки различаются по физическим и химическим свойствам и прежде всего по объемному весу. В брусничном сосновом бору в верхнем горизонте подстилки он колеблется от 0,04 до 0,08, в среднем — от 0,09 до 0,13 и в нижнем горизонте — от 0,14 до 0,29. В ельнике-зеленомошнике объемный вес в верхнем горизонте подстилки варьирует от 0,06 до 0,10, в среднем — от 0,11 до 0,18 и в нижнем — от 0,19 до 0,37. Резкое изменение объемного веса свидетельствует о разной порозности, которая существенно влияет на инфильтрацию влаги из одного слоя подстилки в другой.

Опад подстилки содержит значительное количество кислых продуктов. Опавшая хвоя на севере Архангельской области содержит 31,5 мг·экв на 100 г сухого веса водорастворимых нелетучих продуктов и обменного водорода, в подзоне хвойно-широколиственных лесов 25,3 мг·экв на 100 г сосновой хвои и на 43 мг·экв березового опада, а в дубовом опаде до 39 мг·экв кислых продуктов. Чем быстрее разлагается опад, тем меньше в нем таких продуктов. Содержание их заметно меньше в подстилке, чем в свежем опаде.

Опад и листовая подстилка отличаются значительной емкостью обмена, достигающей 55 мг·экв и более на 100 г. С увеличением степени разложения подстилки емкость обмена возрастает до 110 мг·экв на 100 г ее.

Из свежего опада сосновой хвои переходит в водную вытяжку 12,6 мг·экв кальция и магния, в солевую 6,3 мг·экв, т. е. всего 18,9 мг·экв. Меньше всего водорастворимого и обменного кальция в хвое сосны и больше — у листовых пород.

Свежий опад всех древесных пород содержит значительное количество углерода (30—50%) и незначительное азота (от 0,6 до 2,0%). Много в нем растворимых органических веществ (1—28%), причем в опаде их больше, чем в подстилке. В опаде сосны отношение углерода к кислороду более 85%, у листовых — заметно меньше. По мере разложения опада это соотношение уменьшается, особенно в нижних горизонтах почвы.

В сосновой подстилке есть гемицеллюлоза в размере 7% в верхних горизонтах, и 5% — в нижних, а также целлюлоза: 8% в верхнем горизонте и 3% — в нижнем.

Из-за плохого разложения в подстилке накапливается лигнинный остаток, имеются также гуминовые кислоты и фульвокислоты: первых 3,0—4,5%, а вторых от 3,5 до 5,0%.

В зависимости от зольности опада и подстилок изменяется интенсивность ее распада и кислотность; зольность хвойных пород изменяется в пределах 2,3—2,6%. По мере разложения подстилки она увеличивается, поэтому в верхнем горизонте подстилки зольность ниже, чем в более глубоких. Большую часть золы составляют минеральные вещества. Чем быстрее разлагается подстилка, тем выше ее зольность.

Чистые сосновые древостои потребляют мало фосфора и магния, несколько больше — калия и кальция. Круговорот этих элементов, за исключением магния, происходит медленно. В смешанных сосново-березовых древостоях он ускоряется, но зато увеличивается его объем.

Почвообразовательный процесс под пологом дубового леса также зависит от интенсивности биологического круговорота вещества и энергии. Качественные и количественные изменения минеральных веществ и азота в опаде, поступающем на почву, вызывают изменение плодородия ее и характер почвообразовательных процессов, которые отличаются сложностью их взаимосвязей. Увеличение массы опада в насаждениях той или иной древесной породы уже сказывается на формировании подстилки различной мощности. В свою очередь и мощность подстилки зависит от интенсивности минерализации, которая связана с ее водно-физическими свойствами. Влагоемкость подстилки у разных древесных пород неодинакова. Наибольшую влагоемкость имеет подстилка, состоящая из листвы липы, наименьшую — у хвойных, подстилка ильмовых занимает промежуточное положение. Дожди малой интенсивности поглощаются подстилкой лучше, чем проливные дожди. В первый год из опада липы вымывается веществ до 24% его веса, из опада ясеня — 21, дуба — 15, клена — 17, ильма 10,8 и из опада смесей листьев разных пород — 13%. Свежеотложившаяся подстилка разных древесных пород содержит неодинаковое количество азота. Больше всего его в смешанной

подстилке, затем из листьев липы, относительно бедна азотом подстилка из листьев ильма, лещины и кленов остролистного и полевого.

Подстилка из листьев ясеня, клена остролистного, ильма, лещины особенно богата фосфором, подстилка из листьев дуба в два-три раза беднее. Наибольшее количество кальция отмечается в подстилке ильма, несколько меньше его в подстилке ясеня, кленов, лещины и, наконец, липы (Молчанов, 1964, 1965). Аналогичные данные были опубликованы ранее В. С. Шумаковым (1963).

Процесс распада подстилки на составные элементы тесно связан с содержанием в ней легко гидролизуемых форм азота. Потенциально доступная форма его обнаружена в большом количестве в подстилке дуба, затем в смешанной подстилке, заметно меньше — в кленовой, еще меньше — в липовой и ясеновой.

Подвижной фосфорной кислоты в подстилках под смешанным насаждением в два с лишним раза больше, чем под пологом клена, в 1,8 — чем в подстилке из листьев ильма и в 1,6 раза — чем в подстилке из листьев дуба, липы и ясеня.

Смешанные лиственные насаждения по сравнению с чистыми лиственными (например дубовыми древостоями) изменяют физические свойства почвы сильнее.

Вследствие сильно разветвленной корневой системы в поверхностных горизонтах наиболее проницаема почва под ясеневыми насаждениями, затем (в порядке уменьшения водопроницаемости) идут смешанные насаждения, осиновые, ильмовые и заметно менее проницаемы березовые, липовые и особенно дубовые. В этой же последовательности изменяются и водоохраные свойства лиственных древостоев.

Гумус, как известно, формируется за счет продуктов разложения подстилки. Наиболее богат водорастворимыми органическими веществами осенний опад листьев клена (12%), заметно меньше этих веществ в опаде из листьев ясеня (8,1%) и особенно ильма (5,6%). В опаде из листьев остальных древесных пород в дубравах лесостепи их содержится от 4 до 7,5%.

Наибольшее содержание в перегное азота, выраженное отношением углерода к азоту, обнаруживается под

ясеневым насаждением. Оно на одну треть выше, чем под дубом, на одну седьмую, чем под ильмом, на одну десятую, чем под смешанными насаждениями и липой.

Высокая биохимическая активность на глубине 5—10 см наблюдается под пологом дубовых древостоев, затем под ясеневыми и липовыми и под смешанными насаждениями. По данным В. С. Шумакова (1963) ферментативная активность связана с видовым составом леса; сезонная динамика активности каталозы наиболее ярко выражена под пологом с развитой мочковатой корневой системой. Активность каталозы и инвертазы выше всего под пологом смешанных культур. Она обусловлена биоэкологическими особенностями древесных пород и активностью их ризосферы.

Почвенная фауна под пологом леса обогащается благодаря улучшению порозности и структуры почвы, гидрологического режима и состава опада. Почвенная фауна, в частности дождевые черви, способствуют ускорению разложения подстилки. В течение одного вегетационного периода они разрушают листья дуба на 58, липы — на 73, лещины — на 79 и ясеня — на 76%, в то время как в контрольных сосудах без участия червей разложилось соответственно 7, 13 и 14% их веса. Аналогичные результаты получены Т. С. Перель (1964) в сосновых древостоях и Н. В. Карповой и Д. Ф. Соколовым (1965).

В то же время под влиянием микроорганизмов в почвах снытевой дубравы в течение первого года разрушается 35% подстилки, второго — 60% и на третий год все 100%.

В развитие работ по круговороту веществ в системе почва — растение исследовались и «боковые ветви» круговорота, связанные с выщелачиванием органических и минеральных веществ из растущих деревьев атмосферными осадками.

Как уже говорилось, осадками, просачивающимися сквозь кроны деревьев, выщелачиваются ощутимые количества кальция и калия и в меньших дозах — азота и магния. Общее количество этих веществ соизмеримо с тем, что извлекается осадками из лесной подстилки (Мина, 1965). Осадки, стекающие по стволам некоторых древесных пород, таких, как сосна и ель, приобретают кислую реакцию ( $pH < 3$ ) и извлекают из корней боль-

пное количество минеральных веществ. Промывая в течение жизни дерева одну и ту же приствольную часть почвы, они вызывают в ней существенные изменения; почва сильно подкисляется, в ней резко возрастает подвижность железа и алюминия. В целом действие осадков, стекающих по стволам, вызывает активизацию подзолистого процесса.

Вызванные в почве изменения носят устойчивый характер и после сокращения стока сохраняются многие десятки лет.

Сопряженное изучение динамики почвенных факторов и корневых систем позволило установить роль различных типов биогеоценозов в обеспечении продуктивности древостоев и выяснить некоторые стороны механизма воздействия неблагоприятных факторов (плохой аэрации, пониженной температуры, недостатка влаги) на жизнедеятельность корневых систем и отдельные физиологические процессы древесных пород (Орлов, Мина, 1962; Орлов, 1955, 1962а, 1962б, 1962в, 1966а, 1966б; Орлов, Кошельков, 1965). Показано, что в средне- и южнотаежной подзоне важнейшим фактором, ограничивающим рост древесных пород в большинстве типов леса, является постоянная или сезонная недостаточная аэрация почвенной толщи. Она вызывается главным образом периодическим затоплением корневых систем почвенно-грунтовыми водами и низким содержанием растворенного кислорода. Снижение концентрации кислорода до 1—2 мг/л вызывает прекращение роста корней деревьев. При концентрации ниже 0,5 мг/л растущие концы корней ели и березы отмирают через 2—4 суток, у сосны — через 4—6 суток. Наступает резкая депрессия или почти полное прекращение поступления в растение питательных веществ. В результате нарушается снабжение основными элементами питания, прежде всего азотом, и снижается прирост. Затопление в позднеосенний и ранневесенний периоды, когда корни находятся в состоянии покоя, не вызывает отмирания корневых систем, если оно не очень продолжительное. Особенно устойчивы к недостатку кислорода корни сосны. В некоторых случаях (при затоплении в период покоя) они способны сохраняться без повреждений до двух лет в анаэробных условиях. Корни ели значительно менее устойчивы к отсутствию кислорода в окружающей среде. Выносливость

березы на заболоченных почвах связана в основном с ее способностью к очень быстрой регенерации корневых систем после их повреждения в периоды с неблагоприятной аэрацией.

Причиной, обуславливающей жизнедеятельность растений при низкой влажности почвы, является «топографическая» неоднородность влажности почвы, равной влажности завядания ( $V_3$ ) в целом для корнеобитаемого слоя, и способность растений при этом увеличивать сосущую силу ( $S$ ), значительно превышающую давление почвенной влаги ( $P$ ).

В вегетационных опытах, проведенных Н. А. Взнуздаевым (Vznuzdaev, 1968) на песчаной почве с трехлетними саженцами сосны и на суглинке с саженцами дуба и вяза, показано, что при снижении влажности почвы ниже величины  $V_3$  (15 *атм*) жизнедеятельность растений сохраняется, на что указывают данные по транспирации, влажности листьев и корней и анатомо-морфологические исследования корней. Градиент давления влаги в системе почва — растение ( $S - P$ ) колеблется в пределах 4 *атм* при возрастании давления почвенной влаги до 2—3 *атм* для песка и 6—8 *атм* для суглинка. При дальнейшем увеличении давления почвенной влаги градиент резко возрастает до 15—16 *атм* и затем при давлении свыше 30 *атм* уменьшается до отрицательных величин.

Транспирация растений резко снижается при давлении 2—3 *атм* для песчаной почвы и 6—8 *атм* — для суглинка, что связано с резким изменением подвижности влаги в этих интервалах влажности.

С появлением первых признаков завядания растений сосущая сила хвои сосны достигает 30 *атм*, корней — 24, листьев и корней дуба соответственно — 32 и 26 *атм*, вяза — 28 и 22. Градиент давления влаги в системе почва — растение при этом равен нулю. Гибель сосны происходит при достижении давления почвенной влаги 42—44 *атм*, гибель дуба при 48—50 *атм*, вяза — при 44—46 *атм*.

Непрерывные ритмические процессы поглощения и выделения ионов корнями — одно из основных проявлений жизнедеятельности растений и ризосферных микроорганизмов. Они связаны с постоянным обменом энергии. За поглощением энергии растительными организмами следует ее расход.

Основным звеном взаимодействий между лесом и почвой является годовой обмен вещества и энергии и, в частности, круговорот органического вещества азота и зольных элементов. Интенсивностью круговорота определяется продуктивность древостоя, которая в свою очередь зависит от взаимосвязей насекомых с растительностью и орнитофауной. Известно, что насекомые уничтожают растения или их части. Одни из них разборчивы в выборе корма, например дубовая листовертка или березовый заболонник, другие, например гусеница зимней пяденицы, нет. Все вредные насекомые в годы массового размножения наносят вред древостоям. Вслед за ними деревья поражаются дереворазрушающими грибами. От численности насекомых зависит плотность заселения леса орнитофауной. Птицы привлекают белок, пернатых хищников. Питание птиц, уничтожающих в основном насекомых, в различные периоды происходит по-разному. Таким образом, изучение птиц и их питания позволяет оценить их пользу для леса. В этой области проводятся систематические наблюдения и исследования (Королюкова, 1963; Новиков, 1959).

Грызуны и копытные животные также способствуют нарушению роста и развития деревьев, изменению состава деревьев в молодняках (лоси, олени), тормозят восстановление леса.

К числу достижений в области лесоведения следует отнести подбор наиболее устойчивых древесных пород в полупустынных условиях, где до сих пор леса не разводились. В районах степи, лесостепи при наличии сильного расчленения территории в процессе эрозии установлены нормативы противоэрозионных полос, а также водопоглотительных и берегозащитных насаждений.

## **РАДИОАКТИВНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЕЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА ЛЕС**

Природный радиационный фон в настоящее время складывается из двух компонентов: естественного радиационного фона (космическое излучение и радиация естест-



венных радионуклидов) и излучения искусственных радионуклидов (главным образом радиоактивных продуктов деления, поступающих в биосферу после испытаний ядерного оружия).

Для оценки радиоактивной опасности, создаваемой продуктами деления, важно знать спектр излучения и продолжительность жизни радиоактивного изотопа (табл. 24). Сводка научных исследований по проблеме радиоактивного загрязнения, произведенная Райсигом (Reibig, 1959), позволяет сказать, что биологически наиболее опасными являются стронций-90 и цезий-137.

Стронций-90, обладая длительным периодом полураспада (28 лет), активно включается в процесс обмена веществ растений, животных и человека. При этом он отличается избирательной способностью концентрироваться в костных тканях животных и человека и создает локальные источники длительного облучения в организме. Стронций-90 — один из самых опасных долгоживущих нуклидов в радиоактивных выпадениях.

Содержание радиоактивных продуктов деления в атмосфере возрастает также в связи с увеличением загрязнения атмосферы промышленными выбросами и отходами атомной промышленности.

Облака, туманы и атмосферные осадки очень сильно влияют на распространение радиоактивных продуктов деления. Облака способны аккумулировать эту примесь, поглощая ее из большого пространства. Перенос облаков может способствовать сильному загрязнению атмосферы даже на значительных расстояниях от источников загрязнения. Осадки, выпадающие на поверхность земли, очищают атмосферу, но вместе с ними на земную поверхность поступают искусственные радиоактивные элементы. Разнос радиоактивных изотопов происходит также с загрязненных территорий и водоемов, причем большинство радиоизотопов концентрируется в верхних слоях почвы и донных отложениях водоемов.

Глубина проникновения в почву стронция-90 и других продуктов распада зависит от физико-химических, механических и других свойств почвы (содержание кальция, степени выщелоченности, содержания органического вещества, кислотности, мощности подстилки) и характера растительного покрова. Почва может удерживать радиоактивные нуклиды в результате ионного обмена и

Т а б л и ц а 24. Характеристика важнейших осколочных продуктов деления

Осколок деления	Выход в реакциях делящегося материала			Тип распада	Период полураспада
	V-233	V-235	Ph-239		
Rb <sup>87</sup>	4,56	2,49	0,92	β	5·10 <sup>10</sup> лет
Sr <sup>89</sup>	5,86	4,79	1,71	β, γ	5,5 дней
Sr <sup>90</sup>	6,43	5,77	2,25	β	28 лет
Sr <sup>91</sup>	5,51	5,81	2,43	β, γ	58 дней
Y <sup>91</sup>	5,57	5,81	2,43	β, γ	58 дней
Zr <sup>95</sup>	6,98	6,45	3,97	β, γ	65 дней
Mo <sup>99</sup>	4,80	6,06	6,10	β, γ	66,4 час.
Ru <sup>103</sup>	1,80	3,00	5,67	β, γ	397 дней
Ce <sup>106</sup>	—	—	—	—	1 год
Ce <sup>141</sup>	—	6,0	5,10	β, γ	33 дня
Ru <sup>106</sup>	0,24	0,38	4,57	β, γ	1,01 года
Ce <sup>143</sup>	—	5,7	5,30	β, γ	33 часа
i <sup>131</sup>	2,9	3,1	3,77	β, γ	8,05 дня
T <sup>132</sup>	4,4	4,7	5,10	β	20,8 часа
Ba <sup>137</sup>	—	—	—	—	2,06 минут
i <sup>135</sup>	5,5	6,1	5,7	β, γ	6,7 часа
Cs <sup>135</sup>	6,03	6,41	7,17	β	2,60·10 <sup>6</sup> лет
Cs <sup>137</sup>	6,58	6,15	6,63	β, γ	30 лет

адсорбции (удержание коллоидной фракции радиоактивности).

Осевшие на земную поверхность радионуклиды поступают в растения в результате листовой сорбции, сорбции из дернины и поглощения корневыми системами.

Количество радиоактивных веществ, усваиваемых в результате листовой сорбции, зависит от многих причин, а именно: от количества жидких осадков, распределения их во времени, размера частиц радиоактивных веществ и биологических особенностей растений.

Опыты показали, что за 3 мин. отмывания растений водой можно удалить 25—30% активности в листьях. Через корни радиоактивные вещества попадают в растения вместе с водой и почвенными растворами. При

промыывании листьев водой и соляной кислотой удаляется до 50% стронция-90, остальные 50% задерживаются на листьях и поверхности стеблей или стволов растений.

Морские и речные водоросли насыщаются радиоактивными веществами непосредственно из воды, причем уровень радиоактивности некоторых водорослей может в тысячи раз быть выше, чем сама вода.

Стронций-90 аналогично кальцию относительно легко поглощается растением. Корни не только поглощают стронций в процессе обмена веществ, но могут и адсорбировать его, т. е. связывать на своей поверхности.

Стронций-90, попавший в листья, перераспределяется по другим тканям очень слабо. У хвойных деревьев наибольшее количество стронция-90 сосредоточивается в более старой хвое. Движение стронция-90 по растению идет в одном направлении — от корня к листьям. Растения с более высоким содержанием кальция поглощают большее количество стронция-90. По концентрации  $Sr^{90}$  стебли занимают промежуточное положение между корнями и листьями. В пределах ствола или стебля больше всего его сосредоточивается в утолщенных междоузлиях. Можно сказать, что транспирация — главный фактор, определяющий распространение ионов, в том числе и стронция-90, однако прямой зависимости между интенсивностью транспирации и накоплением  $Sr^{90}$  не обнаружено (Woodwell, 1962).

Кроме  $Sr^{90}$  в состав продуктов деления входит другой радионуклид этого элемента  $Sr^{89}$ , однако его биологическая опасность меньше вследствие небольшого периода полураспада.

Цезий-137 (период полураспада 30 лет) — второй важный долгоживущий продукт деления. Он относится к смешанным  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучателям и характеризуется значительным выходом в реакциях деления. Поглощение радиоактивного цезия-137 растением обратно пропорционально содержанию в питательной среде калия. Удобрение почв калием может снизить в растениях содержание цезия-137. Поглощение цезия-137 через корневую систему намного меньше, чем кальция, но подобно калию он активно включается в цепь питания. Цезий-137 проникает в сосуды растений и свободно движется во всех частях растений.

Загрязнение растений цезием-137 и другими радиоактивными нуклидами, связанное с выпадением атмосферных осадков, в значительной мере зависит от поглощения их через листья или от задерживания в листьях, а также от годового количества осадков. Радиоактивные осадки задерживаются главным образом растениями с большой шероховатой поверхностью.

В первые дни после аварии реакторов и наземного взрыва ядерного оружия опасны также изотопы йода — 131, 132, 133 и 135.

Кроме того, при взрыве водородных бомб образуется радиоактивный изотоп углерода —  $C^{14}$ . Углерод-14 окисляется в атмосфере до  $CO_2$ , усваивается растениями при фотосинтезе и затем через растения попадает в организм животных.

В общем биологическая опасность радиоактивного загрязнения биосферы каким-либо радионуклидом определяется следующими условиями:

- 1) количеством выходом радионуклида в реакциях деления;
- 2) типом и энергией излучения;
- 3) периодом полураспада;
- 4) формой соединения, в которой радионуклид поступает в биосферу;
- 5) путями поступления в атмосферу;
- 6) способностью включаться в биологические цепи;
- 7) периодом пребывания в животном организме.

Выпадение в глобальном масштабе радиоактивных осадков не вызывает видимых изменений в растениях. Об этом можно судить по наблюдениям Фосберга (Fosberg, 1959), основанным на исследованиях территории восьми Маршалловых островов, где США проводили ядерные испытания. Геоботанические исследования 1954—1955 гг. не вскрыли видимых изменений в растительном покрове, хотя и было констатировано накопление радиоактивности в его тканях. Однако повторные исследования в 1956 г. указали на наличие патологических изменений у растительности на атоллах, выразившиеся в гибели растений, хлорозе, дефолиации и отмирании верхушек деревьев. Из 43 видов растений, произраставших на Маршалловых островах, после ядерных взрывов осталась лишь половина. На островах, на которых выпадали наиболее радиоактивные осадки, обнару-

жены деревья со странным омолоподобным, вешикообразным ветвлением, с ярко выраженным темно-зеленым цветом листьев. В целом реакции организма на излучения весьма многообразны и определяются как особенностями действующего фактора — излучения, так и свойствами самого организма. Следует отметить, что радиочувствительность различных живых организмов может колебаться в очень широких пределах.

Влияние радиоактивных продуктов деления на древесные растения изучено недостаточно. Ясно, что выпадающие на лес осколочные продукты деления могут оседать на поверхность почвы, листву, хвою, ветви деревьев и на поверхность стволов. При этом часть радиоактивных продуктов поглощается тканями растений, часть сдувается ветром или смывается вместе с жидкими осадками, оседает на поверхность почвы и поступает в подстилку, затем в гумусовый слой, а оттуда через корни переходит в растения (Расселл и Сквайр — Russell a. Squire, 1958). В лесной подстилке содержится 74,2% всей активности, сосредоточенной в лесном ценозе в целом, в почве лишь 6,4%, на травяном покрове — 0,25%, листьях и хвое — 5,0%, ветвях — 4,7%, древесине — 4,75% и коре — 5,7%.

Лес способствует очищению атмосферы от радиоактивных загрязнений. В докладе на VI Мировом лесном конгрессе Дурк (Durk, 1966) показал, что леса могут задерживать радиоактивную пыль. Он установил, что листья и хвоя деревьев могут захватывать до 50% этой пыли, защищая посевы от радиоактивных загрязнений. Радиоактивность поверхностных слоев почвы и особенно подстилки более чем в 30 раз выше радиоактивности листьев. Полезащитные полосы могут перехватывать содержащиеся в воздухе радиоактивные аэрозоли, снижая плотность загрязнения полей и пастбищ.

Небольшие дозы радиации от радиоактивных продуктов деления, выпавших на древесную растительность, не вызывают повреждения растений. При увеличении радиации происходит частичное или полное повреждение отдельных ветвей деревьев, всей кроны дерева или сплошное повреждение ассимиляционного аппарата.

Деревья, облученные радиоактивными изотопами до побурения и покраснения 5% хвои в кроне, имеют нормальный рост в высоту и по диаметру. При поражении

до 25% хвой в нижней части кроны наблюдается повышенный прирост по высоте и диаметру, а при поражении верхушечных ростовых почек на годичных побегах из спящих почек возникает метлообразное ветвление. При поражении до 50% хвой прирост в высоту и по диаметру уменьшается в течение 4 лет после облучения; при поражении до 75% хвой прирост по диаметру и высоте понижен в течение 6 лет, а при поражении хвой в кроне, в процессе облучения до 95% большая часть деревьев погибает, а у оправившихся сильно выражено метлообразное ветвление на побеге, подверженном облучению.

Радиоактивные продукты деления, отложившиеся на различных органах древесных растений, аккумулируются по-разному, к тому же и на разной высоте дерева радиоактивность древесины ствола и коры неодинакова (наружной коры выше, чем внутренней). По мере удаления от основания ствола к вершине радиоактивность коры уменьшается.

В процессе жизнедеятельности дерева радиоактивные вещества поступают, отлагаются в его различных частях, т. е. в камбиальном слое, древесине, лубе, ветвях, листьях и корнях. В нижней части кроны радиоактивность хвой выше, чем в верхней. Активность листвы и ветвей весной ниже, чем осенью. От весны к осени повышается радиоактивность и травяного покрова. В подстилке удельная радиоактивность выше, чем в минеральной части почвы, в хвое и листве.

Радиобиология располагает большим экспериментальным материалом о действии ионизирующих излучений на нуклеопротеиды и входящие в их состав нуклеиновые кислоты. Хорошо известно, что при облучении живых организмов в первую очередь поражается процесс деления клеточных ядер, нарушаются нормальные картины митоза, появляются аномальные ядра клеток, т. е. повреждаются структуры, наиболее богатые нуклеопротеидами.

Воздействуя на нуклеиновые кислоты и нуклеопротеиды, ионизирующие излучения вызывают глубокие наследственные изменения, которые проявляются в увеличении скорости мутирования, появлениях уродств и аномальном развитии.

Высокие дозы проникающей радиации тормозят деление клеток. По существу, изменение ядра клет-

ки — первое видимое последствие облучения, ядро рассматривают как наиболее чувствительную часть клетки.

На различных фазах роста клетки радиостойчивость ее неодинакова: в фазе растяжения она больше. Химический состав клеток также влияет на их радиочувствительность. Например, семена, содержащие жир, более радиостойчивы.

В результате действия на растения ионизирующих излучений в клетках происходит перестройка хромосом, Генеративные клетки наиболее чувствительны к воздействиям радиации, поэтому изучению этого вопроса уделяется особое внимание. Наиболее радиочувствительны растения с малым числом хромосом и большими размерами ядра.

У древесных растений чувствительность к ионизирующим излучениям зависит от породы. Различные органы деревьев также обладают разной радиорезистентностью. Так, ветки хвойных вечнозеленых растений повреждаются сильнее, чем лиственных, так как при летальной дозе облучения хвоя не восстанавливается, листья же вырастают вновь из резервных и спящих почек.

Чувствительность сосновых семян к радиации тесно связана с содержанием воды, что показано, в частности, в опытах Кидахино (1961) при облучении семян японской красной сосны в дозах до 18 000 р. Облученные семена лучше прорастают при влажности 12,7%, при влажности от 6,1 до 7,5% облучение семян затормаживается.

Под влиянием облучения деревья повреждаются. Обычно в первую очередь повреждаются (до прекращения роста) ветви, ближе расположенные к источнику облучения. Если облучение остановить на стадии частичного повреждения древостоев (при полном усыхании лишь отдельных деревьев), можно выяснить процесс гибели и восстановления жизнедеятельности деревьев. Он выражается в изменении последующего облиствения и роста годовых побегов в длину, прироста по диаметру и общей продуктивности древостоев. Сильное лучевое поражение кроны деревьев заметно тормозит рост главного побега. Торможение роста, возможно, вызовет усиленное разрастание боковых ветвей.

Одиночные деревья или стены леса подвержены радиоактивному облучению и служат очагами переноса ра-

диоактивных веществ на прилегающие территории. Этот перенос осуществляется при опадении листьев, разносимых ветром на расстояние до 60 м, а также через корни — на расстояние до 10 м. Листья, опавшие под пологом деревьев, способствуют аккумуляции радиоактивных веществ в подстилке.

На основании сказанного можно предположить, что рациональное распределение лесов среди полей может способствовать аккумуляции радиоактивных продуктов в лесу и снижению удельной радиоактивности почв прилегающих к лесам полей.

Полезащитные, противоэрозионные и водопоглотительные полосы на полях колхозов и совхозов способствуют предотвращению загрязнения полей радиоактивными продуктами деления.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все живое связано в очень сложные цепи питания: растения, различные животные, почва — снова растения находятся в тесном взаимодействии.

В нашу геологическую эпоху, в эру разума, появляется новый фактор первостепенной важности — человек. Растения, животные, человек исторически связаны цепями питания, причем человек непрерывно меняет растительность, животных и их местообитания. Человек является основной движущей силой в природе и обществе, так как своей мыслью постигает сокровеннейшие ее тайны, а своими действиями преобразует окружающий мир. Человек оказывает огромное влияние на все природные процессы. Он синтезирует новые соединения и производит их в больших количествах. Человек получил металлический алюминий, которого никогда не существовало на Земле. Железо, олово, цинк, большое количество угольной кислоты являются продуктами человеческой деятельности.

Человек расщепил атом и применяет его для своего блага. В процессе обжигания извести или сгорания каменного угля образуется огромное количество серного ангидрида или сероводорода. Во время химических и металлургических процессов воспроизводится во все увеличивающихся количествах большое количество продуктов, не отличающихся от минералов. С возникновением человеческого общества, несомненно, появилась огромная геологическая сила на поверхности нашей планеты.

Лик планеты — биосфера — значительно меняется человеком сознательно, а в ряде случаев бессознательно.

Одним из главных последствий такой деятельности является уменьшение лесистости, разрушение почвы водной и ветровой эрозией, ухудшение состава воды, воздуха и др.

Майский пленум ЦК КПСС, развивая решения XXIII съезда коммунистической партии Советского Союза, обратил особое внимание на бережливое использование земель, пригодных для сельского хозяйства, и на развертывание мелиоративных мероприятий, предупреждающих и устраняющих водную и ветровую эрозию.

Временами можно видеть уничтожение растительности под воздействием лесных и степных пожаров, распашки полей и их запущенности, смыва почвы, образования оврагов. Нередко можно видеть смену лучших древесных пород на худшие и возникновение пустырей. В результате на некоторое время образуются лишенные трав и деревьев пятна, но они образуются на короткое время. Жизнь быстро входит в свои права, и зеленые травы, а затем и древесная растительность снова занимают утраченные ими и новые места.

Применение удобрений и ядохимикатов в ряде мест меняет геохимический состав почвы, а это начинает сказываться на растительном и животном мире и гидробиологии рек.

Человек активно вмешивается в водный баланс отдельных территорий. Идет перераспределение пресных вод на Земле. Создаются грандиозные водохранилища, каналы, осушаются или обводняются целые области. На больших площадях вырубается леса, на других создаются новые. Хозяйственные выгоды от этого огромны. Однако там, где не учитываются сложные природные взаимодействия, складывается новый аспект процессов — засоление почв, усиленное развеивание ветром солей на засоленных почвах, сокращение стока, торфяные пожары, заболачивание территории. Все это, если не принять соответствующих мер, может нанести огромный вред народному хозяйству, сказаться на условиях жизни человека. Человек — хозяин планеты — изменяя облик Земли, должен улучшать, а не ухудшать ее полезные качества, не нарушать баланс компонентов природы, стремиться к разумной организации территории нашей планеты.

## ЛИТЕРАТУРА

- Антипов В. Г.* Влияние дыма и газов, выбрасываемых промышленными предприятиями, на сезонное развитие деревьев и кустарников.— Бот. ж., 1957, т. 42, № 1.
- Антипов В. Г.* Влияние специфических промышленных газов на рост некоторых древесных пород.— Труды Белорусск. Всес. бот. о-ва, вып. 5, 1963.
- Арманд Д. Л.* Нам и внукам. М., изд-во «Мысль», 1966.
- Будыко М. И.* Испарение в естественных условиях. М., Гидролесоиздат, 1948.
- Вернадский В. И.* Химическое строение биосферы земли и ее окружения. М., изд-во «Наука», 1965.
- Вомперский С. Э.* Факторы среды и их значение для роста леса на осушенных площадях. Повышение продуктивности и сохранности лесов. М., изд-во «Лесная промышленность», 1964.
- Воронцов А. И.* Биологические основы защиты леса. М., изд-во «Высшая школа», 1963.
- Высоцкий Г. Н.* Дождевой червь. Земледельческая газета, № 42, 43, 44.
- Гаврилов К. А.* Влияние состава насаждений на микрофлору и фауну лесных почв.— Почвоведение, 1950, № 3.
- Гедроиц К. К.* Избранные сочинения, т. 1. М., Сельхозгиз, 1955.
- Гиляров М. С.* Зоологический метод диагностики почв. М., изд-во «Наука», 1965.
- Горский Н. Н.* Вода — чудо природы. М., изд-во АН СССР, 1962.
- Гродзенский Д. Э.* Биологическое действие ионизирующих излучений. М., Атомиздат, 1966.
- Дроздов О. А., Григорьев А. С.* Влагооборот в атмосфере. Л., Гидрометеиздат, 1963.
- Елпатьевский М. П.* Исследования ЛенИИЛХ в области лесосушительной мелиорации.— В сб. Повышение продуктивности и сохранности лесов. М., изд-во «Лесная промышленность», 1964.
- Иванов Л. А., Силина А. А., Жмур Д. Г., Цельникер Ю. Л.* Об определении транспирационного расхода древостоя леса.— Бот. ж., 1951, т. 38, № 2.
- Кароль И. Л., Малахов С. Г.* Документ ООН, А/Ас, 892/1—615, 1960.
- Качинский Н. А.* Почва, ее свойства и жизнь. М., Изд-во АН СССР, 1956.

- Карлсон Р.* Умолкнувшая весна. М., 1964.
- Кашин К. И., Погосян Х. П.* О влагообороте в атмосфере.— Метеорология и гидрология, № 2, 1950.
- Королькова Г. Е.* Влияние птиц на численность вредных насекомых. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Крамер П., Козловский Т.* Физиология древесных растений. М., Гослесбуиздат, 1963.
- Кротова Н. Г.* Дым и лес. (О влиянии задымления воздуха на лесные насаждения).— Наука и передовой опыт в с. х., 1958, № 1.
- Курсанов Л. И.* Микология, изд. 2. М., Учпедгиз, 1940.
- Мина В. Н.* Содержание углекислоты в воздухе лесных почв в зависимости от возраста древостоя.— Сообщ. Ин-та леса АН СССР, вып. 2, 1954.
- Мина В. Н.* Интенсивность образования углекислоты и ее распределение в почвенном воздухе с выщелоченных черноземов в зависимости от состава лесной растительности.— Труды лабор. лесоведения АН СССР, 1960.
- Мина В. Н.* Выщелачивание некоторых веществ атмосферными осадками из древесных растений и его значение в биологическом круговороте.— Почвоведение, № 6, 1965.
- Молчанов А. А.* Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Молчанов А. А.* Научные основы ведения лесного хозяйства в дубравах лесостепи. М.—Л., изд-во «Наука», 1964.
- Молчанов А. А., Губарева В. А.* Формирование и рост дуба на вырубках лесостепи. М., изд-во «Наука», 1965.
- Морозов Г. Ф.* Учение о лесе. М., изд-во «Новая деревня». 1929.
- Мустафова Н. И.* Микробиологические наблюдения в подзолистых почвах ельника-кисличника и ельника-черничника. Вестник ЛГУ. вып. 3, 1959.
- Новиков Г. А.* Экология зверей и птиц лесостепных дубрав. Изд-во ЛГУ, 1959.
- Орлов А. Я.* К методике количественного определения сосущих корней древесных пород в почве.— Бюлл. МОИП, 1955, т. 40.
- Орлов А. Я.* Влияние недостатка кислорода в воде на рост корней сосны, ели и березы.— В сб. «Физиология древесных растений». М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Орлов А. Я.* Значение отмирающих сосущих корней деревьев в круговороте веществ в лесу.— Физиология растений, 1966, т. 27.
- Орлов А. Я. и Кошельков С. П.* Об оценке плодородия почв.— Почвоведение, 1965, № 6.
- Орлов А. Я., Мина В. Н.* Динамика почвенных факторов в некоторых типах леса.— В сб.: Типы леса и почвы северной части Вологодской области. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Перель Т. С.* Комплексы почвенных беспозвоночных в некоторых типах леса Серебряноборского опытного лесничества. Стационарные биогеоценотические исследования в южной подзоне тайги. Изд-во «Наука», 1964.
- Карпова Н. В., Соколов Д. Ф.* Количественная оценка дождевых червей в переборке лесного опада. М., изд-во «Наука», 1965.
- Пинчук А. А.* Влияние густоты стояния древостоя на развитие ассимиляционного аппарата сосны. В сб.: Леса Подмосковья. М., изд-во «Наука», 1965.

- Положенцев П. А.* Изучение гельминтов, паразитирующих во вредных лесных насекомых.— Лесное хозяйство, 1965, № 6.
- Пушкинская О. И.* Микрофлора лесных почв дубовых лесов Таллермановского опытного лесничества.— Труды Ин-та леса АН СССР, т. 23, 1954.
- Рафес П. М.* Массовые размножения вредных насекомых как особые случаи круговорота вещества и энергии в лесном биогеоценозе. В сб.: Защита леса от вредных насекомых. М., изд-во «Наука», 1964.
- Роде А. А.* Почвенная влага. М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Рубцов В. И.* Культуры сосны в лесостепи центральных черноземных областей. М., изд-во «Лесная промышленность», 1964.
- Рунов Е. В., Еникеева М. Г.* Токсикоз черноземов под лесными насаждениями в сухой степи.— Микробиология, 1959, т. 24, вып. 1.
- Рунов Е. В., Валева С. А.* Микробиологическая характеристика лесных почв тайги Вологодской области.— Труды Ин-та леса и древесины, т. 52, 1962.
- Рунов Е. В., Егорова С. В.* Влияние подстилок хвойных и лиственных насаждений на микрофлору выщелоченного чернозема.— Труды Ин-та микробиол., вып. II, 1958.
- Самцевич С. А.* Микрофлора почвы и ее деятельность под лесными насаждениями. Изд-во ЛГУ им. Жданова, 1955.
- Скрынникова И. Н.* Почвенные растворы южной части лесной зоны и их роль в современных процессах почвообразования.— В сб.: Современные процессы почвообразования в лесной зоне Европейской части СССР. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Смирнов Ф. Н.* В тайниках природы. Изд-во МГУ, 1965.
- Соколов Д. Ф., Карпова Н. В.* Скорость разложения подстилки и влияние продуктов разложения на содержание и состав гумуса почвы сложного сосняка. Леса Подмосковья. М., изд-во «Наука», 1965.
- Сукачев В. Н.* Основы лесной биогеоценологии. М., изд-во «Наука», 1964.
- Тверской П. П.* (редактор). Курс метеорологии. М., изд-во «Наука», 1951.
- Терехов О. С. и Еникеева М. Г.* Сравнительная биологическая характеристика некоторых лесных почв Серебряноборского и Подушканского лесничеств Московской области. М., изд-во «Наука», 1964.
- Тимофеев В. П.* Природа и насаждения Лесной опытной дачи ТСХА за 100 лет. М., изд-во «Лесная промышленность», 1965.
- Тюрин И. В.* О количественном участии живого вещества в составе органической части почв.— Почвоведение, 1946, № 1.
- Фукс А. О.* Механика аэрозолей. М., Изд-во АН СССР, 1957.
- Халифман И.* Пчелы. Изд-во ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия», 1963.
- Частухин В. А., Николаевская М. А.* Исследования по разложению органических остатков под влиянием грибов и бактерий в дубравах, степях и полесных полосах.— Труды Бот. ин-та АН СССР, серия 2, вып. 8, 1953.
- Чекановская О. В.* Дождевые черви и почвообразование. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1960.
- Шемаханова Н. М.* Микотрофия древесных пород. М., Изд-во АН СССР, 1962.

- Шуперович В. Я.* Почвенная фауна в различных типах леса.— Зоол. ж., 1937, т. 16, вып. 2.
- Шумаков В. С.* Типы лесных культур и плодородие почвы. М., Гослесбуиздат, 1963.
- Boysen Jensen.* Die Stoffproduktion der Plazen. Fischer. Jena, 1932.
- Brix H.* *Physiol. Plantarum*, t. 15, 1862.
- Durk Peter.* The influence of the forest on the helath of man. The institute of forest and wood Monagong Policy Freiburg Br. 1966.
- Fosberg E. R.* Plants and fall out.— *Nature*, t. 183, N 4673, 1959.
- Greenfield S. M. J.* *Geophys. Res.*, 61, 1956.
- Greenfield S.* Rain sceavenging of radioactive particulate Matter from the athmosphere.— *J. Meteor.*, 142, 1957.
- Hageman F., Gray J., Machta L., Turkevch A.* *Science*, 130, 1959.
- Huber B.* In: *Physiology of forest trees*. Ed. by K. V. Thimann, 1958.
- Huber B.* Recording photosynthesis respiration and transpiration. In: The formation of wood in forest trees. N. Y.— London, 1964.
- Keller T., Koch W.* *Mitt. Eidgen Anst. Forstl. Versuchawe*, 38, 1963.
- Koch W.* *Allgem. Forst u. Jagdztg.*, 134, 1963.
- Langham W., Anderson E. S.* Fallout crom Nuclear Weapons Tests hearing. Washington, 1959.
- Libby W. F.* *Radioactive Fallout Seatl St.* Washington, 1959.
- Machta L.* U. S. AEC Hast-42. N. Y., 1958.
- Müller R., Rüsч J.* *Planta*, 5, 1960.
- Peirson D. H., Crooks R. N., Fiscer E. M.* *Nature*, 186, 1960.
- Perel T. S., Karpacevski L. O., Jegorova S. V.* Experimente zur Untersuchung des Einflusses von Regenwürmern auf die Streuschicht und den Humushorizont von Waldböden. Eigegangen am 11 Februar, 1966.
- Platt R. B.* Ecological effects of ionizing radiations on organisms communites and ecosystem.— *Radiations*, v. XXIII, N 11. 1962.
- Polster H.* Die physiologischen Grundlagen der Stoffezeugung im Walde. Bayerischer Landwirtschaftverlang. Gmbn, München, 1950.
- Reibig X.* Das Problem der radioactiven Versuchung des Bodens und der Vegetation durch Kernespaltprodushes Kernenergie, N 2, 530—41. Juni, 1959.
- Russel R. S., Squire H.* The absorption and distribution of strontium in plants.— *J. Experimental Botany*, v. 9, 1958.
- Tranquilini W.* Photosynthesis and dry matter production of trees at high altitudes (The formation of wood in forest tress). N. Y.— London, 1964.
- Vznuzdaev N. A.* Consumption of Water by plants depending. on the Negative pressure of soil Water. 9th. international congress of soil Sciens Australia, 1968.
- Woodwell G. M.* Effects of ionizing radiation on forestal ecosystems.— *Science*, v. 138, N 384, 1962.

# СОДЕРЖАНИЕ

ЧТО ТАКОЕ ЛЕС? . . . . .	3
ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ЛЕСОМ И АТМОСФЕРОЙ . . . . .	11
<i>Атмосферные осадки и их перераспределение . . . . .</i>	11
<i>Значение воды для живых организмов, леса и питания рек</i>	27
<i>Мероприятия по улучшению водного режима речных бассейнов</i>	34
<i>Связь влажности воздуха с лесом . . . . .</i>	38
<i>Движение воздуха в лесу и на безлесных площадях . . . . .</i>	40
<i>Расход атмосферных осадков и его связь с испарением, транспирацией и влажностью почвы . . . . .</i>	45
<i>Связь леса с тепловым и радиационным балансом атмосферы</i>	53
<i>Состав атмосферного и почвенного воздуха . . . . .</i>	61
<i>Лес и атмосферная пыль . . . . .</i>	71
ЖИЗНЬ ЛЕСА . . . . .	79
<i>Фотосинтез и дыхание растений . . . . .</i>	79
<i>Взаимосвязь почвы с растительностью, животным миром, водой и климатом . . . . .</i>	89
<i>Почвенное питание растений . . . . .</i>	95
<i>Влияние влажности и теплового режима почв на микрофлору</i>	105
<i>Микрофлора древесного опада и отпада . . . . .</i>	115
<i>Взаимосвязь леса и почвенной фауны . . . . .</i>	127
<i>Взаимосвязь вредной фауны, растительности и микроорганизмов . . . . .</i>	135
<i>Взаимосвязь позвоночных животных, леса и насекомых . . . . .</i>	146
<i>Лесные пожары . . . . .</i>	155
<i>Совокупность факторов, влияющих на продуктивность древостоев . . . . .</i>	160
<i>Радиоактивные продукты деления в атмосфере и влияние их на лес . . . . .</i>	232
<i>Заключение . . . . .</i>	241
<i>Литература . . . . .</i>	243

*Алексей Александрович Молчанов*

**Лес и окружающая среда**

*Утверждено к печати  
Лабораторией лесоведения АН СССР*

Редактор Издательства *А. Н. Павлов*  
Художник *А. А. Куценко*  
Технический редактор *Н. Д. Новичкова*

Сдано в набор 11/XII 1967 г. Подписано к печати 28/III 1968 г.  
Формат 84×108<sup>1/32</sup> Бумага № 1 Усл. печ. л. 13,02.  
Уч.-изд. л. 12,8 Тираж 4500 экз. Т-06120 Тип. зак. 3759

*Цена 81 коп.*

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., д. 21  
2-я типография издательства «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер. 10