

Федеральное агентство по образованию
Архангельский государственный технический университет

В.Ф. Цветков

ЭТЮДЫ ЭКОЛОГИИ ЛЕСА

Монография



Архангельск 2009

УДК 630*181.2/34

ББК 43.4

Ц 27,

Рецензенты:

В.Т. Ярмишко – директор Ботанического института РАН, зав кафедрой ботаники СПб ЛТА, доктор биологических наук, профессор;

К.С. Бобкова – гл. науч. сотрудник отд. лесобиолог. проблем Севера Института биологии УрО Коми научного центра РАН, доктор биологических наук, профессор

Цветков В.Ф.

Ц 52 Этюды экологии леса: моногр. – Архангельск: Арханг. гос техн. ун-т, 2009. – 354 с.

ISBN 978-5-261-00415-8

На материалах монографий, разработок ведущих специалистов, ученых – лесоведов, экологов, естествоиспытателей – с привлечением результатов собственных наблюдений рассматриваются и комментируются вопросы обусловленности распространения, свойств и продуктивности лесов комплексом абиотических факторов местообитаний.

Проанализирована обусловленность свойств, функционирования, структуры и продуктивности лесных насаждений климатическими факторами (приходом суммарной солнечной радиации, складывающимся радиационным балансом и др.), множеством показателей почвенно-гидрологических условий, образующимися условиями и режимами тепло- и влагообеспеченности. На конкретных примерах в режиме компиляции рассмотрены закономерности зональности, поясности и секторальности географического распространения лесов. Рассмотрено влияние лесных биогеоценозов на окружающую среду: на климатические условия в глобальном, региональном и локальном (местном) уровнях, почвообразовательные процессы, формирование водного баланса территорий, другие составляющие окружающей среды.

Книга предназначена для всех увлеченных удивительными проявлениями разнообразия свойств и функций леса, проявлениями мудрости и гармонии законов его функционирования. Книга будет интересна всем любителям природы, студентам, аспирантам, преподавателям природоохранных и экологических дисциплин, всем, озабоченным неблагоприятной экологической обстановкой.

Библиогр. 128 назв. Ил. 76. Табл. 45.

УДК 630*181.2/34

ББК 43.4

*Рекомендована к изданию кафедрой лесоводства и почвоведения АГТУ,
Архангельским Центром Русского Географического общества*

ISBN 978-5-261-00415-8

© Архангельский государственный
технический университет, 2009
© Цветков В.Ф., 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лес – одно из физиономических проявлений многообразия растительного мира. Но не менее разнообразны проявления самого леса. Это необычайно широкие диапазоны популяционного разнообразия, структуры и продуктивности: от кустарниковых криволесий в притундровых районах и в горах до высокопродуктивных лесов из мамонтова дерева и гигантской секвойи на Атлантическом побережье США, от африканских саванн до горных чернолесий Средней Сибири и амазонской гилеи. И совсем уж необъятны складывающиеся взаимоотношения древесных пород и насаждений с окружающей их средой, с множественностью сочетаний взаимовлияния лесных сообществ и экологических факторов, влияния человека.

При всей множественности разнообразия в жизни леса, в истории возникновения насаждений, в наличии множества этапов их возрастных изменений, развития и роста существуют общие законы. Природа, как известно, стремится к разнообразию, но только не в деле «конструирования» своих творений. Чаще используются уже апробированные в других ситуациях наработки, т.е. оправдывающие себя эффективные придумки природы изобретательно тиражируются. Это обстоятельство открывает возможность познавать закономерности функционирования древесных пород их сообществ, а также взаимоотношения со средой местообитания, используя уже известное по другим объектам, на основе знакомства с жизнью леса в других природных условиях, в других странах.

Человечеством накоплен достаточно большой опыт освоения лесных ресурсов. Имеются определенные достижения в деле воссоздания леса после их сведения рубками или уничтожения пожарами, в деле создания новых насаждений с некими задаваемыми свойствами. Чаще при этом человек действует интуитивно, не вникая в тонкости конкретной ситуации, по-своему понимая и имитируя законы природы. Гарантировать высокую эффективность лесовыращивания лесовод может, только в том случае, если не только знает особенности биологии и экологических свойств древесных пород, их взаимоотношений с условиями среды но также может грамотно использовать эти знания, осуществляя различные приемы управления формированием, развитием и становлением насаждений.

Любое насаждение (конкретное лесное сообщество растительности животного и микробного населения) «прописано» в определенных условиях среды местообитания. Для него характерен определенный микроклимат наземного и подземного блоков, определенный потенциал почвенного плодородия, специфические взаимоотношения с атмосферными явлениями, с условиями рельефа и геологии. Сообщество биоты с комплексом условий среды конкретного местообитания образуют биологическую систему, лесной биогеоценоз (БГЦ).

Функционирование лесных биогеоценозов эволюционно подчинено совершенствованию потоков вещества и энергии между компонентами системы, развивается в направлении укрепления адаптационных способностей, повышения тесноты взаимосвязи с комплексом среды местообитания. Чем теснее и разнообразнее эти связи, чем шире численность популяций биоты, образующих сообщество и эдафические цепи, тем эффективней «работает» экосистема.

Эффективность функционирования лесного БГЦ во многом зависит от сочетания комплекса абиотических факторов местообитания. Этот комплекс составляют приток солнечной радиации, теплообеспеченность, условия увлажнения, освещенность. Это необходимые и незаменимые для жизни факторы, во влиянии на лесные сообщества проявляющиеся одновременно. Одновременность зависимости биоценоза от факторов среды приводит к сложной трансформации каждого из них, к возникновению самых разнообразных сочетаний качественных и количественных их параметров.

Авторы замечательной монографии «Лесная экология» S.H. Spurr, B. V. Barnes, изданной в России в 1984 году под редакцией С.А. Дыренкова, отмечают, что обычно не представляет трудности перечислить факторы, оказывающих влияние на лесную экосистему. Значительно трудней учесть разнообразие их сочетаний и часто совершенно невозможно оценить соответствующие результирующие реакции экосистем на эти комбинации.

Проблему управления сочетаниями экологических факторов усложняется разнообразием географически (климатически и эдафически) обусловленных структур насаждений и лесорастительных условий. В связи с географическими особенностями проявления климата в условиях таежной зоны определяющим фактором интегральных свойств лесных насаждений является теплообеспеченность. Со середины южной подзоны тайги в направлении снижения географической широты для лесных экосистем возрастает определяющая роль условий увлажнения и падает роль теплообеспеченности. Своими географическими закономерностями влияния на ком-

плекс среды местообитания и экологической ролью в экосистеме обладают также освещенность, генетический тип и форма рельефа, комплекс геологических и гидрологических условий ландшафта.

Книга представляет достаточно свободный, не претендующий на исчерпывающую полноту и объективность обзор мнений и частных экологических, лесобиологических представлений ведущих специалистов и ученых лесоводов, экологов, естествоиспытателей, представителей натурфилософического направления в биологии за последние 50-90 лет на отдельные стороны сложных и неоднозначных взаимоотношений между лесными экосистемами и наиболее значимыми экологическими факторами среды обитания леса.

Используемые в книге материалы довольно «пестры», разнозначны, как по методическим подходам, по выбору объектов и задаваемым целям, так и по географии и лесорастительным условиям лесных экосистем. Тем важнее представляемая этими материалами информация, поскольку несмотря на все сложности и пестроту материала, всё «работает» на справедливость известной концепции естествознания: «абиотическая среда - первичное явление по отношению к существующим экологическим системам». Материал книги построен по принципу условно принимаемого ряда значимости комплекса экологических факторов, каждый из которых для лесных экосистем является в сущности исключительно значимым, лимитирующим, определяющим и незаменимым.

При изложении материалов автор пытался оперировать представлениями о «четырех иерархиях» по Дж. Фортескью(1985): иерархии пространства, иерархии времени, иерархии организационных структур объекта и иерархии методов построения данных. Хотя схему иерархичности по всему кругу выдержать не удавалось, ориентация на нее в основных разделах позволила придать материалам упорядоченность и логичность.

По замыслу автора книга представляет первую часть труда по обозначенной проблеме. Вторая часть должны составить экологические аспекты состояния лесных экосистем в условиях антропогенеза (связь с пожарами, влияние аэротехногенного загрязнения, влияние осушения, последствия промышленных рубок, лесовозобновление и др.).

1. ЛЕС МНОГОЛИКИЙ

«... Лес только один из многих природных событий являет нам примеры достойные преумножения: своими пространствами и мощью, гармонией и статью он побуждает к великим душевным движениям, к скромной важности, к молчаливой победе и постоянству.....».

по М. Метерлинку

Лес – широко распространенный компонент среды окружения человека. Для многих он еще место приложения сил, предмет разнообразных направлений трудовой деятельности. Почти для четверти населения России лес – подлинный «кормилец». Одновременно лес – составляющая природной среды, одна из наиболее действенных ее составляющих. Проявление и значение леса чрезвычайно разнообразны. Поэтому этот многоликий предмет рассматривается с разных точек зрения, в различных аспектах и в разных масштабах.

Для лесовода, лес, представляет интерес как естественно-биологическое и одновременно – хозяйственное явление, как специфическая разновидность природного комплекса, с весьма значимым сырьевым потенциалом и с широким потенциалом действенных пока мало востребованных средообразующих (экологических) свойств. Для лесопользователей, представляющих большую часть людей связанных с лесным делом, лес – сырьевой ресурс и только. Шлейф других неотъемлемых его полезностей, нередко многократно превышающих сырьевые свойства, их не интересует. С этим обстоятельством связаны многие проблемы современного лесопользования в стране

В лесном словаре, изданном в начале XIX века, лесом называют *«пространство, занятое лесной растительностью»*. Такой же примерно смысл вкладывается в это слово в толковых словарях русского языка (Даль, Ожегов, Ушаков). У корифея российского лесознания Г.Ф. Морозова лес – *«не только растительное сообщество, но и часть земной поверхности, поросшая лесом»*. По М.Е. Ткаченко лес – это *«своеобразный элемент географического ландшафта в виде большой совокупности деревьев, в своем развитии биологически взаимосвязанных и влияющих на окружающую среду на более или менее обширном земельном пространстве»*. В международных организациях (ФАО – отделение продовольствия при ООН) лес определен как *«земли, поросшие растительными сообществами, где произрастают деревья разных размеров»*.

Сегодня в среде специалистов лесного дела в ходу также несколько теоретизированных определений леса. У лесоведов это участок суши, исторически длительное время занятый лесной растительностью, где главной составляющей является совокупность древесных пород, где обитают многие виды растительности, животного населения, где сформировалась и поддерживается определенная лесная среда. Чаще всего это участок пространства суши, заселенный лесной растительностью, где главную роль играют древесные породы (деревья). Лес называют также специфическим типом географического ландшафта, где основу живой природы образует лесное сообщество.

В благоприятных условиях произрастания лес представлен многими ярусами растительности, однако эдификатором («определяющим», «созидателем») везде выступает древесный ярус. В соответствии с ГОСТ 18486-73, *Лес – элемент географического пространства, состоящий из совокупности древесных, кустарниковых, травянистых растений, животных и микроорганизмов, в своем развитии, биологически влияющих друг на друга и на внешнюю среду.*

Биологи рассматривают лес как открытую динамическую биологическую систему, обладающую рядом специфических свойств. На первом месте среди этих свойств – высокая организованность, самовозобновляемость, способность к прогрессирующему развитию и усложнению организации, к повышению продукционного потенциала.

Однако даже при активном вовлечении леса в хозяйственное экономическое производство в понятие «лес» может также вкладываться неодинаковое содержание. Даже у специалистов – лесоводов в это понятие многоаспектно. Точнее сказать, для специалиста необходимо каждый раз уточняться в дефиниции объекта обсуждения. В контексте это могут быть самые разные понятия, такие как «молодой лес», «хвойный лес», «лес эксплуатационного назначения», «высоко товарный лес», «лес защитного назначения» и т.п.

Еще больше разнообразие трактовок у обывателя, у человека, тесно не связанного с лесом. Под это понятие попадают как настоящий «матерый» ельник – лес коренного типа, так и бывшее поле, заросшее березой и ольхой. Лесом называют и парк и участок соснового молодняка, созданного на пустыре посадкой сеянцев. Последние объекты относить к лесу без определенных оговорок по-видимому неправильно. Наличие древесных растений это далеко еще не все, чем характеризуется лес. Это понятие при любом подходе – явление природно-биологическое, а стало быть – истори-

ческое, в известной мере – эволюционное. «Для леса необходим определенный историзм», подчеркивают классики лесоводства.

Толкование понятия «лес» усложняется чрезвычайным разнообразием проявлений его внешнего облика, свойств и распространением в комплексах местообитаний. Наиболее наглядно это разнообразие при рассмотрении предмета в планетарно-географическом отношении. Сравним леса из гигантских мамонтова дерева или секвой на Атлантическом побережье Америки и кустарниковые леса на севере Камчатки; высокоствольные ельники Карпат и редколесные саванны Центральной Африки; сказочное разнообразие древесной растительности бразильской гилеи и кедрово-стланиковые заросли Центральной Сибири.

Большим разнообразием географических формаций лесного типа растительности отличаются леса России. На территории РФ географами и геоботаниками описано множество форм их проявления. Известны понятия «высоколесье», «черневая тайга», «степные колки», «кустарник», дубрава», «ерник» и т. д. При систематизации лесных экосистем на европейском Севере России, включая леса притундровых районов (Цветков, 1995), в развитие представлений геоботаников было предложено различать три главных географических формации лесной растительности: «собственно лес», «кустарники», «стланики». Среди «собственно лесной» формации выделяются классы формаций «высоколесья», «среднелесья» и «мелколесья», в совокупности кустарников – классы формаций по высоте: «более 5 м» (ветляники), «2–5 м» (средние по высоте), «до 2 м» (низкие). Среди стланиковых образований различают классы «с изменяющимся положением ствола» (кедрово-стланики) и «с постоянным положением» (хвойные, лиственные, смешанные). Отдельные географические формации представляют своеобразные формации «криволесья» и «редколесья».

В рамках географических формаций и классов формаций выделяются формации преобладающих пород (сосняки, лиственничники, березняки и др.). Совокупность насаждений одной формации представлена насаждениями с разными лесорастительными условиями (сосняк долгомошный, сосняк лишайниковый, сосняк травяной и т.п.). Можно наблюдать большое разнообразие структур насаждений даже в пределах совокупностей одного типа леса (разные типы возрастных структур, разные возрастные этапы, разный состав пород и т.д.).

В хозяйственно-экономическом теоретическом отношении (И.С. Мелехов, Н.А.Моисеев, Н.П. Анучин С.Г. Сеницын, С.А. Дыренков, Н.И. Кожухов) лес принято рассматривается как био-хозяйственную систему, как

территориальное природно-хозяйственное образование. Это образование состоит из двух крупных блоков: лесной экосистемы и производственного организационно-хозяйственного комплекса. С экономической точки зрения лес рассматривается с трех позиций (цитируется по И.С. Мелехову: *лес – предмет труда, лес- продукт труда, лес – средство труда*).

При хозяйственном использовании лес следует рассматривать однозначно как *предмет труда*, как объект приложения сил, средств и интеллекта (технологии, системы машин, системы хозяйствования и др.), как объект производственной деятельности. Одновременно лес является *продуктом труда*, в большой мере – результатом труда человека. Даже в тайге, где главные затраты на лесовыращивание – это энергия природы, необходим труд человека (управление, обеспечение рационального использования, охрана и защита, эффективное воспроизводство и др.). Функция продукта труда возрастает многократно в малолесных районах, где леса могут существовать только при деятельной поддержке человека. В сфере природопользования лес всегда выступал также в роли *средства труда*. Имелся в виду опыт использования свойств леса для формирования и стабилизации факторов природной среды, для регулирования экосферных свойств насаждений экологической обстановки территорий. Широко известен опыт полезащитного лесоразведения, регулирования водоохраных и климатозащитных свойств насаждений.

Лес бывает естественным и искусственным (созданным с помощью человека на основе природных законов). Леса природного происхождения в свою очередь могут иметь разную историю. Они могут быть *девственными*, не затронутыми практической деятельностью человека и *естественными* – также природного происхождения, но затронутые человеком или стихийными явлениями, в определенной мере измененными. Бывают леса *естественные*, но создаваемые человеком на основе законов природы с использованием сил природы. В лесоводстве Западной Европы такие леса называют *хозяйственными*. Есть и другие подходы к дифференциации исторической составляющей лесов. В частности различают понятия *коренной лес, квазикоренной* (условно коренной), *старовозрастный, производный или вторичный* лес и т.п.

Особое место занимают так называемые искусственные леса, т.е. леса, создаваемые человеком посевом семян, посадкой сеянцев, саженцев или дичков, укоренением черенков, отводками и т.п. Понятие «искусственное» в этом случае не совсем верно отражает существо дела. Искусственное здесь – только труд человека, затрачиваемый на направленное ис-

пользование законов природы: на сбор и высев семян в подготовленные более благоприятные условия, выращивание сеянцев или саженцев из естественных по природе семян.

Искусственные леса пока немногочисленны. И неизвестно, насколько перспективно создание их в будущем. Именно эти леса следовало бы по понятиям российских лесоводов считать хозяйственными (вовлеченными в активную лесохозяйственную деятельность). Рукотворные леса чрезвычайно разнообразны и опыт их создания очень важен для лесовода. При их создании представляются хорошие возможности управлять развитием и формированием насаждений. Теоретически при этом можно задавать свойства и конструировать разные типы (модификации) насаждений. И хотя здесь далеко не все просто, рукотворное лесовосстановление и лесоразведение при его больших недостатках имеет ряд преимуществ.

Леса любого генезиса в любом регионе, и прежде всего как природные объекты, могут рассматриваться в разных пространственных масштабах. Используя современные трактовки и представления, географическую размерно-пространственную, распространенную в лесоводстве иерархию лесных объектов, приведенную И.С. Мелеховым (1980), можно представить следующим образом. *Лесной покров Планеты*, как составная важная часть географической оболочки Земли, как вся совокупность лесной растительности на планете. Леса в этом случае - элемент биосферы.

Планетарное видение леса получило особую актуальность в связи с переосмыслением его роли в глобальном углекислотно-кислородном круговороте Биосферы, с осмыслением исключительной роли и жизнь порождающих функций зеленого растения, с осмыслением особой его роли в предотвращении глобальных климатических изменений. Оказывается, на леса приходится до 68% годичной продукции органического вещества Планеты. В многолетних циклах своего функционирования лесная растительность аккумулирует почти 64 % биомассы. Существенно, что «отходом» в синтезе органики у зеленых растений является кислород – подлинный «элемент жизни».

На планетарном уровне лес предстают как *суперзональное природное явление* (леса тропические, таежные, дождевые, притундровые, саванные, леса Австралии, леса Малой Азии и т.д.). Это самое масштабное осмысление явления. На этом уровне лес рассматривается не только и как глобального уровня сырьевой ресурс, но и непременно, как определяющий фактор ОС. На разных континентах соотношение между этими двумя сторонами меняется, однако они всегда вместе, всегда неразделимы.

В масштабах континентов лес – обязательный фактор формирования *природных зон*. В северном полушарии он образует целый циркумполярный пояс - «пояс хвойных лесов холодной зоны». Тайжные леса Евразии при этом отличаются от таковых на американском континенте. Саванны Восточной Африки лишь отдаленно напоминают американские прерии. В пределах лесных образований уровня природных зон и подзон выделяются более однородные образования – *лесорастительные области и провинции*. Области различаются суммой свойств, включающих породный состав, продуктивность. Более конкретное содержание получают *лесорастительные провинции*, разграничиваемые в пределах областей или природных подзон на уровне *континентальных секторов* (Северотайжные леса Карелии, Леса Беломорско-Кулойского Плато, Леса Плесецко-Каргопольской провинции и т.п. (Цветков, 2000). Определяющими признаками выступают лесистость, доля формации хвойных насаждений, хозяйственная освоенность, средний класс бонитета коренных типов леса.

Леса лесорастительного или лесохозяйственного района – территориально – часть земель лесорастительной провинции с характерной структурой лесных и не лесных земель, формаций преобладающих пород и типов леса, с характерным направлением сложившегося или потенциального лесохозяйственного производства. В условиях европейской тайги территория района оценивается первыми сотнями тысяч гектаров, т.е. соизмерима с территорией административных районов.

Лесная дача – обособляющаяся в лесном фонде лесорастительного (лесохозяйственного) района часть территории с характерным сочетанием формаций преобладающих пород, товарности и продуктивности, с определенными уровнями освоенности и ресурсно-сырьевым потенциалом. Площадь лесных дач – первые десятки тысяч - тысячи гектаров.

Лесной массив – часть лесной дачи, характеризующаяся однородностью формационной структуры, чаще компактная в пространстве, с доминированием одной лесообразующей породы, с определенными продуктивностью, освоенностью и народно-хозяйственным потенциалом. Площадь лесного массива сотни - первые тысячи гектаров.

Лесной участок – участок лесного массива с однородными лесорастительными условиями (с одинаковым лесорастительным эффектом): лесной биогеоценоз (БГЦ) или группа БГЦ с одинаковым биотопом. Адекватен понятию «лесной выдел», площадь – от 3(5) до десятков гектаров.

Элементарный лесной участок – часть лесного участка однородная как по растительности (структуре насаждения), так и по лесорастительным

условиям. Элементарный лесной участок адекватен объему лесного биогеоценоза. Чаще всего он входит составной частью в лесной выдел. Площадь – от 0,25 до десятка гектаров.

В принципе дифференциацию леса при необходимости (со специальными целями) можно продолжать и далее – уже в рамках элементарного лесного участка. Таким образом, определение исчерпывающе полного содержания термина «лес» – задача далеко не простая.

Для леса наиболее характерна древесная растительность, однако не всегда наличие деревьев означает «лес». Отдельные деревья в поле, совокупность деревьев в парке, это отнюдь не лес. Деревья одной породы будут различаться габитусом (формой и протяженностью крон, сбежистостью ствола, суковатостью). В таких природных образованиях не достает характерных для лесного сообщества взаимоотношений между деревьями, нет характерного для леса животного населения (большинства видов насекомых, паукообразных, простейших). Далеко не сразу формируется в сообществах лесной растительности подлинно «лесная среда»: характерный для леса микроклимат. Первостепенное значение в познании природы леса представляет рассмотрение экологических его свойств.

2. ЛЕС В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

«... Лес и его территория должны сл иться для нас в единое целое, в географический индивидуум или ландшафт...»

«... На лес и его разнообразные форм ы и их жизнь мы должны смотреть как на ботанико-социальное и ботанико-географическое явление. ...»

Г.Ф. Морозов

Широкое распространение лесной растительности на пространствах планеты свидетельствует, с одной стороны, о необычайном разнообразии условий местообитания, с другой – о не менее широком многообразии биологии и экологических свойств видов лесообразующей древесной растительности. Несложно по свидетельству С.Г. Спурр и Б.В. Барнес (1984) перечислить факторы среды обитания леса, но пока не удастся установить всего разнообразия их сочетаний в конкретных природных условиях, установить оптимальны их сочетания для наиболее представленных типов местообитаний. Несмотря на обилие имеющейся в распоряжении ученых информации, остаются пока не известным результирующее влияние разных факторов на древесные породы и на лесные сообщества, поскольку это влияние всегда совместно и одновременно и неодинаково по знакам, по результирующему эффекту.

Лесное насаждение, как все другие природно-территориальные комплексы (ПТК), оказывается «прописанным» в определенной физической окружающей среде (ОС). В широком смысле под ОС понимается совокупность материальных тел, веществ, явлений, разных видов энергии, прямо или косвенно оказывающих влияние на организмы лесных сообществ. Экологи предлагают от окружающей среды (среды обитания) отличать «условия существования». Под этим термином понимается совокупность жизненно необходимых факторов, без которых тот или иной тип биоты, не может существовать. К этому понятию близок по смыслу термин «лесорастительные условия», используемое лесоведами.

Лесорастительные условия – это комплекс условий среды, включающий микроклимат, условия рельефа, почвы, обеспечивающий возможность поселения (в т.ч. рукотворного) древесной растительности и тот или иной уровень продуцирования насаждений, способных формироваться в данном местообитании.

Лесорастительные условия (среда обитания леса) достаточно разнообразны и постоянно нестатичны. Комплекс лесорастительных условий вместе с поступательным естественным развитием окружающих пространств, непрерывно изменяется. Изменения эти происходят как в результате действия космических сил (колебания солнечной радиации, вращение Земли, приливные силы моря циркуляционные процессы в атмосфере), так и в результате изменений микроклимата, почвенно-гидрологических условий под влиянием функционирования самого леса.

Новую струю в понимание лесорастительных условий, в понимание многообразной сущности леса в XX веке внесла биогеоценология – наука об экосистемах в определенных условиях местообитания по законам «эконики природы». Лес оказался очень благодатным объектом для развития экосистемных идей, идей биогеоценологии. Не случайно, основоположник этой науки, академик В.Н. Сукачев свои идеи биогеоценоза (БГЦ) развивал на примере лесных сообществ. На основе представлений о лесном биогеоценозе биогеоценология помимо углубления теоретических основ получила возможность развивать и прикладную составляющую, решать насущные лесоводственные проблемы насаждений (Основы лесной биогеоценологии, 1964; Бяллович, 1970, 1973; Мазинг, 1973)..

Параллельно с экосистемным видением сложных сообществ живого вещества со средой обитания развиваются системные представления о лесных насаждениях. Насаждение предстает уже как биологическая система с тесными взаимосвязями между многочисленными компонентами живых организмов, между компонентами биоты и экологическими элементами окружающей природной среды (ОС).

В ходе естественно протекающих эволюционно направленных процессов между лесом и окружающей средой складываются тесные взаимосвязи и взаимовлияния. Постепенно со временем поселения лесного сообщества на участке расширяются и становятся более отчетливыми связи в совокупностях материальных тел, в массе веществ, явлений, разных видов энергии, прямо или косвенно образующих единение биоты и лесорастительных условий (Бяллович, 1970). Одни внешние факторы положительно влияют на функционирование лесных БГЦ, другие – блокируют жизненные процессы в них, третьи – остаются индифферентными.

Важнейшим свойством леса, как открытой биологической динамической самовозобновляющейся системы является организованность, четкая структурированность элементов, связей и потоков вещества, энергии и информации (Крауклис, 1979). Элементы леса строго соподчинены и образу-

ют иерархические цепочки. Для леса, как саморазвивающейся биологической системы, характерна эволюционная «нацеленность» на совершенствование и усложнение структуры.

Как биологическая система, лес возникает и умирает (в известном смысле). Долговременность существования, многоэтапность проявления, возрастная стадийность, обусловленные замедленным течением метаболических процессов - весьма специфические свойства леса. То есть лес нужно рассматривать всегда не только в пространстве, но, и обязательно во времени. Как и в любых других типах экосистем, в лесном БГЦ складываются достаточно определенные взаимоотношения между сообществом живых организмов и окружающей средой, между популяциями отдельных видов, между популяциями и факторами окружающей среды, между группами особей, а также между отдельными особями (Дылис и др. 1964; Бяллович, 1970; Уткин, 1980).

Лесные экосистемы – многоуровневые образования. В связи с разнообразием условий произрастания биологических свойств лесообразующих пород они характеризуются большой изменчивостью объемов вовлеченных и вовлекаемых в круговороты вещества и энергии, теснотой и энергичностью связей.

Применительно к лесному насаждению (к конкретному участку леса) важны такие свойства и организационно-структурные признаки, как породный состав, фитоценотическая структура, строение древостоя, продуктивность, биологическое разнообразие, средообразующий потенциал. Когда природное понятие «лес» распространяют на большие не конкретизированные географические пространства, имеют в виду скорей всего тип природного ландшафта характеризующийся преобладанием лесной растительности с характерным климатом и определенными средообразующими свойствами.

По выражению В.Н. Сукачева «Жизнь леса – есть непрерывная борьба за существования». Это наглядно проявляется на облике любого сообщества древесной растительности, на любом лесном участке. В совокупностях деревьев с момента установления взаимосвязей между индивидуумами отчетлива дифференциация. Одни особи процветают, здоровы, много крупнее и благополучнее соседних. Другие подавлены, угнетены и явно «уходят со сцены». Часть деревьев относят к категории вспомогательных, соподчиненных. Конкурентные отношения в сообществах древесной растительности составляют отдельный, весьма своеобразный и очень важный экологический фактор.

Конкурентная борьба в совокупностях деревьев проявляется не только в надземной части леса, но и в сфере корневых систем. На дифференциацию деревьев в лесу оказывают влияние различия в их биологии и в возрасте. Имеют значение различия в наследственных свойствах деревьев. С определенного момента движущей силой развития насаждений выступает конкуренция (как межвидовая, так и внутривидовая). Деревья, представляющие разные фитоциальные группы или совокупности, характеризуются разным жизненным потенциалом, разной энергией роста и развития, отличаются устойчивостью к неблагоприятным факторам.

Складывающиеся конкурентные взаимоотношения между деревьями в лесу на первый взгляд оцениваются явно негативно: высокая, казалось бы беспричинная смертность (95–97%), ослабление и болезни у многих деревьев. При близком рассмотрении в явлении конкурентных взаимоотношений деревьев видны отчетливые позитивные моменты. Результатом конкуренции является приспособление деревьев к совместному произрастанию (Сукачев, 1972). У деревьев проявляются некоторые полезные индивидуальные свойства, дающие больше шансов на сохранение в борьбе за элементы жизни.

Среди географически обусловленных экологических факторов первостепенное значение имеют свет, тепло, почвенная влага, влага атмосферы, обеспеченность почв элементами питания, физико-механические свойства почв. Число экологических факторов растет по мере познания лесоводом свойств лесных сообществ. В последние десятилетия появился новый экологический фактор, связанный с активной деятельностью человека: масштабное и локальное загрязнение ОС, в т.ч. радиоактивное загрязнение.

В соответствие с системными принципами, определяющие свойства лесов факторы при совместном проявлении могут усиливать друг друга, а могут гасить влияние одного другим. Нельзя рассматривать связь какой-то функции лесной растительности с экологическим фактором, не учитывая зависимость этого фактора от других, не учитывая влияния сообщества в местообитании на этот фактор.

Приходится считаться с тем, что при относительно слабой изученности природы лесных сообществ помимо известных человеку всегда найдутся влияющие на лес факторы, не известные или не оцениваемые по тем или иным причинам и потому не учитываемые. Дело усложняется тем обстоятельством, что лесное сообщество – динамичная система и, стало быть, отношение к экологическим факторам изменяется во времени, с возрастом насаждений. Еще труднее расставить приоритеты многочисленным факторам

среды, в сочетании которых складываются закономерные градиенты благоприятности – неблагоприятности обитания лесной растительности.

С позиций теории систем, каким бы сложным не представлялся природный объект, он не может быть образован однородными равнодействующими компонентами. Только наличие неравнозначных составляющих, различающихся качественно, формами, интенсивностью и направлениями движения (развития), может гарантировать комплексу элементов статус системы. А чтобы эта совокупность элементов обрела черты системы биологической, основу этой совокупности должны составлять биологические составляющие: набор популяций биологических видов, групп индивидуумов, агрегатов живых организмов и организмов-индивидуумов. Биологическая составляющая системы должна «опираться» на соответствующую среду обитания: образующуюся на контакте известных сфер: литосферы, гидросферы и атмосферы. В конкретной географическом пункте Лесные сообщества отвечают этим требованиям законов системности, т.е. могут рассматриваться как экологические системы.

Лесное сообщество – одно из самых сложно организованных биологических образований. Оценить и понять природу леса можно только изучая его структуру и организацию в совокупности с обстоятельным познанием среды его обитания. Лес – всегда продукт взаимодействия двух начал – определенной генетической структуры со свойственными ей комплексами физиологических проявлений, а также определенной среды обитания.

При рассмотрении динамики производных лесных БЦ возникает необходимость выявления механизмов изменения конкурентных взаимоотношений между индивидуумами, прежде всего в совокупностях эдификаторов. Складывающаяся ситуация может быть прокомментирована известным тезисом Л.Г. Раменского (принципа континуума Г.А. Глазона): *«...широкое перекрытие экологических амплитуд и рассредоточенность центров распределения популяций вдоль градиента среды приводят к плавному переходу одного общества в другое, поэтому как правило, не образуется строго фиксированных сообществ...»*. Этот постулат можно хотя бы упрощенно прокомментировать рисунком 1, отражающим закономерные изменения параметров экологических ниш конкурирующих индивидуумов в одновидовых и сложных по составу сообществах. Если в популяциях одновидового типа при любой плотности нет опасности смены со временем эдификатора, то во многовидовых велика вероятность кардинальной смены структуры и изменения типа сообщества.

1408777

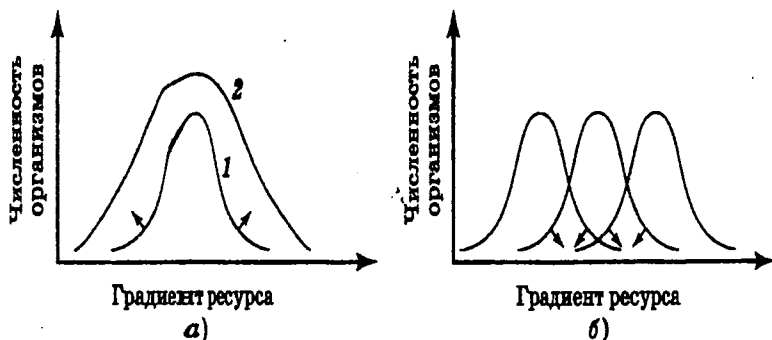


Рис. 1. Изменение ширины экологической ниши при внутривидовой (а) и межвидовой (б) конкуренциях (по П. Джиллеру): 1 – низкая плотность популяции 2 – высокая плотность популяции

Среда обитания лесного сообщества – включает определенный объем атмосферы, где размещены надземные части растительности; от наземных мхов и лишайников до крон 20–40 (80) метровых деревьев. Отдельный и весьма специфический элемент среды представляет почва и подпочва с определенными геологической историей, с режимами тепло- и влагообеспеченности, со свойствами ландшафта. Здесь находится ризосфера лесного сообщества – размещаются корневые системы.

Соответствующее состояние атмосферы, свойства почвы-подпочвы в конкретных географических координатах суши в совокупности составляют параметры местообитания экосистемы, условия местообитания (экоотп) лесного сообщества. Характерным для каждого типа местообитания являются не только детерминация структуры лесного сообщества свойствами среды обитания, но также определенное влияние сообщества леса (разнообразной растительности и не менее разнообразного животного населения) на среду обитания.

Древесная растительность функционирует сразу в нескольких средах. Кроны деревьев и надземные органы другой растительности получают тепло, свет, углекислоту, кислород, некоторые микроэлементы их атмосферы или через атмосферу. Важную роль в функционировании лесного сообщества имеет круговорот влаги, представляющий в сущности элемент свойств гидросферы. Через корневые системы, размещающиеся в почве, деревья получают воду, набор минеральных веществ, необходимые для отправления важнейших жизненных функций. Одновременно почво-грунт является той физической субстанцией, которая обеспечивает механичес-

кую устойчивость сообществ древесных растений. Почва, являясь продуктом геологической обстановки, подстилающей горной породы, свойств рельефа связывает фитоценоз леса с литосферой.

Все многообразие экологических факторов, обуславливающих функционирование лесного сообщества, подразделяется на несколько групп. Различают комплексы климатических, эдафических, орографических и совокупности биологических факторов. Среди климатических первостепенное значение имеют приход солнечную радиации, складывающиеся режимы температур воздуха, ветер, интенсивность и спектральная структура освещенности, влажность воздуха, состав атмосферы и содержание в воздухе углекислоты. Режим и количество осадков некоторые лесоводы не считают фактором климатического порядка, поскольку эти показатели местообитаний больше влияют на лес опосредованно, то есть через почву и будучи трансформированными пологом самого леса.

Свойства местообитания зависят от ряда орографических факторов, к которым относят экспозицию склона, высоту над уровнем океана, а также так называемый «базис эрозии» — относительную величину различия между самой высокой и самой низкой точками на рассматриваемом участке. С экспозицией склона связана сумма приходящей солнечной радиации. Немецкими учеными (Бауэр, Вайничке, 1971) установлено, что южные склоны в некоторых речных долинах Центральной Европы получают солнечной радиации в 2–3 раза больше, чем склоны северной экспозиции.

Роль рельефа не ограничивается влиянием на распределение солнечной радиации через склоны разной экспозиции. Условия рельефа оказывают влияние на ход почвообразовательного процесса через явления денудации возвышенных элементов, сноса и переотложения различных фракций осадочного материала, темпов и характера аккумуляции выносимого материала. Подъем над уровнем моря также влияет на количество поступающей и поглощенной местообитанием солнечной радиации. Суммарная радиация теоретически должна возрастать, в то время, как радиационный баланс будет снижаться. Базис эрозии важен как фактор, с которым связана устойчивость сообщества по отношению к эрозии и твердому стоку. Риск эрозии почвы, как известно, возрастает с увеличением уклона местности.

К почвенным факторам относят все физические, химические, а также все биофизические и биохимические свойства почв. Поскольку почва является производной от почвообразующей горной породы, к почвенным факторам относят свойства подпочвы, механический и минералогический

состав, свойственный подстилающей породе гидрологический режим, в частности – уровень грунтовых вод.

Среди свойств почв важны механический состав и его изменчивость по профилю, химические свойства. С механическим составом связаны условия увлажнения, подвижность влаги и элементов питания, воздухообеспеченность и развитость корневых систем. Среди химических свойств важны окислительно-восстановительный потенциал, кислотность по профилю, сумма обменных оснований, наличие гумуса, обеспеченность доступными элементами питания, интенсивность круговорота веществ.

Свойство местообитания в определенной мере зависит также от животного населения сложившихся биогеоценозов. Общеизвестна роль насекомых в обеспечении опыления растений. Среди мира насекомых много видов вредителей леса (листогрызущих, короедов, заболонников, семяе-дов, плодожорок и др.). Наносят вред лесу некоторые крупные млекопитающие. Многие виды птиц способствуют поддержанию приемлемого уровня санитарного состояния растительных сообществ леса. Некоторые виды птиц и мелких млекопитающих помогают возобновлению – распространяют семена древесных пород.

Перечисленные факторы местообитания действует на лесные сообщества в разном количественном соотношении, в тесной взаимосвязи и одновременно. Весьма существенно, что с определенного момента в становлении лесного сообщества оно, это сообщество, само начинает оказывать влияние на местообитание. При этом чем больше возраст, чем разнообразней структура и видовой состав биоты, тем значимей это влияние. То есть, лес взаимопроникающее единство лесной растительности, животных и занятой ими среды. Только такое представление о лесе является исчерпывающим полным и истинным.

3. БИОСФЕРА И ЛЕС

«...Будущее биосферы, будущее человечества зависит от сохранения на планете лесов...».

*Резолюции Генеральной Ассамблеи ООН.
Рио-де-Жанейро, 1992.*

«...Природа в нас начинает не только сознать себя, но и управлять собой...»

Н.В. Федоров

Геологический предтеча

Биосфера это область наружных оболочек Земного шара, освоенная и осваиваемая живым веществом, охватывающая три соприкасающихся взаимодействующих сферы планеты: атмосферы, гидросферы и литосферы. Биосфера – это специфическим образом организованное единство живого вещества, воды, газов атмосферы, горных пород, возникшее в поле активного воздействия космической (солнечной) радиации. Мощность освоенного жизнью слоя оценивается двумя-тремя десятками километров, включая 12...15 км литосферы, 7...11 км гидросферы, 10...15 км тропосферы. Специалисты разных отраслей знаний имеют неодинаковые взгляды на этот вопрос. Экологически мыслящий геохимик Г.А. Богдановский (1994) считает, что верхним пределом распространения жизни на Земле является озоновый слой, располагающийся на высоте примерно 45 км от поверхности земли и сдерживающим смертоносный поток жесткого ультрафиолетового излучения.

В биосфере постоянно действуют разномасштабные круговороты вещества и энергии, что составляющие главное свойство этой специфической геосферы планеты. Основу этих потоков образуют разные периоды и этапы тектонико-магматических циклов геологического развития Земли (рис. 2). Круговороты происходят в масштабах всей планеты, а отдельными звеньями даже могут выходить за ее пределы. Длительность каждого такого цикла измеряется десятками миллионов лет.

В истории планеты сегодня известно 20 таких циклов, следы которых прослежены в земной коре самых разных районов планеты. Каждый из тектонико-магматических циклов начинался с разогрева недр планеты и с выхода на поверхность раскаленной магмы. Остывая, магма образовыва-

ла на поверхности планеты или в верхней части земной коры изверженные кристаллические или аморфные горные породы. Причем начальный магматический цикл занимает около миллиона лет. В этот период возникали горные системы сложенные этими (магматическими) породами.

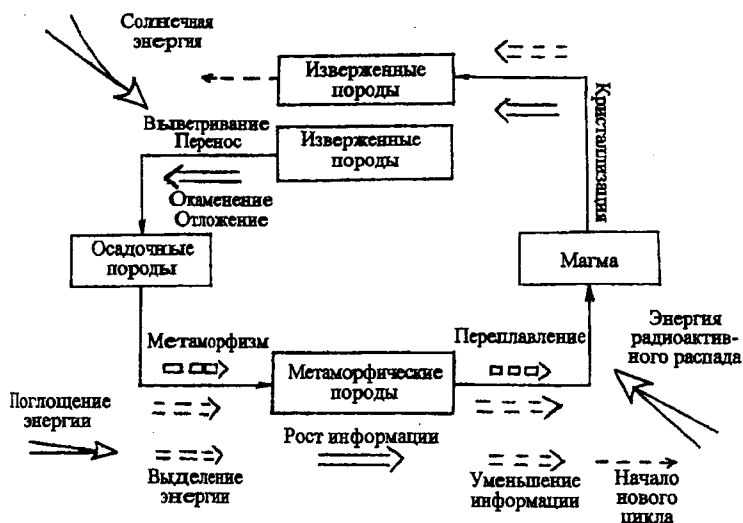


Рис. 2. Большой геологический круговорот (очередной тектонико-магматический цикл развития Земли (по А. Перельману, 1975)

Далее следовал длительный, даже по геологическим масштабам (десятки миллионов лет), период разрушения гор под действием сил космоса и атмосферы планеты. Продукты разрушения гор все больше измельчались и сносились водами в понижения. Образовывался осадочный чехол из новых горных пород (осадочных). В последующем пласты осадочных пород в силу геологических катаклизмов оказывались погребенными в недра, испытывали высокое давления и высокие температуры, в результате чего преобразовывались, приобретали новые свойства - превращались в метаморфические горные породы. Со временем при радиоактивном разогреве недр планеты эти породы расплавились, превращались в магму. Создавались условия для начала нового геологического цикла. Основу геологического круговорота вещества составляют элементы С, Н₂, О₂, Si, Fe, Mn, Ca, Al, Na, K, представляющие основную массу земной коры.

Биологические предпосылки

Живое вещество, появившееся на планете, предположительно, первоначально в гидросфере, быстро (по геологическим масштабам) осваивает сушу и атмосферу, активно включается в формирующиеся потоки и обменные вещества между сферами. Живое вещество достаточно быстрыми темпами осваивает приповерхностные слои литосферы и атмосферы, мелководья океана. В сущности, история Земли в последние 2–3 миллиарда лет – это история биосферы, т.е. история освоения жизнью земной коры, гидросферы и тропосферы. Присутствие живого вещества на планете особенно бурно проявляется в последние 650–700 миллионов лет. Начиная с Венда, геологические события истории Земли все тесней переплетаются с историей появившейся жизни, с ее бурным развитием и расширяющимся влиянием на разнообразные процессы, протекающие на планете.

Сущность жизненных функций всех организмов составляют процессы синтеза и противоположные синтезу процессы разложения органического вещества. Биосфера может нормально (равновесно) функционировать только лишь при одновременном и взаимном функционировании этих явлений, поскольку неотъемлемой функцией живого является обмен веществ с окружающей средой. Обмен веществ в масштабах экосистем разных уровней образует биологические круговороты разных масштабов и емкостей.

Биологические циклы по масштабам вовлекаемых в круговороты вещества и энергии несравнимо ниже геологических. Они всегда укладываются (чаще многожды) в рамки любого из периодов геологического круговорота. Однако по сложности протекающих процессов по удельной их интенсивности биологические круговороты превосходят геологические. Весьма существенно что биологический круговорот принципиально отличается химизмом составляющих идущих процессов. Доминируют в биологических круговоротах кислород, углерод, водород.

Совершенно иной характер имеет энергетическая составляющая биологического круговорота. Роль двигателя здесь переходит от внутренних геологических сил к внешним, космическим. Эту роль выполняет в основном Солнце, точнее – совокупность процессов, «закручивающих» расширяющееся вовлечение вещества в круговорот на поверхности планеты и обусловленные регулярным притоком потока солнечной радиации (в среднем $1,95 \text{ ккал/см}^2 \text{ год}$ (солнечная постоянная)).

Биосфера Земли представляет собой глобальную открытую динамическую систему, имеющей свои вход и выход. Благодаря участию в круговороте живой материи это саморегулирующаяся система. Вход – это поток солнечной энергии, выход – образованные в процессе жизнедеятельности организмов вещества, исключаемые из круговорота и представляющие «консерв» энергии. Саморегулируемость системы в данном случае означает наличие определенной функциональной связи между действием на процесс (на элемент системы) и ответом на это воздействие. Приобретенная экосистемой или биосферой в целом способность к саморегулированию, по мнению А.В. Лаппо (1987) дает основание относить эти явления к типу «централизованных кибернетической систем, в которых один элемент играет доминирующую роль в функционировании системы в целом...». Ведущую часть биологической системы составляет растительность.

С определенного времени, с образования на Земле кислородной атмосферы, главной функцией биосферы стала глобальная трансформация солнечной энергии, наращивание массы органического вещества, повышение разнообразия интенсивности и емкостей биологических круговоротов. Живые организмы на планете оказались ведущими биогеохимическими агентами, образующими и преобразующими земную кору планеты.

По мнению большинства естествоиспытателей – классиков естествознания до сих пор остается открытым вопрос о происхождении живого вещества на планете. Научные достижения современности в разных отраслях знаний о природе показывают бесспорность положения о том, что жизнь на планете зародилась и поддерживается только в результате взаимодействия твердой жидкой и газовой сфер в условиях мощного притока энергии космоса, создавших условия для появления сферы жизни. Заметим, это не единственная точка зрения, основывающаяся на дарвиновской теории происхождения видов, учении Ламарка о взаимоотношениях живой и неживой природы, на учении Шварца и Камшилова об эволюции биосферы. И все же наиболее объяснимой материалистически на современном уровне знаний остается эта гипотеза. Во всяком случае, на ней зиждется все современные представления о мироздании

Со временем при становлении биосферы оформляются первоначально весьма примитивные хаотические и далеко не замкнутые круговороты. Постепенно (природе спешить некуда) с повышением биологического разнообразия экосистем, с увеличением массы и скорости потоков вещества биологические круговороты в биосфере множатся и усложняются, приобретают большую емкость.

Основу жизнь творящих и жизнь поддерживающих активных функций биосферы составляет зеленое растение, эволюционно наделенное способностью эффективно преобразовывать энергию Солнца, аккумулировать ее в последовательно усложняющихся биохимических связях органического мира. Таким образом, пространство биосферы «пронизано живым веществом» и находится под его прямым и косвенным воздействием. О глубине и широте проникновения живого вещества в поверхностные сферы планеты свидетельствует схема сложной иерархической организации биосферы (рис. 3). Согласно рисунку, только на суше имеют место шесть уровней.

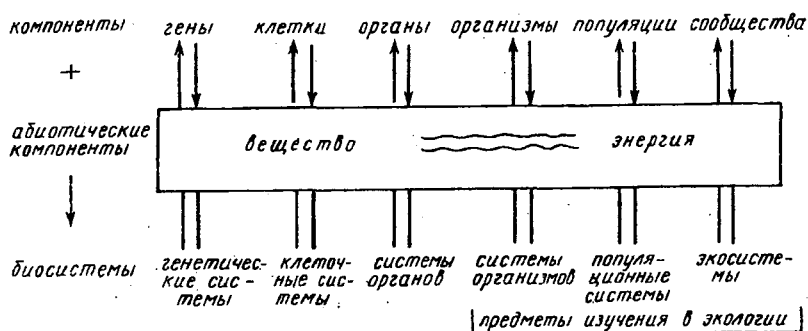


Рис. 3. Иерархия уровней организации в биосфере (схема)

Впервые истинное значение живого вещества в жизни планеты была отмечена профессором Венского университета, известным геологом, Эмануилом Зюссом в 1875 году. Ученый впервые дал понятие о биосфере, как об особой оболочке Земли, охваченной жизнью. Он сформулировал представления о «всюдности» жизни и непрерывности ее проявления. Гениальная прозорливость Э. Зюсса поражала ученых. По мнению А.А. Молчанова (1973) Э. Зюсс сделал «...большое эмпирическое обобщение, все последствия которого сам не предвидел...».

Сложная сущность биосферы была очерчена с понятной сегодня определенностью лишь в XX веке. Исключительный вклад в познание сущности биосферы внес В.И. Вернадский, показавший целостность и системность этого явления, вскрывший сложность и закономерность связей всех компонентов в ее организации. Биосфера с времен великого натуралиста-космиста рассматривается как область земной коры, занятая трансформаторами энергии, переводящими космическое излучение в действенную земную энергию: тепловую, биохимическую, химическую, механическую. Как известно, В.И. Вернадским не только осмыслен трагизм усиливаю-

щейся несогласованности поведения человека с законами природы, но обоснован путь выхода из складывающегося тупика. Ученым в развитие биосферных представлений природных процессов была сформулирована идея Ноосферы. Ноосфера по Вернадскому – это биосфера, разумно управляемая человеком. По-существу сформулирована задача перестройки биосферы в интересах свободно мыслящего, озабоченного будущим человека.

Биологические круговороты

В биосфере живое вещество и среда, в т.ч. минеральная составляющая земной коры, органически взаимодействуют и образуют единую целостную систему глобального масштаба. Со временем увеличиваются объемы вовлечения вещества в разномасштабные потоки вещества. Нарастают масштабы объемов синтеза и диссимиляции материи. Происходит непрерывная аккумуляция энергии и одновременно с этим процессы разрушения (деструкции) сложных органических соединений и превращения их в исходные простые вещества CO , CO_2 , H_2O , H_2S , O_2 , аммиак, нитраты, различные соли и т.п. С развитием биосферных процессов роль биологической составляющей в биосферных процессах последовательно расширяется, растут разнообразие и объемы круговоротов вещества захватываемого «вихрем жизни».

Для биосферы характерно не только распространение и активность живого вещества. Для нее присущи также следующие очень важные свойства физического характера. Во-первых, в ней содержится в огромных количествах жидкая, «всепроницающая» вода. Во-вторых, в биосферу постоянно идет мощный поток солнечной энергии. В-третьих, в биосфере вещество может находиться в трех фазовых состояниях и проявлять постоянные фазовые переходы.

Весьма важно, что очередной цикл круговорота никогда не является повторением предыдущего ни по объему, ни по скорости протекания его отдельных звеньев. Характерным свойством сложившихся в биосфере круговоротов вещества на планете является их неуравновешенность. Именно в силу неуравновешенности и неполной замкнутости биогеохимических циклов происходит закономерное перераспределение химических элементов, обеспечивающее эволюционное развитие биосферы, образуются резервные фонды из периодически выпадающих из круговорота веществ. То есть развитие биосферы идет по линии постоянно сохраняющейся неуравновешенности. А.В. Лаппо этот принцип развития обозначает, как «принцип устойчивого неравновесия живых систем». Суть его сводится к утверждению, что живые организмы представляют собой открытые неравновес-

ные системы. Последние отличаются от неживых, тем, что развитие их эволюционируют в сторону понижения энтропии.

Основу биологического круговорота вещества составляют круговорот кислорода, углерода, водорода, азота, серы и ряда других широко распространенных в земной коре элементов. Доминирующее место занимают три первых в списке элементов. Атомы кислорода, углерода и водорода удерживаются в круге жизни планеты уже сотни миллионов лет. Необходимо учитывать при этом, что не все изотопы приведенных элементов широко участвуют в круговороте. Так среди изотопов кислорода биофильным является только ^{18}O ; среди изотопов водорода – только ^1H , среди изотопов углерода – только ^{12}C . Это обстоятельство нередко не учитывается популяризаторами науки, в силу чего обыватель вводится в заблуждение.

Земля – единственная планета в солнечной системе, где содержится большое количество кислорода в свободном состоянии. Этот элемент является составной частью практически всего органического вещества, в разнообразных его формах. На кислород в составе живого вещества приходится более половины массы (вместе с кислородом воды). Этот элемент является основой жизни всего сущего на Земле. Будучи активным окислителем, кислород атмосферы расходуется в колоссальных количествах на разнообразные окислительные реакции, прежде всего для окисления разнообразных органических соединений в процессе дыхания Единственным поставщиком кислорода в атмосферу и участия его в биологическом круговороте является растительный покров планеты (рис. 4).

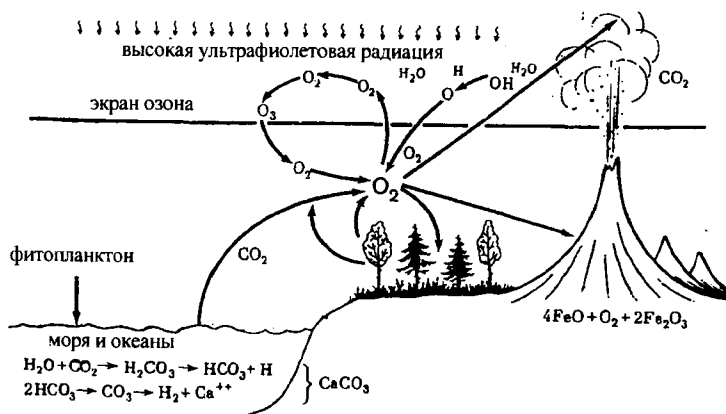


Рис. 4. Цикл кислорода в биосферном круговороте
(по А. Молчанову, 1973)

Кислород акцептируется всеми компонентами биоценоза в процессе дыхания. Мощным потребителем кислорода и поставщиком в атмосферу углерода в историческое время выступает деятельность человека (обеспечение техногенных процессов). При этих реакциях в атмосферу выделяется CO_2 . Второе место по представленности и участию в биологических круговоротах в биосфере после кислорода занимает углерод (рис 5). Его участие в составе органического вещества оценивается в среднем 48 %.

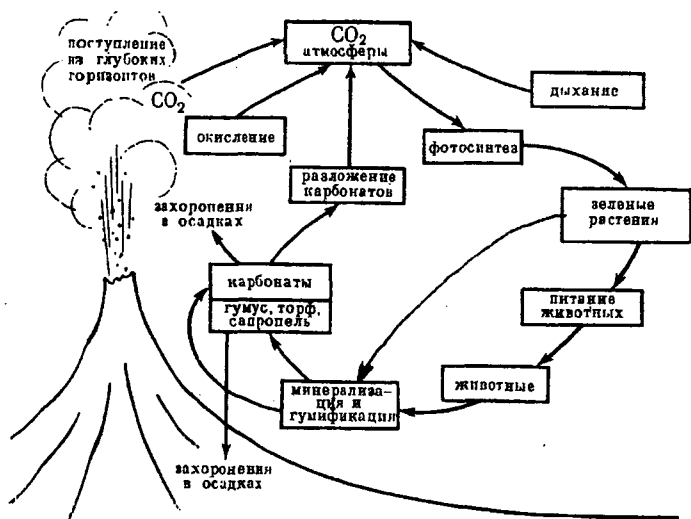


Рис. 5. Биосферный цикл углерода
(без влияния человека; по А. Молчанову)

Главным поставщиком углерода в атмосферу остаются вулканическая деятельность и минерализация карбонатов, торфа, гумуса почв. Эти потоки пополняются углекислотой, выделяемой животными при дыхании. Выделение углекислоты при дыхании живых существ, так же как поступление при минерализации органики, представляют вторую стадию биохимического цикла углерода, связанную с углекислотной функцией живых организмов и мортмассы. Эта стадия сопровождается поглощением кислорода. Однако объем поглощения на стадии дыхания примерно на порядок ниже его поглощения на первой стадии. Это обстоятельство хорошо подкрепляет декларируемое климатологами явление накопления кислорода в атмосфере в геологическом прошлом планеты. Необходимо учитывать также, что огромная масса кислорода постоянно и повсеместно используется

на расщепление первичных минералов в процессе выветривания горных пород.

Геохимиками (Богдановский, 1994) высказываются предположения что при формировании земной коры часть углерода в форме CO_2 вошла в состав нижних ее слоев в виде минералов типа карбидов, а другая часть была удержана первичной атмосферой в виде CO в триасовый период (около 2,3 млрд. лет назад). Предполагается, что на определенных последующих этапах геологического и одновременно биологического становления планеты при пониженных температурах на поверхности планеты CO соединяется с водяным паром по реакции: $\text{H}_2\text{O} + \text{CO} = \text{H}_2 + \text{CO}_2 + 10 \text{ ккал}$. Предполагается, что к моменту образования в земной коре жидкой воды углерод в атмосфере находился в форме CO_2 . Круговорот CO_2 на ландшафтном уровне, в пределах конкретного БГЦ представлен на рис. 6.

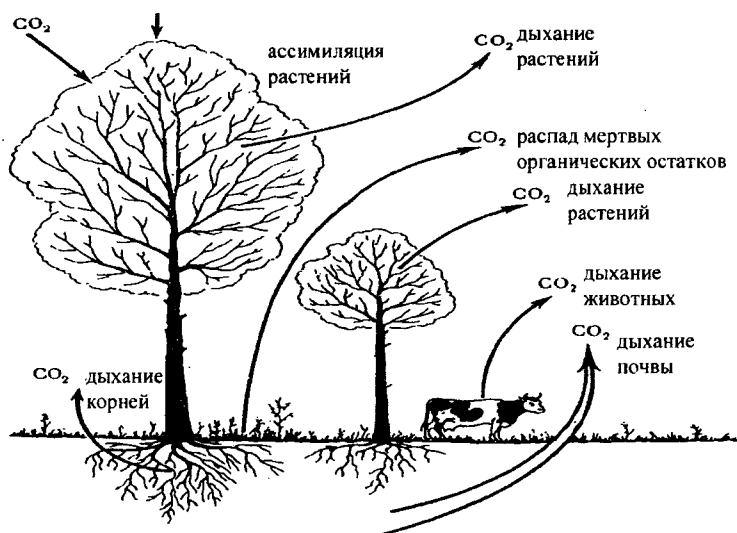


Рис. 6. Круговорот CO_2 на ландшафтном уровне:
в пределах лесного БГЦ (по А. Молчанову, 1973)

В круговоротах (большом геологическом и малом биологическом) активное участие принимает вода – самое распространенное вещество в биосфере. Это вездесущее вещество, благодаря существованию в трех фазах, чрезвычайно активно. В отличие от других веществ, вода не образует в круговороте резервных фондов. Вернадский отмечал, что являясь химиче-

ски активной субстанцией, вода «...очень редко бывает химически чистой., как редко бывает лишенной жизни...», Напротив вода является средой не только для живой материи, но и для всех химических элементов.

Принято считать, что масса воды на планете остается практически без изменения. Другое дело, далеко не всегда оказывается в состоянии, близком к оптимуму для биоты соотношение разных фазовых состояний воды. Серьезную озабоченность в обеспечение возобновляемости воды вызывают растущие масштабы ее загрязнения.

Вместе с некоторыми другими веществами вода образует один из самых деятельных и самых масштабных круговоротов вещества в биосфере. Основным двигателем круговорота воды выступает солнечная энергия. Влага, испаряясь с поверхности океана, перехватывается воздушными течениями и переносится на сушу. Водяной пар над материками конденсируется и выпадает в виде осадков на землю. Вода осадков стекает в реки, которые выносят ее в океан. Этот цикл круговорота на этом завершается.

Но в океан возвращается не вся вода. Часть ее на суше проникает в почву, поглощается корнями растений. Более того в растениях вода, отдав растворенные химические вещества, посредством транспирации выбрасывается в атмосферу. Еще более сложной оказывается путь возвращения влаги, через почвообразовательные процессы.. Таким образом, наряду с большим общим круговоротом существует несколько разновидностей частных, разных уровней, в т.ч. типа: «атмосфера – почва – корни растений – листья растений – атмосфера – океан (суша)». В генерализованном виде биологический круговорот главных компонентов в биосфере Молчанов представляет следующей схемой (рис. 7).

Исключительно велика в возникновении и развитии жизни на планете роль углерода. Жизнь в нашем мире как оказывается «густо замешана» именно на этом элементе. Участие углерода в составе экосистем и в биосферном круговороте вещества хорошо характеризуют в сокращенном виде показатели величин биомассы в экосистемах суши, а также доля массы углерода в энергетических превращениях в годичном приросте, в общей массе минеральных веществ, вовлеченных в состав биомассы по данным известного ученого А.В. Ковды(1971):

- живое вещество суши – 10^{11-13} тонн;
- биомасса лесов – 10^{11-12} тонн;
- минеральные вещества и азот в составе биомассы – 10^{10} тонн;
- энергия связанная в биомассе суши – 10^{19-20} ккал;
- энергия, связанная с растворенным органическим веществом океана – 10^{19} ккал.

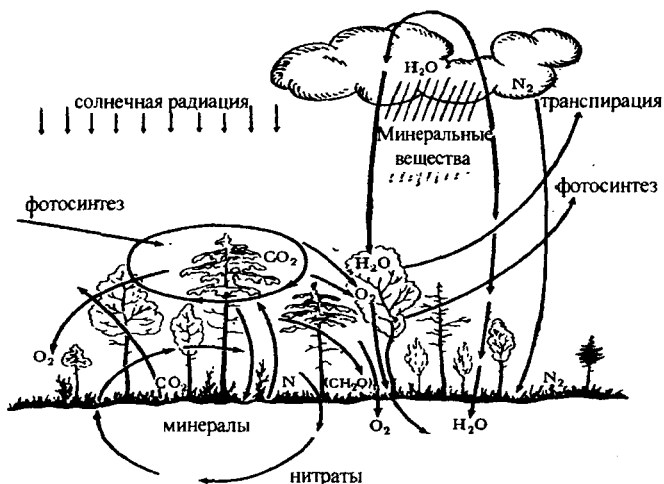


Рис. 7. Основные составляющие биологического круговорота с участием лесных экосистем

По свидетельству экологов, земледовцев (Ю. Одум, Н.Ф. Реймерс, Р. Риклефс, Н.И. Базилевич, Л.Р. Родин, В.А. Ковда и др.) в ежегодной продукции органики на планете $6,1 \dots 9,5 \cdot 10^{17}$ г на леса приходится $4,1 \dots 6,4 \cdot 10^{17}$ г (410...640 млрд.т.). В ежегодно продуцируемой лесами фитомассе сосредоточено около $2,05 \dots 3,20^{18}$ ккал солнечной энергии, преобразованной в энергию химических связей. Процессы синтеза органического вещества в лесах и депонирования энергии сопровождаются гигантскими явлениями ежегодного поглощения CO_2 (750...1170 млрд.т.), фотохимического разложения воды (850...970 млрд.т.) с выделением кислорода (540...845 млрд.т.).

Место леса в биосфере

Деятельность человека большей частью связана с довольно узкой частью Биосферы – с **витасферой**. Под этим понятием сегодня мыслится биогеоценотический покров или реально окружающая нас живая природа (сфера современной жизни), во всем ее разнообразии. Здесь сосредоточена основная масса ныне существующих живых организмов. В этом слое протекают наиболее интенсивные процессы биосинтеза (Тюрюканов, 1990). В состав витасферы входят нижние слои тропосферы (несколько десятков метров), а также почва с подпочвой. Витасфера, структурно входящая в биосферу, существенно отличается от основной ее массы, по сложению со-

ставу, мощности «витаслоя». Существенные различия прослеживаются в интенсивности энергетики и в энергетическом потенциале. Здесь вершится основная биогеохимическая работа ныне живущих организмов. Отсюда стартуют современные длительные во времени и в пространстве биогеохимические продукционные циклы миграции и круговоротов вещества

Представляется важным рассмотреть на современном уровне знаний место и роль лесов на планете. Безусловно, в масштабных биосферных процессах лесная растительность занимает ведущее место. Однако пространства лесной растительности на планете постоянно сокращаются. И все же, после разного рода космических и геологических катаклизмов, всемирных катастроф, после бурной деятельности в историческое время «царя природы», на лесной покров приходится 28 % суши и более 8 % поверхности планеты. Доля лесов в продуцировании органики, в аккумуляции биохимической энергии оказывается ведущей.

Лесной покров является активным участником биосферных процессов, регистрируемых на разных уровнях организации экосистем. Лес, как и другие подобные ему биологические системы – это мощные «машины, закручивающие колесо жизни» на Земле, преобразующие в глобальных масштабах космическую энергию, продуцирующие живую материю и накапливающие энергию в биохимических связях органического вещества. Лес характеризуется довольно сложной, но экологически пластичной природой. Для экосистем этого типа характерны обширная внутренняя поверхность, большое разнообразие биологических видов, проявление основных функций в нескольких сферах. Это обеспечивает хорошую «вписываемость» лесных БГЦ в ландшафт, высокую его роль в функционировании природно-территориальных комплексов самого разного масштаба.

В тропиках на 1 га леса сосредоточено до 650 и более тонн фитомассы. Запасы органики на коралловых рифах в океане на порядок ниже. В лесах бореальной зоны усредненные запасы древостоев колеблются в пределах $100-250 \text{ м}^3/\text{га}$, а интервал абсолютной изменчивости фитомассы измеряется амплитудой $30(70) \dots 350(450) \text{ т/га}$. По продуцированию живого вещества, по масштабам вовлечения вещества и энергии во всемирный круговорот с лесом не только тропическим, но также бореальным, таежным, на зональном уровне не может сравниться ни одна из других экосистем.

Суммарная масса вещества, вовлекаемого в глобальные круговороты в т.ч. масса продуктов прижизненного обмена организмов (метаболизм), в несколько раз превышает массу наличествующего живого вещества.

Биота леса, непрерывно, пожизненно и посмертно обмениваясь со своим окружением, принимает, перерабатывает и отдает широкий спектр минеральных органических соединений в виде твердой субстанции, в виде растворов и в виде газов.

С экосферной точки зрения леса, являясь важной составляющей природы, формируют основные параметры экологической среды на огромных пространствах суши. Лесные насаждения обладают сложной внутренней структурой, высоким разнообразием продуцируемой материи и исключительно большим разнообразием растительных видов. Лесные биогеоценозы представляют благоприятную среду обитания для множества видов животных: млекопитающих, птиц, насекомых, простейших. Лесные экосистемы, обладая огромнейшей площадью ассимиляционного аппарата, наиболее продуктивно используют солнечную энергию по сравнению с биосистемами луга, поля, болота.

Необходимо учитывать, что лесные экосистемы характеризуются мощно развитыми корневыми системами, расположенными в несколько ярусов, и охватывающими более значительные объемы почво-грунта, чем ризосфера в луговых или полевых биогеоценозах. Лесные биогеоценозы благодаря ярусу, образованному древесными породами более прочно и емко связаны с остальными компонентами природной среды и сами оказывают активное воздействие не только на свое местообитание, но также на окружающие пространства. Древесный ярус, выступая в роли эдификатора, позволяет лесному сообществу по сравнению с экосистемами других типов, оставаться более устойчивым, более физиономичным в пространстве и быть более долговечным во времени.

Как бы не развивалось лесное сообщество, проявляя активность через многочисленные биогенные свои компоненты, в какой бы мере оно не оказывало воздействие на среду обитания, жизнедеятельность его и средообразующие функции «... проявляются в пределах тех условий, которые созданы изначально конкретными климатом и комплексом орографических и геолого-почвенных факторов». Подчеркивая этот постулат, считающийся непреложным с времен В.Н Солнцева, со середины XX столетия, все же не хотелось бы соглашаться с его излишней категоричностью. Известно, что консерватизм свойств фундаментальных составляющих лесных экосистем, все же остается относительным, а в масштабах многовекового существования лесных насаждений - вообще достаточно сомнительным.

Биосферные функции леса

Экологи различают несколько функций зеленого растения в Биосфере. Вслед за В.И. Вернадским эти функции в популярной форме представил общественности А.В. Лаппо (1987). Сущность изложенной ученым-популяризатором интересной информации об исключительной значимости зеленого растения в биосфере с учетом представленных выше достаточно убедительных материалов вполне может быть перенесена на леса планеты. Более того, с учетом известной специфики структурной организации и энергетики лесных экосистем представляется возможным на примере леса более рельефно показать биосферные функции растительности.

Первостепенное значение имеет **энергетическая функция** лесов. Роль эта заключается в использовании энергии Солнца на задействие механизма фотосинтеза в гигантских масштабах охарактеризованной выше представленности лесов и с самой высокой удельной энергетической интенсивностью, по сравнению с экосистемами других типов. Известно (Крамер, Козловский, 1963; Одум, 1975; Риклефс, 1979 и др.), что на синтез 1 г органического вещества требуется в среднем 5 ккал солнечной радиации. При среднем приросте фитомассы в обозначенных насаждениях средней подзоны тайги в 5,0 т/а.с.в. на гектаре расходы на синтез органической массы составят $2,5 \cdot 10^7$ ккал или $10,4 \cdot 10^7$ кДж/га. Не трудно убедиться, что различия леса с другими типами растительности довольно существенны.

Накапливаемая в синтезированном веществе в виде биохимических связей энергия, далее передается по пищевым цепям, проходит сложную череду превращений, давая жизнь многим биологическим видам. Происходит накапливание лесными экосистемами «консервированной» энергии в виде древесной массы и другой органики. Эта энергия представляет собой исключаемую из круговорота массу углерода.

На собственные нужды автотрофные организмы в биогеоценозах леса тратят всего 10–12 % ассимилированной энергии. Остальное перераспределяется в структуре элементов лесных сообществ и постоянно видоизменяется. В конечном счете часть энергии консервируется в древесной массе, в гумусе и лесной подстилке. Основная же ее доля уходит в виде теплового излучения (инфракрасное излучение) в космос. И все же эффективность лесных экосистем в использовании солнечной энергии остается одной из самых высоких среди множества типов экосистем.

Заметим, имеющимися в недрах земной коры огромными запасами углеводородов (нефти, газа, угля, сланцев, торфа) человечество обязано активности биосфер далекого прошлого, в частности биосферы мелового и каменноугольного периодов. Эти периоды, как свидетельствуют геологи, отличались очень благоприятными условиями для произрастания лесов (весьма продуктивных папоротниковых). Через оценку энергетической функции растительности лесов легко можно выйти на очевидную **продукционную функцию**.

Деструктивная роль растительности в глобальном масштабе заключается в двух типах масштабных биохимических процессов, непрерывно протекающих в экосистемах. Прежде всего, в функционирующих лесных биогеоценозах идет бурный процесс минерализации депонированных ранее и постоянно пополняемых запасов мертвой органики. На переработке мертвой органики трудятся мириады микробов, десятки видов простейших, клещей, проволочников, прямокрылых, членистоногих, червей, мелких грызунов и других представителей животного и микробного населения леса. Переработка весьма сложных органических материалов опада, среди которого разнообразные белки, жиры, липиды, клетчатка, лигнин весьма непростая задача.

Наибольшую сложность представляют трупы животных, хитиновый покров насекомых, кости, рога и копыта млекопитающих. Важную роль в деле утилизации сложной органики мортмассы играют грибы, прежде всего аскомицеты, плесневые и др. Грибы выполняют одну их наиболее сложных функций - подготавливают неудобоваримую органику в доступную для простейших, насекомых, червей и др. Ежегодно в лесных насаждениях бореальной зоны утилизируется 1,5–5,0 т., а в тропическом поясе – 7–12 т. на гектаре. По этим удельным значениям легко оценить глобальные масштабы явления. Можно также с достаточной ясностью сопоставить деструктивный потенциал экосистем конкретных регионов дифференцированно по лесорастительным условиям.

Не менее важным в экосферном отношении является участие лесной растительности в биохимическом выветривании горных почвообразующих (подстилающих) пород. Благодаря живому веществу и выделяемых им в ризосферу активных биохимических веществ последовательно углубляется мощность рыхляка и мелкозема, создаются условия для углубления корнеобитаемого слоя. Под влиянием корневых выделений, проникающих глубоко в породу по каналам от отмерших корней, слой грунта, испытывающего влияние жизни углубляется. По каналам, образующихся при система-

тическом отмирании корней, в глубокие слои рыхляка гонной породы поступает кислород, углекислота и метаболиты представителей животного мира, активизируются почвообразовательные процессы, идет разрушение вторичных минералов, формируется специфическая биохимическая среда.

Своеобразным следствием происходящей под влиянием лесной растительности деструкции вещества горных пород и минералов является вынос и избирательная аккумуляция ряда химических элементов, порой редких микроэлементов. А.В. Лаппо в цитируемой выше работе представляет поразительные результаты специальных экспериментов по использованию отдельных видов лишайников и водорослей (типичных представителей флоры лесных БП), для извлечения из скрыто-кристаллической, исключительно прочной породы – базальта некоторых химических элементов.

Способность организмов концентрировать элементы, извлекая их из весьма разбавленных растворов – характерное свойство живого вещества. Это специфическое свойство растительности предложено оценивать как еще одну весьма сложную функцию биосферного свойства – **концентрационную функцию**. По подсчетам А.В. Лаппо простой плесневый грибок за неделю способен высвобождать из горной породы 3 % содержащегося в нем кремния, 11 % – алюминия, 59 % магния, 64 % – железа. Пионеры жизни на скалах – бактерии, грибы и лишайники – оказывают на горные породы воздействие посредством выделения комплекса слабых кислот – угольной, азотной, серной и некоторыми органическими кислотами. Продуктами деятельности микроорганизмов, простейших и растительности, оказываются многие важные элементы-биофилы: кальций, калий, натрий, фосфор и др. По подсчетам специалистов масса зольных элементов, ежегодно дополнительно вовлекаемых в биологический круговорот простейшими и микробами на планете, составляет около 8 млрд.т.

Продуцируя живое вещество, растения леса демонстрируют удивительное свойство не просто концентрировать, но избирательно собирать, дифференцированно сорбировать вещество. В сущности синтезируемое растениями вещество – это концентрат, получаемый посредством извлечения тех или других элементов из достаточно жидких растворов. Осуществлять эту титаническую работу способно только живое вещество. Наибольшей активностью при этом отличаются микроорганизмы лесных подстилок. Как не странно, в целом древесные растения не отличаются высокой концентрационной способностью по отношению к химическим элементам. Однако в силу подключения в дело огромных масс древесины, масштабы концентрации вещества в лесах получаются весьма внушительными.

Средообразующая и средостабилизирующая функция Лесные биогеоценозы оказывают существенное влияние на условия местообитания, на внешнюю среду. Под влиянием устанавливающихся взаимосвязей растительности леса с элементами ОС происходит трансформация свойств последней. Изменяются физико-химические параметры элементы всех сред (атмосферы, литосферы и гидросферы). И через «работу» БГЦ окружающая насаждения среда становится совместным результатом всех выше охарактеризованных функций зеленого растения. Лесные экосистемы оказывают существенное влияние на климатические условия, причем на разных уровнях. Лесные экосистемы, благодаря включению в глобальный и местный круговорот воды – самые эффективные системы по поддержанию оптимального водного баланса территорий. Исключительной эффективностью отличаются санитарно-гигиенические, а также детоксикационные функции лесных экосистем. Вопрос воздействия леса на среду окружения настолько важен, что требует отдельного самостоятельного рассмотрения.

Транспортная функция леса в биосфере реализуется через исключительную способность древесной растительности перемещать вещество против градиента тяжести, а также в горизонтальном направлении. В ходе метаболических процессов поднимается на десятки метров сотни тон вещества. Только в процессе транспирации каждый гектар леса за год поднимает и испаряет тысячи тон воды. Под влиянием жизнедеятельности корневых систем лесных БГЦ проходят мощные миграционные потоки вещества.

«...Будущее биосферы, будущее человечества во многом зависит от сохранения на планете лесов...». Так сформулирована одна из Резолюций Генеральной Ассамблеи ООН по охране окружающей среды (Рио-де-Жанейро, 1992 г). Известно, что вся история развития человечества – это непрерывное наступление на леса, энергичное и чаще, хищническое их истребление. Темпы сведения лесов на планете (10...13 млн. га ежегодно) не снижаются и сегодня. Нарушенный вследствие непрекращающегося обезлесивания баланс углекислотно-кислородного круговорота в биосфере влечет за собой неблагоприятные изменения климата, как в масштабах планеты, так и локально.

Лесоводы способны внести свой вклад не только в снижение темпов обезлесивания планеты, но и в увеличении их присутствия, в последовательном воссоздании уничтоженных и погибших лесов, в повышении их облагораживающего и оздоравливающего влияния на окружающую среду. В их возможностях оптимизировать структуру лесных земель и насаждений,

обеспечить перестройку структуры лесного покрова, соразмерно с представлениями об экологической многофункциональности насаждений, с разнообразием их роли в ландшафте. К сожалению, эти способности лесовода сегодня остаются невостребованными человечеством, несмотря на то, что необходимость кардинального изменения отношения к лесам осознана большинством населения мира.

Иерархия организации биосферы

Биосфера, как все биологические системы организована по четко иерархическому принципу. По современным представлениям первичной ячейкой биосферы на лесных землях является лесной биогеоценоз (БГЦ). Экологические системы ранга биогеоценоза имеют достаточно обозначенные растительностью границы, что облегчает их восприятие как единиц территориальной, биофизической и хозяйственной организации биосферы одновременно. Представляя экосистему, БГЦ структурно и функционально являет собой и подобие биосферы вместе с идущими в них процессами. И совершенно не случайно, БГЦ познавательскими целями нередко используется как своеобразная упрощенная модель биосферы. Действительно, экосферную биогеоценотическую сущность процессов, идущих в биосфере, лучшим образом отражает сформулированная В.Н. Сукачевым сущность биогеоценоза.

Логическую схему иерархической структуры фитоценологических единиц территории суши ученых – энциклопедист предложил в 1945 (1947) году, выстроив классификацию ассоциаций по эколого-фитоценотическим рядам. Формулировку понятия «Биогеоценоз» была приведена ученым в 5 томе 2 го издания БСЭ (1950): «...биогеоценоз – это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействий этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществ и энергией: между собой и с другими явлениями природы и представляющая собой внутреннее противоречивое единство, находящееся в постоянном движении и развитии».

Долгое время иерархичность биосферы, декларируемая учеными и рассматриваемая как важнейшее ее свойство, только предполагалась или

рассматривалась теоретически. Существовал разрыв в иерархическом ряду между понятиями «биосфера» и «биогеоценоз». Этот разрыв в условном ряду представляли абстрактно представляемые, виртуально очерченные эфемерные в своих очертаниях экосистемы разных уровней. В последнее время предприняты меры по «заполнения разрыва».

Среди подходов к разработке моделей пространственной дифференциации среды обитания живых организмов получила распространение *концепция биорегионов* (Olson et al., 2001). Эта концепция была использована для разработки карты «Наземные экосистемы мира». По мнению Н.Г. Кадетова (2008) концепция биорегионов хорошо согласуется с концепцией биомного разнообразия, положенной в основу разработанной учеными Московского государственного университета им. Ломоносова карты «Биомов России». В структуре биогеографических подразделений различаются: *зонобиомы* и *оробиомы*; *субзонобиомы* и *оробиомы*; *экорегiónы (равнинные и горные)* – *биорегионы* (Огуреева и др., 2004). При выделении границ биорегионов использованы уровни биотического (флористического и фаунистического) и биогеоценологического разнообразия, а также биоклиматические характеристики.

Интересный подход к иерархической дифференциации пространств биосферы предложил Г.А. Богдановский (1994), автор книги «Химическая экология». Идеей послужило общепринятое положение о биосфере, как о сфере, частично охватывающей одновременно атмосферу, гидросферу и литосферу. Предложено первым уровнем дифференциации считать разделение биосферы на *азробиосферу*, *гидробиосферу* и *геобиосферу*. Заметим, что пока обе концепции ждут своего наполнения фактическими материалами, изучения биогеоценологических связей между организационными структурами как в иерархическом, так хронологическом рядах.

Совокупность находящихся во взаимосвязях и взаимозависимостях биомов разных уровней и биорегионов, комплексов биогеоценозов, слагающие биосферу, образуют довольно сложный биологический спектр ступенчатого вида. Г.А. Богдановский (1994) отмечает, что в таком спектре не найти резких границ или разрывов (функциональном смысле), поскольку каждый уровень оказывается связанным несколькими потоками вещества и энергии с другими смежными уровнями. Важным элементом иерархической организации экосистем является принцип эмергентности.

По мере объединения компонентов в более крупные функциональные единицы-системы у этих новых единиц возникают дополнительные новые

свойства, отсутствующие на предыдущем уровне. Эмергентные свойства биогеоценозов существенно расширяют энергетический, продукционный потенциал и повышают эффективность их адаптационных функций.

Экосистема - биогеоценоз

Любая совокупность живого вещества, включающая все совместно функционирующие организмы вместе с взаимодействующей с ними физической средой окружения создает определенные биокосные структуры, главной сущностью которых является постоянно расширяющегося вовлечение в биологический круговорот вещества и энергии. Такие структуры представляют собой экологические системы.

Принципиальная схема функционирования экосистем приведена на рис. 8. Экосистема показана состоящей из двух блоков: биологической сферы, объединяющей богатые энергией сложных органических соединения и физической среды – совокупности бедной энергией минеральной материи. Эти блоки связаны обменом вещества – биологическим круговоротом движителем которого выступает поступающая в систему энергия, закручивающая процессы фотосинтеза и накопление энергии. На входе в экосистему солнечная энергия, потребляемая в процессе фотосинтеза, на выходе – тепло, движение, работа. По такой схеме в принципе работают экосистемы всех иерархических уровней организации биосферы, в т.ч. биогеоценозы.

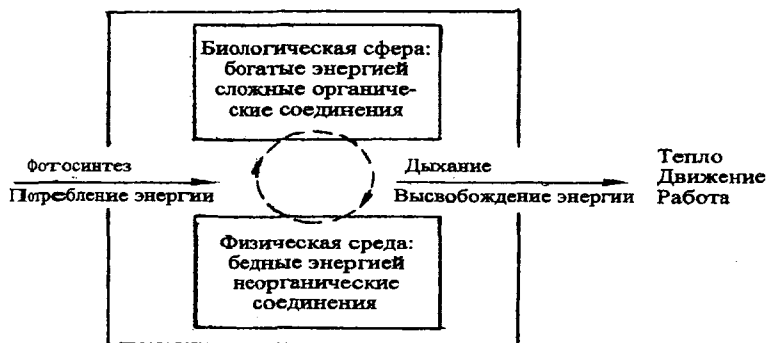
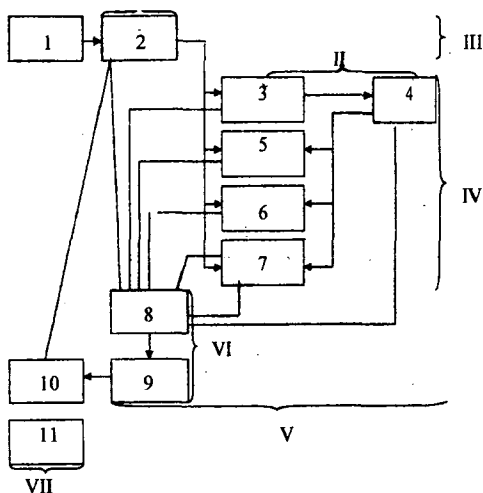


Рис. 8. Принципиальная схема функционирования экосистемы
(по Р.Риклефсу, 1979)

Системный характер организации экосистемы на примере лесного насаждения представляет рис. 9. Объединенная экосистемой совокупность живых организмов вместе с разными факторами окружающей среды образуют несколько подсистем, которые требуют рассмотрения под разными углами.



СИСТЕМЫ

V – Организмы; I – Существенные; II – Несущественные;
III – Продуценты; IV – Консументы; VI – Редуценты;
VII – Экоотоп.

КОМПОНЕНТЫ

1 – Свет; 2 – Зеленые растения; 3 – Растениеядные;
4 – Хищники; 5 – Паразиты; 6 – Падальщики; 7 – Сапрофиты;
8 – Разлагающие; 9 – Трансформирующие; 10 – Минеральные вещества; 11 – Влага.

Рис. 9. Состав компонентов лесного БГЦ как биологической системы разных уровней, включающей семь подсистем (по Кларку, 1975)

Согласно схеме, компоненты относительно несложного биогеоценоза образуют минимум семь подсистем разной структуры и функционального содержания. Приведенный перечень подсистем даже может быть умножен. В рамках выделенных подсистем возможно выделение подсистем второго и третьего порядков. Сложность системной организационной лесных ПТК показывает разнообразие входящих в них обязательных компонентов. Состав БГЦ, как любой экосистемы обязательно входят следующие элементы:

– *простейшие неорганические вещества* (C , CO , CO_2 , H_2O , O_2 , H , N и др.), входящие в состав почвенных растворов и атмосферу леса;

– *сложные минеральные вещества* – минералы и горные породы, слагаемые почвообразующей геологической основы и части почвы;

– *сложные органические соединения* (белки, липиды, углеводы, гуминовые вещества и др.), входящие в состав живой и отчасти мертвой составляющей органического вещества;

– *абиотические климатические (периодические) факторы* атмосферы, и почво-грунта (температурный, влажностный режим, радиация, освещенность, соленость и т.п.);

– *продуценты (автотрофы)* совокупность зеленых растений, способных, получая энергию солнца, посредством фотосинтеза продуцировать из простых веществ сложное живое (органическое) вещество, богатое энергией;

– *консументы (фаготрофы)* – гетеротрофные организмы (т.е. питающиеся готовым живым органическим веществом), главным образом животные. Консументы неоднородны. Одни растениеядные, другие – питаются живой плотью растениеядных (хищники первого порядка), третьи – плотью хищников (хищники второго порядка и т.д.);

– *редуценты (сапротрофы)* – гетерогенные организмы, питающиеся мертвой органикой, поглощающие мертвую протоплазму. Это, главным образом, микроорганизмы, многочисленные виды грибов, а также простейшие, насекомые, членистоногие, паукообразные и черви. Организмы этой функциональной совокупности перерабатывают мертвое органическое вещество, а также неперевариваемые останки животных (трупы, хитин, кости, шерсть и т.п.);

Простые минеральные вещества, появляющиеся после разложения сложной органики, а также после расщепления первичных и вторичных минералов, поступая в почвенные растворы, поглощаются автотрофами и, таким образом, круговорот вещества замыкается. Функциональную организацию элементарно простого лесного БГЦ и круговорот вещества в нем характеризует рис. 10).

Мертвое органическое вещество, образующееся в конечных звеньях биологического круговорота, долгое время сохраняет сложную структурную организацию, весьма трудно разлагается на составляющие. Эта пища далеко не всем редуцентам «по зубам». В большой совокупности редуцентов складываются свои специфические цепи питания. Грубую переработку («первичную разделку отходов») берут на себя целлюлозо-разрушающие грибы, некоторые простейшие, насекомые, членистоногие. Это организмы сапротитного типа питания. Здесь также выстраиваются довольно сложные цепочки. Далее к процессу утилизации присоединяются бактерии, про-

стейшие, черви. Завершают дело микроорганизмы, специализирующиеся на переработке элементарных сложных все еще органических веществ в минеральные элементы и простейшие вещества.

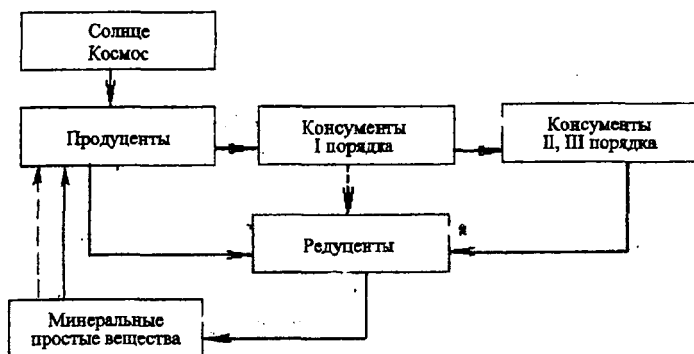


Рис. 10. Функциональная структура лесного биогеоценоза: потоки вещества и энергии в системе компонентов

Движущей силой круговорота вещества и в сфере редуцентной выступает опять же энергия солнца. Именно она начинает «прокручивать» колесо жизни. Автотрофы используя эту энергию, накапливают энергию биохимических связей синтезированного живого вещества. Далее она по цепям питания передается в конец цепи и поступает к редуцентам, а от редуцентов – уходит в космос в виде энергии излучения. Поток энергии в БГЦ образно по П.П. Второву и Н.Н. Дроздову (1982) можно уподобить воде реки, вращающей мельничное колесо и продолжающей течь дальше.

Системный взгляд на лес неизбежно выводит ученых на биогеоценоотические представления о сущности лесного насаждения. Элементарный лесной участок в этом свете рассматривается лесоведами как лесной биогеоценоз. Полное определение этого понятия впервые приведено в классическом труде «Основы лесной биогеоценологии», подготовленной под руководством В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса (1964). БГЦ рассматривается как *единство совокупностей растительности, животного мира и микроорганизмов на каком-то конкретном участке с характерными условиями природной среды (микроклимата, почвы, рельефа), с характерными взаимоотношениями, как между разными компонентами биоты, так и между живыми организмами и экологическими факторами внешней среды.*

С позиций синэкологии БГЦ – система, в основе функционирования которой не предначертанная Природой (высшим разумом) «координация стратегий видов», а всеобъемлющий антагонизм, обеспечивающий «взаимную компенсацию сил». Теоретиками фитоценологами биогеоценоз рассматривается как противоречивое единство «войны всех против всех». Этим своеобразным каламбуром подчеркивается абсолютный характер борьбы за существование в сообществах живых организмов. По современным представлениям в совокупности биологических видов, в ценозах существуют *отношения соревновательной взаимозависимости, т.е. противоречивое единство борьбы за существование и косвенной взаимопомощи*. Суть этого сводится к известному тезису: «Не будь в сообществе одного вида, не было бы другого».

Формально, с позиционной организационной структуры в составе БГЦ следует различать два блока: *экотоп* и *биоценоз*. Экотоп – это совокупность условий внешней среды (газовая среда атмосферы, влага атмосферы и во всех ее фазовых состояниях, минеральные вещества литосферы соответствующие климатические факторы, определяемые приходом энергии Солнца). Важным фактором экотопа является почва – специфическая субстанция биокосной природы (включает минеральную и органическую части).

Обязательной составляющей почвы является живое вещество – совокупность множества видов простейших насекомых, червей, грибов микроорганизмов. Биоценоз включает в себя сообщества живых организмов: *фитоценоза* (совокупности растительности); *зооценоза* (комплекса животного населения); *микробоценоза* (всего разнообразия микроорганизмов, населяющего все «этажи» растительного сообщества). Все компоненты БГЦ связаны между собой и каждый в отдельности, как и БГЦ в целом – с окружающей средой потоками вещества, энергии и информации.

В лесоводственной практике **лесной БГЦ** можно представить как **своеобразную форму совместного обитания многих биологических форм и жизненных стратегий на некотором участке лесных земель**. Совместность обитания многих разных организмов в сообществе продиктована «соображениями» более экономного (более рационального) использования ресурсов внешней среды и взаимовыгодного противостояния неблагоприятным факторам среды (Цветков, 2004).

Организмы разных биологических форм, отличающихся жизненными стратегиями, подбираются в одном сообществе таким образом, чтобы сложились эффективные трофические цепочки потоков вещества и энер-

гии. Вследствие этого потоки вещества в природе замыкаются и не образуются «отходов». Получается, биосфера в целом оказывается охваченной многообразными потоками материи разного рода процессами обмена и круговорота, в силу этого здесь находят подходящие условия обитания множество биологических видов.

Обзор литературы по лесной биогеоценологии позволяет представить следующий список важных особенностей лесных насаждений (лесных БГЦ):

- большие массы органического вещества с преобладанием в биомассе древесины, а также необычайно высокие значения прироста фитомассы;

- многообразие элементарных единиц вертикального и горизонтального строения разной биологической значимости;

- в основе дифференциации слагающих БГЦ элементов неоднородность строения автотрофной части системы (организмов, питающихся автономно, за счет энергии солнца);

- глубокая структурированность каждого из блоков экосистемы, наличие иерархических цепочек их организации: каждый элемент системы состоит из элементов более низкого ранга;

- интенсивный объем кислородно-углекислотного круговорота и стало быть повышенная поглощаемость CO_2 и выделение O_2 . Лесные экосистемы очень интенсивно транспирируют влагу. Устьичное испарение на лесном участке в таежных условиях может достигать за вегетацию 3–4 тысяч тонн с гектара и более;

- многомерность структуры. У биогеоценозов можно рассматривать структуру фитоценоотическую, флористическую, функциональную, морфологическую (морфометрическую), компонентную, лесоводственную и др. С учетом исключительно важного жизненного потенциала биоты лесов поддерживается необычайной ее активностью и высокой адаптационной пластичностью образуемых ею биологических систем., А.А. Яценко-Хмелевский (1966) и вслед за ним И.С. Мелехов (1980) приводят следующий перечень экосферных свойств и признаков лесных экосистем:

- сложная комплексная организация, взаимосвязанность организмов и ценозов единством организмов и среды в этом комплексе;

- динамическое равновесие, устойчивость, авторегуляция, выработанные в процессе длительной эволюции и естественного отбора всех элементов лесного сообщества;

- высокая способность и нацеленность на восстановление и обновление структур посредством регулярной смены поколений;
- динамичность процессов, находящихся в сложных диалектических противоречиях с явлениями устойчивости и стабильности;
- географическая обусловленность распространения и свойств.

Лесные БГЦ – многоуровневые образования. В связи с разнообразием условий произрастания они характеризуются большой изменчивостью объемов вовлеченных в круговороты вещества и энергии, теснотой и энергичностью связей. Глубокую сложность природы лесного БГЦ убедительно раскрывается рассмотрением ее в свете философской атрибутики. А.А. Крауклис (1979) показывает сущность лесных БГЦ через взаимоотношения трех его «главных начал»: *инертного, мобильного и биогенного*.

Инертность лесного биогеоценоза характеризует перечень параметров экотопа, прежде всего свойства минерального состава почво-грунта, свойства рельефа, комплекс показателей климатических признаков, прежде всего тепло- и влагообеспеченности. Экотоп играет роль своеобразных «рамочек» или комплекса параметров местообитания (географо-топологических, эдафических климатических). Комплекс инертного придает участку насаждения некую, свойственную любому природному образованию фиксированность положения. Через условия местообитания БГЦ получает своеобразную достаточно информативную географическую «прописку».

Мобильность – коренное свойство любого биологического объекта. Это свойство привносится в БГЦ энергией солнца, а также процессами, возбуждаемыми силовыми полями Планеты, приливно-отливными явлениями и внутриземными геологическими процессами. Свойство мобильности лесных сообществ проявляется в нескольких формах. С одной стороны, это потоки вещества и энергии в форме метаболических процессов, связывают всю совокупность компонентов системы, все цепи питания, все звенья биологического круговорота. Другую сторону составляют явления роста и развития всех биологических объектов лесного сообщества, выливающиеся в перемещение материи при проявлении фототропизма, геотропизма, в т.ч. против градиента земного тяготения. Мощный поток вещества (2-4 тысячи тонн с гектара в год) представляет в лесу устьичного испарение воды – транспирация.

Важным свойством мобильности в экосистемах является ритмичность процессов, прерывистость и цикличность. Выработанная в процессе эволюции ритмика функционирования БГЦ может быть многолетней, годичной, сезонной и суточной. Специфическую сторону свойства мобиль-

ности БГЦ составляет эволюционно приобретенная «нацеленность» всего комплекса метаболических и биологических процессов на совершенствование экосистемы, на упорядоченность и усложнение организации, на авторегуляцию, которые подчинены общей динамике всей структуры БГЦ (Цветков, 2004).

Сочетание в лесном БГЦ свойств инертного и мобильного формирует в лесных экосистемах такие важные и характерные для всего материального мира свойства, как дискретность и континуальность. В сочетании этих важных диалектически противоположно направленных свойств проявляется системная природа лесного БГЦ. Вычленение из природного комплекса конкретного лесного насаждения возможно по конкретным физическим свойствам растительности, *по проявлению свойств дискретности*. Под дискретностью лесных БГЦ понимается прерывистость (этапность, стадийность) развития местного сообщества. С другой стороны, любое насаждение можно рассматривать как неотъемлемую часть единой и цельной, хотя и непрерывно изменяющейся в пространстве и времени природной системы. Это уже свойство *континуальности (непрерывности)*.

Биогенное начало в БГЦ – главный объект системы. По существу все свойства инертности и мобильности проявляются через биоту. Главная функция биоты в системе – «создавать неповторяемость» природным образованиям разными сочетаниями живого и условий окружающей среды, обеспечивать континуальность. Ведущее свойства биоты – ее жизненность, способность к синтезированию живого вещества и способность к воспроизведению живого. Через уникальные свойства биологических видов, участвующих в лесной экосистеме, эффективно реализуется потенциал местобитания, реализуются уникальные свойства наследственности, достижения эволюции, обретают реальное содержание специфические свойства живого – **многовидовая агрегированность в форме экосистем**.

Важным признаком БГЦ как системного явления является - **целостность**, которая реализуется через сукцессии – закономерные динамические ряды возникновения и развития БГЦ, сопровождающимися вещественно-энергетическими круговоротами вещества (В.Д. Александрова, А.П. Шенников, Н.В. Дылис, А.А. Ниценко, А.А. Бялович и др.). Своеобразным механизмом обеспечения целостности БГЦ выступает **замкнутость**, выражающаяся по мнению К.А. Куркина (1973) в избирательности поглощаемых и удерживаемых ими «элементов», а также в том, что эти элементы «замыкаются» в них посредством круговорота либо возобновления. Свойство замкнутости БГЦ предлагается рассматривать в двух аспектах: веще-

ственно-энергетическом и эколого-ценотическом. Сегодня очевидно умственно также говорить о третьем аспекте замкнутости - информационном, поскольку с потоками вещества и энергии в БГЦ замыкается и поток информации.

Вещественно-энергетическая замкнутость БГЦ сводится к круговороту и аккумуляции элементов питания (прежде всего связанного азота, а также к поглощению, связыванию и «консервированию» солнечной энергии. Можно добавить также: «к накоплению информации».

Эколого-ценотическая замкнутость БГЦ по Куркину проявляется в создании в рамках местообитания такого экологического режима, который допускает пребывание только определенного набора популяций. Очевидно также можно добавить: «...и даже определенной структуры последних». То есть можно предполагать, что эколого-ценотическая замкнутость будет ответственна за определенное «биологическое разнообразие» данного типа ценоза.

Если рассматривать «замкнутость БГЦ» по Куркину в приложении к явлению возникновения лесного сообщества, т.е. в генетико-динамическом аспекте, то это явление окажется связанным с признаками «полночленности сообществ» в понимании Л.Г. Раменского (1971). Первоначально эколого-ценотическое явление «полночленности - неполночленности» сообществ живых организмов относили только в адрес свойств биоты (структуры и состава биогенной составляющей сообществ). С времен Л.Г. Раменского к числу факторов управляющих целостностью и замкнутостью причисляют условия экотопа: климатические и почвенно-гидрологические факторы местообитания.

Известно, что во многих случаях структура и состав лесных БГЦ связаны с почвенным богатством и тепло- и влагообеспеченностью. Однако появляются свидетельства того, что роль последних проявляется опосредованно. Оказывается ценозы, их состав могут играть роль своеобразных усилителей воздействий на их состав флуктуаций экотопических факторов. И только в крайнем экологически критическом значении факторы местообитания (засуха и подтопление, температурные минимумы и максимумы) могут непосредственно прямо создавать элиминацию популяций и видов из состава ценозов. То есть факторы эколого-ценотического проявления замкнутости лесных сообществ обладают определенной избирательностью.

Функциональную сущность лесного БГЦ отражает рис. 11 .

Упрощенно представленный на схеме перенос вещества и энергии, на самом деле очень сложен. Биогеохимические превращения даже в простейших сообществах чрезвычайно разнообразны. В лесных биогеоценозах широко представлена так называемая «детритная петля» круговорота. По общей «полночленной» цепочке потока вещества, представленной на рис. 11 в лесу проходит не более 25 %. Остальное в лесу – мертвая (в силу естественных причин) органика сухостоя и бурелома. Она прямо, без переработки консументами или при очень малой переработке, поступает в блок редуцентов. Это обстоятельство представляет специфическую особенность лесного и подобных ему типов БГЦ.

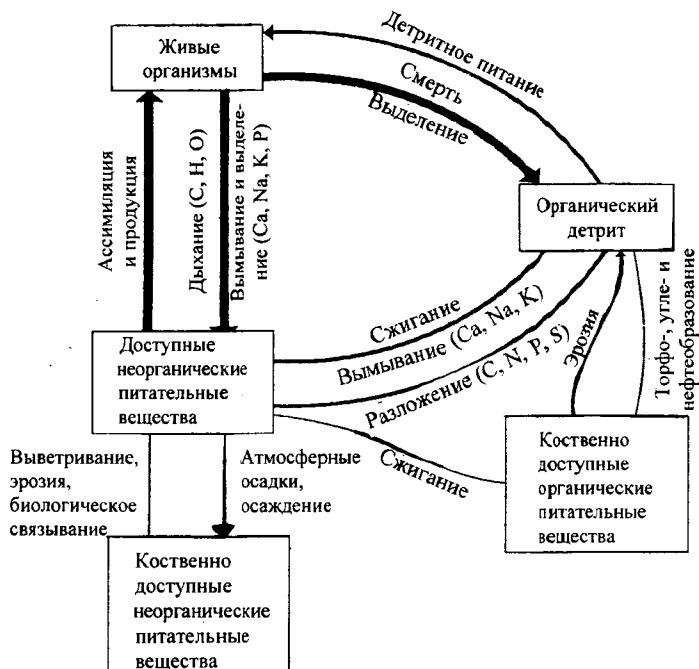


Рис.11. Развернутая схема функционирования лесного БГЦ
(по Р.Риклефсу, 1979)

Разнообразие лесных БГЦ

Лесные БГЦ оказываются очень разнообразными по организационной их структуре, прежде всего, различаясь структурной организацией растительности. При этом на первое место выходит неоднородность и большое

разнообразие состава и структуры эдификаторного яруса древесных пород. Неодинаковая функциональная выраженность эдификаторной составляющей обуславливает различия в определяющих их ведущих лесобиологических и лесохозяйственных свойствах. Лесные БГЦ существенно различаются продукционным потенциалом, средообразующими функциями, устойчивостью к воздействию извне, воспроизводимостью. И самое существенное - они чрезвычайно разнообразны по биогеоценотическому содержанию, по интенсивности потоков вещества и энергии как между компонентами сообществ, так и между сообществом и окружающей средой.

Хотя лесной БГЦ образован многими компонентами, каждый из которых выполняет свою роль, нельзя признать все компоненты равнозначными. Определяющую роль в большинстве случаев выполняет древесная растительность, доминирующая в лесном сообществе. Состав древостоя, его свойства и структура являются функцией от лесорастительных условий и стало быть обусловлены географической средой.

В южноамериканских тропических лесах биогеоценозы образованы большим множеством аукариевых (вечнозеленых) пород. В лесах Центральной Азии распространены БГЦ из пород, умеренно требовательных к влаге и мало требовательных к богатству почвы. На атлантическом побережье США распространены сообщества средне влаголюбивых, но требовательных к теплу пород: секвойи гигантской, мамонтова дерева, сосны лучистой, сосны сахарной. Таежные леса Сибири образованы многими видами не требовательных к теплу хвойных пород: лиственницами, кедровым стлаником, сосной обыкновенной елью сибирской, кедром, пихтой. Древостои в таких биогеоценозах просты по строению, на большей части территории сравнительно мало продуктивны. Очевидно, что классификация такого многообразия лесных насаждений в едином ключе возможна лишь в самых общих чертах на уровне географических формаций в рамках типов растительности.

Существует множество подходов к классификации лесных биогеоценозов. Оказалось, что это мероприятие далеко не простое. По-видимому наиболее удачными будут классификации, дифференцирующие лесные насаждения по нескольким их ведущим параметрам, одновременно. Но подобного типа классификации отличаются сложностью. А всякое повышение сложности влечет за собой снижение разрешающей способности. Самым эффективным решением следует признать необходимость существования нескольких типов классификаций, сообразно конкретным целям, уровням и глубине оценки.

С позиций лесоведения наибольшую значимость приобретает классификация лесных БГЦ, прежде всего, как лесных сообществ – биохозяйственных систем. С одной стороны, здесь востребованы классификации насаждений в свете их взаимоотношений с экологическими факторами, с другой – лесоводственные классификации в разрезе хозяйственной номенклатуры лесных участков. Нужна ординация лесных насаждений по формациям состава и преобладающих лесообразующих пород, по группам возрастов и типам возрастной структуры, по другим лесоводственным свойствам. В числе самых востребованных – классификация насаждений по лесорастительным условиям (типологические классификации).

В зависимости от породного состава эдификаторного древесного яруса, лесные биогеоценозы в таежных условиях могут быть сосновыми, еловыми, лиственничными, могут быть березово-сосновыми, елово-березово-сосновыми и т.д. Эдификаторную роль в таких биогеоценозах выполняют, соответственно, сосна, ель, лиственница, сосна вместе с березой, сосной с участием березы и ели.

Лесные БГЦ, как все природные открытые биологические системы, не остаются неизменными во времени. Они постоянно развиваются, изменяя свой облик, свойства и функции. Применительно к лесоводству биогеоценозы могут быть молодыми, средневозрастными, спелыми и перестойными («старовозрастными»). Эдификаторный ярус в лесном БГЦ может быть простым и сложным, одновозрастным и разновозрастным.

Для придания классификационным единицам насаждений содержания лесорастительных условий названия по доминирующей породе и возрастной группе должны дополняться названиями индикаторных растений (по Сукачеву).

В итоге в качестве примеров названий лесных БГЦ могут служить следующие: *средневозрастный сосновый с елью и единичной березой зеленомошно-черничный среднесомкнутый среднетаежного типа*; *елово-березовый с сосной перестойный долгомошно-багульниковый низкосомкнутый северотаежного типа*; *осиновый с березой и редкой елью (во втором ярусе) молодняк разнотравный высокосомкнутый южнотаежного типа*.

Познание закономерностей функционирования лесных биогеоценозов и их лесохозяйственного значения, изучение возможностей управлять развитием, повышением их производительности, требует обстоятельного познания природы насаждений, их сложной биогеоценотической сущности, их роли в биосферных процессах.

Лес, как биологическая система, предоставленный сам себе, может существовать неопределенно долго. При этом в совокупности компонентов наблюдается состояние динамической неустойчивости и постоянная устремленность к стабильности функционирования, к снижению энтропии. Динамизм лесных экосистем поддерживается механизмами приспособительных реакций популяций организмов к непрерывно меняющемуся окружению.

На примере леса особенно четко проявляются свойство биологических систем постоянно стремиться к совершенствованию, к большей самоорганизованности, к усложнению свойств и увеличению биологического разнообразия. Причинами постоянного динамизма лесных сообществ считают:

1 – изменение внешних условий (климатические условия, влияние человека и т.п.);

2 – изменения внутренней среды сообществ (внутренних экологических факторов) под влиянием самих же организмов.

Приспособление лесных сообществ и отдельных биологических видов к постоянно изменяющемуся окружению и к внутренним изменениям может достигаться разными путями. В одном случае это изменение поведения групп растений – эдификаторов. Под влиянием изменений состава сообществ и внешних факторов изменяется реактивность растительности, т.е. скорость и сила ее откликов на внешние воздействия. Другой путь – перестройка в группах ведущих видов растений с изменением возрастных спектров популяций, характера распределения групп организмов по категориям состояния, сексуальности, функционирования и т.п.

Лесоводу чаще приходится иметь дело с приспособительными процессами, которые сводятся к изменениям межвидовой структуры. Происходят смены видов в эдификаторных ярусах, изменяется соотношение между доминантами и субдоминантами, между различного рода биосоциальными или хозяйственно-функциональными категориями особей в сообществах.

Большое значение в лесоводстве имеет свойство лесных сообществ сохранять динамическую устойчивость за счет изменения жизненных стратегий видов-эдификаторов (лесообразующих пород). Эта система иерархично организована. Она подразделяется на биомы, на экосистемы разных масштабов, на биогеоценозы. Последние представляют первичные ячейки биосферы.

4. КЛИМАТ И ЛЕС

«... Мир - процесс, в котором все переходит в свою противоположность: теплое в холодное, холодное – в теплое, влажное и сухое становятся друг другом...».

Гераклит

Предварительные соображения

Основополагающим принципом современного естествознания является положение о первичности абиотической среды по отношению к живым организмам, сообществам организмов, к биосистемам. Лучшим подтверждением справедливости этого тезиса является тесная связь свойств и распространения лесов с климатом.

Под климатом в широком смысле понимается статистический режим атмосферных условий (условий погоды), характерных для данной территории в силу её географического положения. По-существу это режим колебаний погодных условий коротких (до года) отрезков времени, но за период наблюдения не менее многих десятилетий, столетий. То есть это характеристика достаточно устойчивых основных показателей закономерных изменения погодных условий в регионе.

Климат в определениях главных его показателей – явление интегральное, очень сложное. Роль его в разных географических условиях будет выражаться различными соотношениями многих показателей. Достаточно сложные взаимоотношения складываются в лесу между самими компонентами климата, что затрудняет познание взаимоотношений их с лесом. И самое существенное: являясь продуктом климата, лес с определенного этапа в своем развитии оказывает влияние на местообитание и стало быть сам принимает участие в формировании климата соответствующего природно-территориального комплекса и окружающего пространства. И хотя это влияние разномасштабно, в зависимости от площади рассматриваемого лесного массива, с этим нельзя не считаться.

По мнению А.А. Молчанова [1961] главными климатообразующими факторами являются: 1 - баланс (приход и расход) лучистой энергии; 2- атмосферная циркуляция воздушных масс; 3 – вертикальный теплообмен и влагообмен в атмосфере, в подстилающем слое земной поверхности и между ними. В этой связи климат по-существу предстает как комплекс характеристик взаимосвязей между солнечной радиацией, поступающей к

Земле и свойствами атмосферы, окружающей Землю, выравненных за многие десятилетия. Не без оснований известный климатолог Б.П. Алисов понятие «климат» формулирует как «закономерную последовательность метеорологических процессов, определяемых комплексом физико-географических условий и выражающуюся в многолетнем режиме погоды в данной местности».

Важнейшим показателем взаимоотношений леса с климатом является связь экосистем этого типа с приходом солнечной радиации. Поступление солнечной радиации в северном полушарии изменяется в довольно широких пределах: $2800-4900 \text{ мДж/м}^2 \text{ год}$. На пространствах бореальной зоны России приход солнечной радиации оценивается интервалом $2900-3900 \text{ мДж/м}^2 \text{ год}$ (Будыко, Ефимова, 1968). Решающее значение при этом имеют различия в высоте стояния солнца, связанной с изменением географической широты.

Географизм климата

Географические закономерности поступления солнечной радиации к поверхности планеты характеризует табл. 1.

Таблица 1. Солнечная энергия на разной географической широте в северном полушарии (по Б.П.Алисову)

Географическая широта, °	Летнее полугодие		Год в целом	
	ккал/см ²	кДж/см ²	ккал/см ²	кДж/см ²
90	133	557	133	557
80	134,5	564	137,5	574
70	138,5	580	152	637
60	149	624	182,5	765
50	161	675	220	922
40	170	712	254	1065
30	175	733	283	1186
20	170	712	317	1328

При высоте стояния 80° поглощение радиации атмосферой снижается на 6 %, при высоте 60° – на 30 %. И все-таки за счет облачности и загрязнения тропосферы в северном полушарии при высоте стояния Солнца над горизонтом в 50° , до земли доходит лишь 40 % идущей к земле суммарной радиации.. Представляют интерес данные А.А. Молчанова по характеристике поступления солнечной радиации в северном полушарии (табл. 2).

Таблица 2. Интенсивность солнечной радиации в зависимости от высоты стояния Солнца над горизонтом

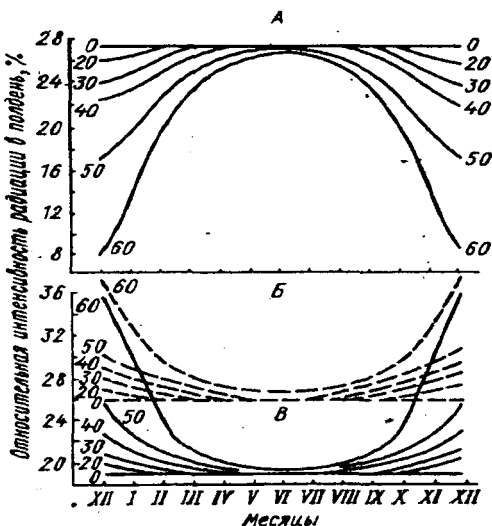
Высота Солнца, °	Интенсивность радиации, кал/см ² мин		Высота Солнца, °	Интенсивность радиации, кал/см ² мин	
	при идеальной атмосфере	в реальных условиях		при идеальной атмосфере	в реальных условиях
5	1,05	0,39	30	1,57	1,11
10	1,27	0,60	40	1,62	1,21
15	1,39	0,60	50	1,65	1,27
20	1,47	0,95	60	1,66	1,31

* Солнечная постоянная 1,95 кал /см² мин.

При одинаковой широте местности по мере поднятия Солнца над горизонтом поступление солнечной радиации к земле увеличивается. Следует отметить, что приведенные в таблице 2 показатели также обусловлены не только разницей в величинах абсолютного поступления солнечной энергии. Сказывается влияние уменьшающейся с увеличением высоты Солнца облачности, которая может увеличивать приход солнечной радиации почти на 30 %, существенно изменяя при этом долю поступающего прямого излучения.

То есть приведенные в табл. 2 данные – есть интегрированное выражение влияния всех факторов. Широтные закономерности распределения разных частей потока солнечной радиации показано на рис. 12.

Рис. 12. Годовой ход потока прямой солнечной радиации в полдень (А), красной (Б) и дальней красной (В) областях спектра (по И.А. Шульгину, 1967)
Цифры около кривых – географическая широта



Согласно рис. 12, имеют место различия в характере распределения солнечной радиации по географической широте в суточном режиме и по разным частям спектра. Наибольшие колебания при измерении радиации в полдень, а меньше всего изменчивость по широте в красной части светового пучка.

На пропускную (по отношению к световой энергии) способность атмосферы планеты оказывает влияние содержание в слое тропосферы (нижние 10–12 км) углекислоты и загрязняющих веществ (пыли, аэрозолей и др.). Влияние прозрачности атмосферы на приход солнечной радиации показано на рис. 13.

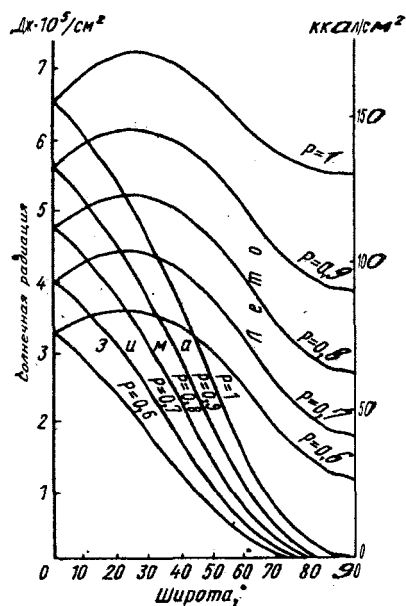


Рис. 13. Влияние прозрачности атмосферы на приток радиации на разных широтах (по Тверскому, 1962) p — коэффициент прозрачности

Согласно рис. 13. Влияние снижения прозрачности на распределение прихода радиации по географической широте наиболее выраженным оказывается в летнее время. В силу низкой абсолютной солнечной радиации в зимнее время, нарастание роли прозрачности с географической широтой идет более энергично, чем летом. Меньше всего влияние прозрачности атмосферы в зимнее время на экваторе, в летнее — на широте 20–30°.

Роль укрупненных климатических показателей в определении продукционных свойств экосистем северного полушария характеризуют данные табл. 3. Как следует из материалов табл. 3, различия территорий по

термическим поясам по всем использованным показателям оказываются весьма существенными. В.А Ковда обращает внимание на то обстоятельство, что если различия между поясами в величинах сумм эффективных температур достигают 2000 %, то в продуцируемой фитомассе на 1 га – только 200 %. Столь существенная разница объясняется влиянием комплекса неучтенных факторов азонального характера.

Таблица 3. Планетарные термические пояса и лесорастительные зоны
(по В.А. Ковде)

Термический пояс	Климатическая зона	Среднегодовая $t^{\circ}C$	Сумма температур	Фитомасса (абс. сух, ц/га)
Полярный	Тундра	-23...-1,5	400...500	50
Бореальный	Умеренно холодная (тайга)	-4...+4	2400	1000...3300
Суббореальный	Умеренно теплая (смешанных лесов)	+10	4000	4000
Субтропический	Субтропическая	+15	6000...8000	4100
Пустынь	Полупустынь и пустынь	+5...+12	до 6000	43

Постоянный поток радиационной энергии от Солнца к Земле, проходя через атмосферу, существенно трансформируется. Частично лучистая энергия отражается парами воды, пылевыми частицами и аэрозолями тропосферы. Часть энергии поглощается облачным слоем на разных высотах в пределах тропосферы. Некоторое ее количество рассеивается в атмосфере и может войти в так называемое вторичное излучение. В целом в северном полушарии отражаемая в космическое пространство энергия составляет в среднем около 1/3 общего количества, поступающего к планете.

С увеличением географической широты, а при одинаковой широте – по мере снижения высоты стояния Солнца в потоке радиации увеличивается доля рассеянной радиации за счет снижения прямой. По мнению А.А. Молчанова (1961) для растительности умеренных широт более полезна как раз рассеянная радиация. Она лучше усваивается лесной растительностью. Хлорофилл листа поглощает тем больше (в определенных рамках)

энергии, чем слабее (опять в определенных пределах) освещенность. Ослабление интенсивности освещенности в таких случаях в определенных пределах компенсируется повышением эффективности фотосинтеза.

При сплошной облачности, в зависимости от плотности облаков, величина радиации по сравнению с безоблачным небом снижается на 25–50 %. По данным сибирских ученых (Лесные экосистемы..., 2002), на пространствах Енисейского меридиана доля рассеянной радиации за год колеблется от 50 до 85 %.

Часть радиации (прямой и рассеянной), достигающая поверхности земли отражается, а в основном ею поглощается. Физически отраженную часть называют альбедо. Чем выше альбедо, тем меньше поглощается энергии деятельным слоем экосистем. Часть поглощенной энергии излучается землей в атмосферу в виде инфракрасной радиации – в виде тепла. Эта величина в климатологии называется эффективным излучением. Оставшаяся от поглощенной энергии радиация составляет радиационный баланс. Радиационный баланс – один из основных показателей теплообеспеченности местообитания.

Интегрированное влияние на баланс солнечной радиации солнечного сияния и облачности на примере Средней Сибири показана на рис. 14.

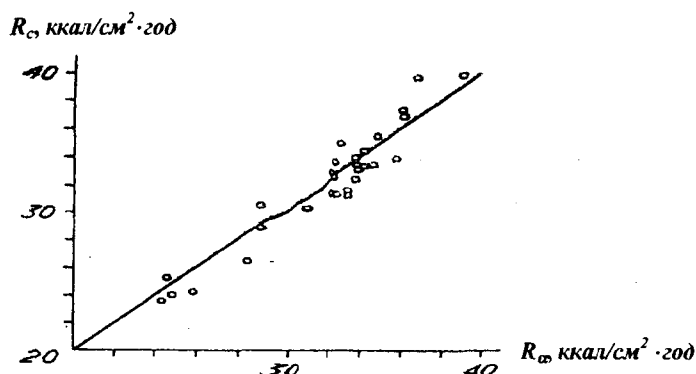


Рис. 14. Связь величины радиационного баланса, рассчитанных по солнечному сиянию (R_a) и облачности (R_c)

Значения радиационного баланса в районах с горным рельефом в известной степени зависит от высоты над уровнем моря. Эта зависимость в Прибайкалье, выявленная В.М. Горбатенко (1979) показана на рис. 15. Ока-

залось, что повышение местоположения участка на 100 м адекватно снижению поступления тепла на $0,058 \text{ ккал/см}^2$ в год.

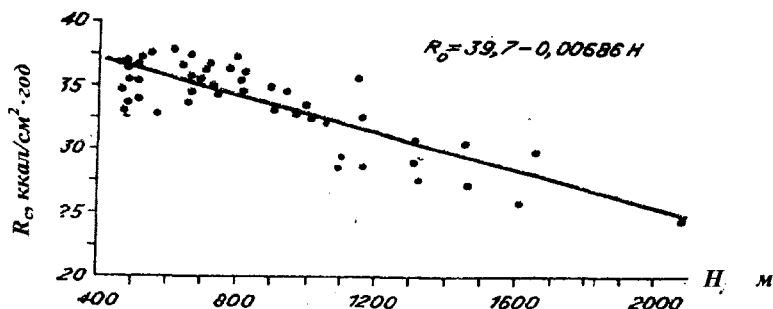


Рис. 15. Зависимость величин радиационного баланса (R_o) от высоты положения участка над уровнем моря (H).

Величины перечисленных показателей климата на лесных землях (прежде всего суммарной радиации и радиационного баланса) в литературе часто существенно различаются. Очевидно, сказывается несовершенство технического оснащения наблюдений и различия в методических подходах. Приведем выборочно для общей ориентировки ряд наиболее достоверных значений важнейшего показателя климата – радиационного баланса по некоторым районам страны. По исследованиям А.А. Молчанова (1961) на границе северной и средней подзон тайги (на широте Обозерской) радиационный баланс лесных насаждений изменяется в пределах $986\text{--}1090 \text{ МДж/м}^2$ год. По данным Госкомгидромета (Руднев, 1977) в северотаежных районах европейской части страны радиационный баланс оценивается $1050\text{--}1170 \text{ МДж/м}^2$. На пространствах Средней Сибири в зоне притундровых лесов этот показатель изменяется от 916 до 1087 МДж/м^2 , в южнотаежной зоне – от 1637 до 1736 МДж/м^2 год (Лесные экосистемы..., 2002).

Весьма информативным показателем климата является величина солнечного сияния и суммарная солнечная радиация. В силу общегеографических закономерностей на территории северной тайги в Архангельской области продолжительность солнечного сияния $85\text{--}90$ дней, в субтропиках (Северный Кавказ) не менее 180 дней в году. Продолжительность пасмурной и переменной погоды летом в средней тайге Республики Коми составляет $65\text{--}80 \%$, под Сочи – не более 30% . Суммарная радиация в северной тайге $2890\text{--}2980$, в Субтропиках – 6284 МДж/м^2 . Различия в $2,1$ раза. Пря-

мых и ближних инфракрасных лучей. Коротковолновые лучи ультрафиолетовой части почти полностью отражаются (работает озоновый слой). Участок с длиной волны 0,40–0,76 микрометра оставляет видимую часть. Это почти половина солнечного пучка. Область спектра красных лучей несет основную массу тепловой энергии.

Роль климата в распространении лесов на планете наиболее очевидна при рассмотрении больших интервалов времени – в тысячелетия и миллионлетия. В короткие временные интервалы роль климата может проявляться лишь в масштабах крупных лесных территорий (природная зона, подзона, область, провинция). На местном уровне оценка значения климатических условий требует уже другого масштаба оценки (на уровне мезоклимата или микроклимата). Нередко в таких масштабах на первое место во влиянии на географию леса выходят почвенные и орографические условия.

Лесная растительность, как и все живое на земле, прошла длительный путь развития. Климат Земли постоянно меняется: условия для появления и формирования лесной растительности появлялись в разные геологические периоды. Геологами установлено, что первые хвойные на земле появились в пермский период мезозоя – около 260 млн. лет назад. Именно в этот период на планете сложились очень благоприятные для растительности условия. Широкое распространение получили предки современных сосен, лиственниц и елей. Позднее, в меловом периоде (160 млн. лет назад) на планете появились дуб, береза, тополь, ольха, ивы.

Принято считать, что условия, близкие к современным, установились всего лишь около 1 млн. лет назад. Но это очень относительная стабильность. Этот период также был далеко неоднородным. На планете происходили обширные и длительные оледенения, море наступало на сушу и снова отступало, материки смещались в пространстве. Последнее оледенение было совсем недавно по геологическим масштабам ~ 20–15 тыс. лет назад. Период после этого оледенения (последние 10–12(15) тысяч лет. геологи называют Голоценом. В пределах Голоцена специалисты – палеоботаники выделяют также несколько климатических периодов с довольно существенными различиями. В полосе постоянных смен растительности в этот период оказалась также территория таежной зоны России. То на нее наступала тундра, временами опускавшаяся до 40° северной широты, то тундровый тип климата сменялся бореальным: тундра уходила и территория заселялась растительностью умеренного климата. При потеплении на север, в высокие широты наступала растительность широколиственных лесов с

участием дуба, липы, кленов. Принято считать, что в Голоцене на европейской части России имели место два серьезных похолодания, которые перемежались относительно теплыми условиями с проявлением двух отчетливых потеплений..

На пространствах Средней Сибири в Голоцене по данным В.С. Кошкаровой и др. (Лесные экосистемы ..., 2002), также имели место два похолодания и два потепления, но по времени они не совпадают с восточно-европейскими. Палеоботанические исследования показывают постоянные изменения в характер лесной растительности на пространствах этого региона. Отмечены довольно сложные смены типов растительности и формаций лесного покрова.

Интересную информацию об изменениях лесной растительности в Голоцене на пространствах США и Канады, в Великобритании и в Гренландии приводят американские лесоводы С. Спурр, Б. Барнес [1984]. Пыльцевые анализы торфяников в разных регионах на Североамериканском континенте показывают существование в Голоцене нескольких периодов преобладания тундровой, еловой, елово-березовой, сосновой формаций, а также преобладания лесов широколиственных пород. Максимальное потепление в центральных районах нынешних США отмечено учеными в период 7–4 тысячи лет назад. Этому периоду в разных штатах соответствует слой с отложениями пыльцы растительности, близкой к формациям современных прерий.

Климат, в принципе, не остается неизменным и в историческое время. Климатологи выделяют циклы изменений климатических условий в отрезках времени меньшей периодичностью: 450–500, 80–100 летние. Известны 1850 летние циклы А.В.Шнитникова с четырьмя периодами разных соотношений тепла и увлажнения.

Зональность, поясность и секторальность лесов

Общепризнанным считается положение о том, что ведущими климатическими факторами распространения, свойств и производительности лесов являются тепло и влага. Именно эти факторы определяют главные географические закономерности распространения лесной растительности, проявляющиеся на всех континентах: *зональность, поясность, секторальность*.

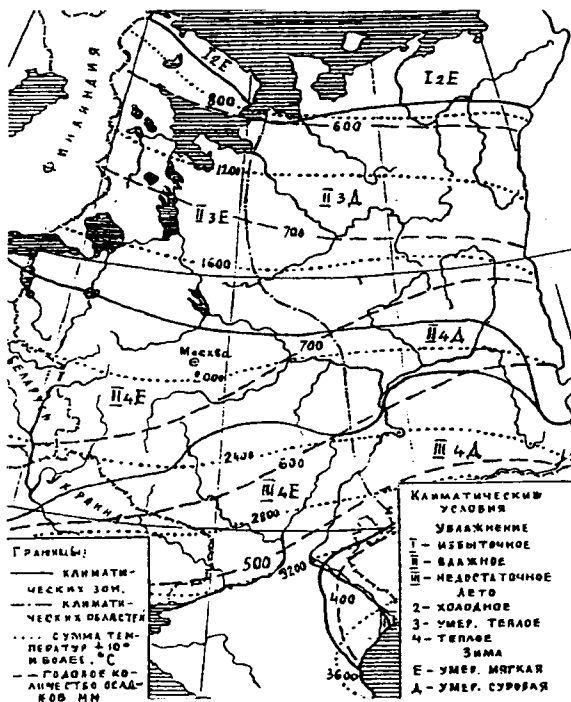
Зональностью называют закономерные изменения климатических показателей и свойств экосистем в направлении с юга на север (по географической широте). Изменяются показатели теплообеспеченности (среднегодовые температуры, суммы плюсовых и эффективных (разных уровней значимости) температур воздуха, продолжительность вегетационного пе-

риода и др.) Имеют место и изменения влагообеспеченности (годовая сумма осадков, осадки летнего и зимнего периодов, осадки за гидрологический год (с октября по октябрь) и другие. Прослеживается закономерность в изменении таких интегральных показателей, как соотношение сумм осадков и испарения (общего и за теплый период) и др.

Достаточно закономерно по географической широте увеличиваются показатели лесной растительности (лесистость территории, заболоченность, средние таксационные показатели древостоев (высота, диаметр, запас стволовой массы). Интегральными показателями выступают класс бонитета и производительность. Отдельный блок составляют биологическое разнообразие флоры и фауны, разнообразие экосистем и их экологический потенциал.

Зональность основных показателей теплообеспеченности и увлажнения на примере европейской части России и прилегающих территорий показана на рис. 17. В пределах рассматриваемой территории М.И. Будыко выделяет три климатических зоны с избыточным, с влажным и с недостаточным увлажнением.

Рис. 17. Климатические зоны и области на европейской части России (по Будыко, 1971)



В пределах зон выделены области: I₂E – с избыточным увлажнением, холодным летом и умеренно мягкой зимой; П₃E – с умеренным увлажнением умеренно теплым летом и умеренно мягкой зимой; П₄D – с умеренным увлажнением, теплой зимой и умеренно суровой зимой; П₄E – с недостаточным увлажнением, теплой зимой и умеренно суровой зимой; П₄D

Вполне естественно, приведенные климатические области будут характеризоваться достаточно разными комплексами климатических лесорастительных условий. Соответственно, различными будут леса климатических областей. Область П₃E – например – область преобладания сосновых формаций средне- и северо-таежных облика, область П₃D – еловых преимущественно коренных лесов типично таежных восточноевропейского типа.

Хотя достоверность представленных на рис. 17 материалов о характере изменений продуктивности сосняков с почвенно-грунтовым увлажнением на пространствах Русской Равнины не очень убедительна, связь продуктивности сосняков с обобщенными показателями климата по схеме не вызывает сомнения.

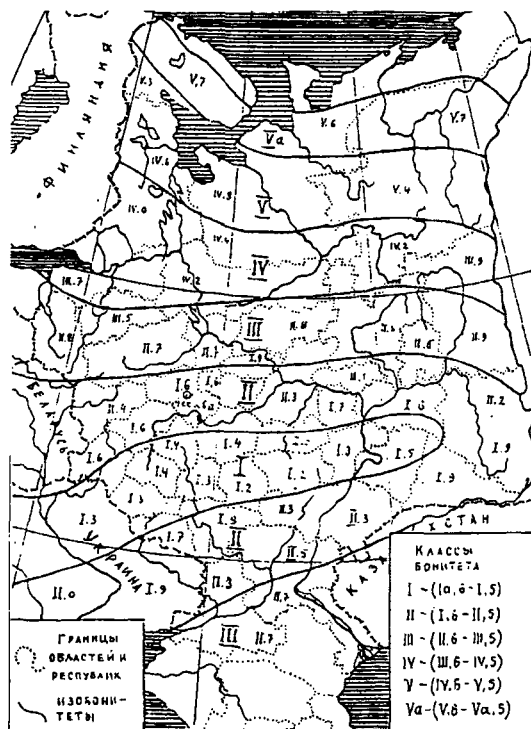


Рис. 18. Схема изобонитов сосновых лесов на пространствах европейской части России (по Н.И. Казимирову)

С понижением географической широты контрастность показателей лесных формаций возрастает. Подтверждением продемонстрированной Будыко зональности климатических условий может служить схема – карта производительного потенциала сосновых лесов (рис. 18), составленная под руководством Н.И. Казиминова (1995).

Зональность климата и свойств лесов на пространствах Европейского Севера хорошо иллюстрируют зональность лесов и климатических показателей, дополняя друг друга, данные В.А. Ковды и П.Н. Львова (табл. 4 и 5), полученные исследователями при обработке статистических данных Госкомгидромета и таксационных материалов лесоустройства.

Все показатели как климата, так и свойств лесов закономерно возрастают со снижением географической широты. Сопоставление метеоданных позволяет сравнить зональные изменения индекса сухости (по Будыко). В притундровой подзоне радиационный индекс сухости (отношение испаряемости к осадкам) менее 0,4; в таежной зоне – 0,4–0,7; в зоне смешанных лесов – 0,6–1,0; в лесостепной – 1,0–2,0.

Таблица 4. Показатели климата и продуктивности таежных лесов европейской части России (по В.Ковде с дополнениями)

Подзона	Ср. t год $^{\circ}\text{C}$	Сумма плюсовых $t^{\circ}\text{C}$	Количество дней с $t^{\circ}\text{C}$		При- рост $\text{кг}/\text{м}^2$	Связан- ная энергия $\text{ккал}/\text{м}^2$
			$> +5$	$> +20$		
Притунд- ровая	-1-(2)	600–900	95–107	40–50	0,32	$4,1 \cdot 10^3$
Северота- ежная	0-(+1,2)	850-(1350)	102–120	60–90	0,63	$6,8 \cdot 10^3$
Среднета- ежная	1,0–2,0	1300–1680	114–135	105–110	0,90	$8,4 \cdot 10^3$
Южнота- ежная	1,9–2,6	> 1680	135–165	110–125	10,1	$1,16 \cdot 10^3$

Таблица 5. Некоторые средние показатели климата и лесов Европейского Севера по подзонам тайги (по П.Н. Львову, 1969)

Подзона	Сумма положи- тельных $t > 10^{\circ}$	Число дней с $t > 20^{\circ}$	Годовые осадки, мм	Класс бони- тета	Запас $\text{м}^3/\text{га}$	Годичный прирост, м^3
Лесотунд- ровая	600–900	40–50	350–450	Va-Vб	40–60	0,1–0,5
Северная	900–1300	60–90	425–480	V	20–120	0,6–1,2
Средняя	1300–1600	105–110	500–570	IV-V	120–160	1,3–2,0
Южная	1600–1700	110–105	550–600	III-IV	160–220	2,1–3,5

По данным Н.И. Казимирова (1995) продуктивность сосняков на пространствах Европейской Равнины со снижением географической широты на 1 градус увеличивается примерно на один класс бонитета. Так при сумме эффективных температур около 800° (лесотундра) производительность лесных сообществ оценивается Va и ниже классами. Пр-существо это сообщества сосны представляют собой образования типа криволесий и редколесий (В.Ц.). При суммах температур 1100–1200° (северная тайга) сосняки оцениваются в среднем V классом; при 1500° (средняя тайга) сосняки относят к IV бонитету; при 1800° (южная тайга) – к III классу; при 2100° (зона смешанных лесов – ко II классу; при 2400° (лесостепь) – в среднем к I классу бонитета.

Интересные материалы по характеристике зональных черт климата и свойств лесов на Европейском Севере приводит И.В.Волосевич [1984]. Сумма эффективных температур воздуха с широты 59° (Вологда) до Нарьян-Мара (пост «Коткино» на широте 67°) падает с 1700 до 570–580°. Средний класс бонитета, соответственно, снижается: с III,5 до V,8. Широтные изменения сумм эффективных температур и производительности древостоев в черничном типе лесорастительных условий выглядят следующим образом (табл. 6).

Таблица 6. Зональность лесов на пространствах Архангельской и Вологодской областей (по И. Волосевичу, 1984)

Географическая широта, °	Тип леса	66°30' Полярный круг	66°30' северная граница тайги	64°15' средняя часть северной тайги	63°00' начало средней тайги	63°30' середина средней тайги	58° середина южной тайги
Σ эффект температур		750	990	1190	1350	1500	1700
Средний класс бонитета	С. черн. Е. Черн Б. черн	V,8 V,6 V,4	IV,9 IV,7 V,2	IV,1 IV,2 IV,4	III,7 III,9 IV,0	III,4 III,7 III,5	III,0 III,5 III,2

Удельное изменение показателей на один градус широты неодинаково по подзонам тайги. На территории северной тайги изменение показателя теплообеспеченности оценивается 8–22 (ср 15) %, в средней тайге – 4–7 (в среднем 5) %, в южной тайге – 3 %. Соответственно, средний класс бони-

тета снижается в северной тайге на 7–23 (среднее 15) %, в средней тайге – на 3–6 (5) %, в южной – на 2,5 %.

Ученый подсчитал относительные значения изменений с повышением широты рассматриваемых показателей. Если значения теплообеспеченности и производительности лесов на северной границе северной тайги принять за 1,0, то значения этих показателей на других широтах выразятся следующими значениями:

Географическая широта, °	59	60	61	62	63	64	65	66	67
Сумма эффективных температур	1,65	1,61	1,49	1,43	1,28	1,22	1,20	0,82	0,74
Средний класс бонитета	1,61	1,56	1,46	1,40	1,28	1,20	1,11	0,87	0,78

В горных районах приходится считаться с закономерными изменениями условий произрастания и свойств лесов при повышении местообитаний над уровнем моря. Эти закономерности называют **поясностью** климатических условий. Поясность по сути – зональность рассматриваемая вертикально. В разных географических условиях существуют определенные эквиваленты соотношений зональности и поясности. На Европейской территории России поднятие над уровнем моря на 100 м эквивалентно перемещению на север примерно на один градус географической широты (110 км).

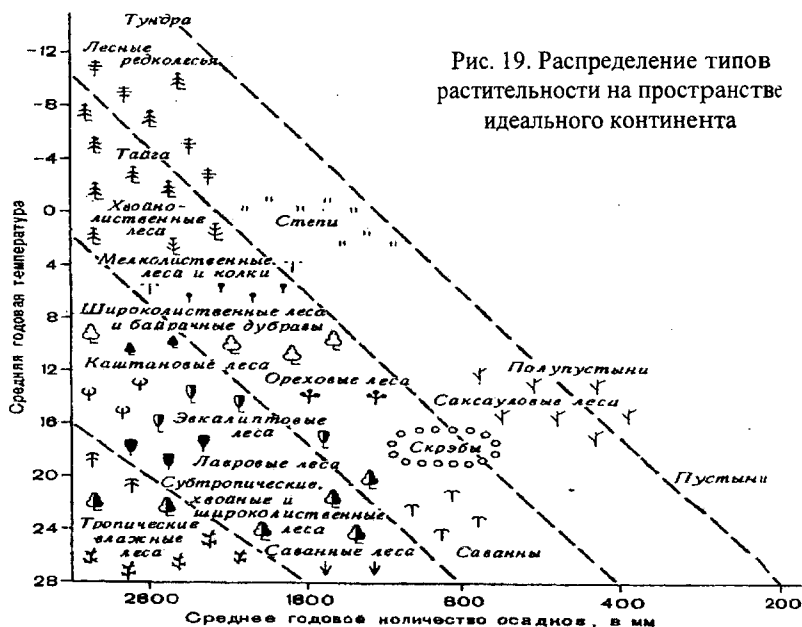
Связь характеристик лесов через сопряжение зональных и поясных закономерностей в теплообеспеченности на примере горнолесных территорий Средней Сибири хорошо демонстрируют данные Н.М. Чебаковой с коллегами (Лесные экосистемы..., 2002, табл. 7).

Как следует из табл. 7, климатические границы для одноименных широтных подзон и высотных поясов практически идентичны. Небольшие различия между ними лежат в пределах точности расчетов климатических индексов.

Диалектические связи климатических характеристик с географией пространств и условиями рельефа положены в основу построения так называемого «идеального» континента (В.Р. Волобуев, 1956), где размещение лесов показано интегрированно, в единой обусловленности температурами, осадками, связанными с географической широтой местности и ее высотой над уровнем моря (рис. 19).

Таблица 7. Климатические параметры широтных зон и высотных поясов растительности на пространствах Средней Сибири

Зоны растительности	Климатические границы зон		Высотнопоясные комплексы растительности (ВПК)	Климатические границы растительности	
	сумма температур выше 5°	индекс сухости		сумма температур выше 5°	индекс сухости
Тундра	<700	—	Горнотундровый	<700	—
Лесотундра	700–1100	<2	Субальпийскоподгольцовый редколесный	700–1150	<2,2
Северная, средняя и южная темнохвойная тайга	1100–1950	<1,1	Темнохвойный торно-таежный и черневой	1150–1900	<1,0
Северная, средняя и южная светлохвойная тайга	1100–1950	1,1–2,0	Светлохвойный горнотаежный	1150–1900	1,0–2,2
Светлохвойная тайга	1950–2250	1,1–2,0	Светлохвойный подтаежно-лесостепной	1900–2300	1,0–2,2
Степь	>2250	>2,0	Горностепной	>2300	>2,2



Сопряженность зональности растительности на планете с поясно-стью в генерализованном виде приводит В.А. Ковда со ссылкой на А. Гум-больта (табл. 8). Разумеется, схемы Гумбольта и Волобуева весьма при-ближенны, но они хорошо отражают сущность рассматриваемых климати-чески обусловленных закономерностей в свойствах лесов.

Таблица 8. Модель связи географической широты с высотой над уровнем моря на примере изменения типов растительности

Высота над уровнем моря, м	Соответствие средняя t вертикального пояса географической широте		Тип растительности
	°С	Градус	
0–600	27,5	0 - 15	Пальмы, бананы
600–1200	24,0	15-23	Древовидные папоротники, фикусы
1200–1900	21,0	23-34	Мирты и лавры
1900–2500	19,0	34-45	Вечнозеленые лиственные леса
2500–3100	16,0	45-58	Лиственные листопадные леса
3100–3700	13,0	58-66	Хвойные леса
3700–4400	8,5	66-72	Альпийские кустарниковые леса
4400–4800	4,5	72-82	Тундры, альпийские травы
>4800			Вечные снега.

Одним из важнейших показателем климатических условий по отно-шению к лесной растительности является континентальность, которая вы-ражается в высокой изменчивости основных показателей в сезонном и су-точном ритмах.

Существует несколько подходов к классификации индекса конти-нентальности. Мы отдаем предпочтение классификации Н.Н. Иванова (1959). По данным ученого колебания показателей этого критерия в гео-графическом плане в северном полушарии оцениваются следующими зна-чениями (табл. 9)

Таблица 9. Показатели амплитуд климатических показателей в северном полушарии

Широта, °	показатель, °	Широта, °	показатель, °
Годовые амплитуды температур			
70	32,2	55	24,9
65	34,8	50	23,8
60	29,0	45	21,1
Среднесуточная температура			
70	7,4	55	8,1
65	8,5	50	8,9
60	8,4	45	9,3
Средний дефицит влажности, %			
70	23,5	55	29,5
65	29,5	50	32,7
60	29,3	45	37,2

Собранная информация позволила ученому предложить расчет коэффициента континентальности (К) рассчитываемый по формуле:

$$K = \frac{A_2 + A_c + 0,25D_0}{0,36\phi + 14} 100$$

где К – континентальность в процентах от средней планетарной величины (принятой за 100 %); A_2 – годовая амплитуда температуры воздуха; A_c – суточная амплитуда температуры воздуха; D_0 – дефицит относительной влажности воздуха в самый сухой месяц; ϕ – географическая широта пункта наблюдения. Весь диапазон изменчивости климата по этим показателям на Земном шаре разбит ученым на 10 ступеней (поясов) для которых рассчитаны соответствующие типы коэффициентов континентальности:

Климат	К (коэффициент, %)
1. Крайне океанический	менее 48
2. Океанический	48–56
3. Умеренно океанический	57–68
4. Морской	69–82
5. Слабо морской	83–100
6. Слабо континентальный	100–121
7. Умеренно континентальный	122–146
8. Континентальный	147–177
9. Резко континентальный	178–214
10. Крайне континентальный	>214

Показатель континентальности в Москве 137, в Казани – 158, в Екатеринбурге – 147, в Салехарде – 97, в Архангельске – 118 %. Пространства Карелии, Кольского полуострова, например, попадают в шестой: пояс сла-

бо континентального климата, север Архангельской области относится к седьмому (умеренно континентальному), юго-восток страны – к восьмому (континентальному) поясам. Чем выше континентальность, тем жестче (при прочих равных) климатические условия для лесной растительности.

Удалось рассчитать предельные значения коэффициента континентальности для главных лесообразующих пород бореальной зоны России, Бук способен произрастать при годовой (январь–июль) амплитуде температуре не более 23°, граб – не более 27°, дуб – не более 35, береза – не более 45, лиственница – не выше 60°. Для сравнения большинство древесных пород тропической зоны не выносят колебания температур за январь–июль более 8°.

Континентальность климата является причиной проявления секторальности природных условий. Под секторальностью понимается различия в жесткости климатических условий, проявляющаяся по географической долготе в связи с разной удаленностью от моря (океана). На каждом континенте есть секторы приокеанические и секторы наиболее удаленные от обогревающего влияния океана. На пространствах российской Евразии выделены секторы: Западноевропейский, Восточноевропейский, Уральский, Западносибирский, Среднесибирский, Восточносибирский и Дальневосточный.

В силу известных различий в природных условиях континентальность на территории Русской Равнины в разных природных зонах проявляется на разной географической долготе. В таежной зоне по характеру холодного периода рубеж между западной и восточной частями проходит по 41° восточной долготы. Западная часть с умеренно холодной зимой, восточная с холодной зимой. В лесостепной зоне рубеж между западной и восточной частями проходит по 47–48 меридианам. Западная климатическая область с мягкой зимой, восточная – с относительно суровой зимой.

Такая же ситуация, только более контрастная по показателям климата и свойствам растительности прослеживается в системе перечисленных секторов. Евразии. Наибольшей континентальностью характеризуется Среднесибирский сектор. Жесткость климатических показателей здесь усиливается за счет присутствия довольно крупных горных систем.

В связи с континентальностью климата различия между усредненными показателями продуктивности лесов северной и средней тайгой в разных секторах оказываются неодинаковыми. По сравнению с западносибирским сектором эта граница понижена почти на 200 км. Напомним, что столь существенные различия в какой-то мере связаны с гористостью Средней Сибири, т.е. с различиями в почвенно-ореграфическими факторами.

Среди комплекса климатических условий для леса, на Севере, в бореальной зоне на первое место выходит тепло. В южных регионах свойства леса больше зависят от влаги осадков. Таким образом, севернее границы между южной тайгой и зоной хвойно-широколиственных лимитирующим фактором для продуктивности лесов выступает недостаточная теплообеспеченность, южнее – дефицит влаги. Наибольший дефицит тепла прослеживается в притундровых лесах, наибольший дефицит влаги – в лесах полупустынь. Близкие к оптимальным условия на пространствах южной тайги и в районах полосы широколиственных лесов.

Типы климатов

Условия теплообеспеченности и увлажнения в лесоведении оцениваются многими параметрами. Наибольшее распространение при учете теплообеспеченности получили показатели среднегодовых температур воздуха, сумм положительных температур, сумм эффективных температур ($\Sigma t^{\circ} > 10$). В лесоводственной практике используются кроме того показатели величины вегетационного периода, (число дней с температурой выше $+5^{\circ}$), суммы температур за летние месяцы и некоторые другие. Условия увлажнения оценивают такими показателями, как сумма осадков за год, за вегетацию, за гидрологический год. Иногда используют показатели распределения осадков на летние и зимние, на жидкие и твердые, а также соотношение между суммой осадков и испарением.

Связь лесной растительности с показателями теплообеспеченности и увлажнения проявляется в каждом конкретном случае синтетически, т.е. одновременно и в комплексе. И очень непростой задачей является установление доли влияния того или другого фактора в отдельности. Между ними существует, как выясняется, диалектическая взаимозависимость. Если северная граница распространения лесов в Евразии определяется теплом (совпадает с изотермой июля $+10^{\circ}\text{C}$), то южная – разными показателями соотношения влагообеспеченности и теплообеспеченности.

Механизм пессимального влияния в том и другом случае одинаков. В том и другом случае блокируются возобновительные процессы: на Севере не хватает тепла для вызревания семян, на юге – не хватает влаги для приживания всходов и самосева древесных пород. Изучение зависимостей леса от климата и влияния лесных экосистем на климатические условия местообитаний имеет большой опыт, как в России, так в зарубежье.

Представляет интерес опыт зарубежных исследователей в деле использования в практическом лесоводстве связей свойств и распространения лесов с климатом. Американские экологи (Спурр, Барнес..., 1984) приводят интересный обзор таких попыток. Немецким исследователем Кеппеном (цитируется по Спурр, Барнет, 1984) климат классифицируется тремя индексами (буквами). Первая характеризует одну из пяти выделенным зон зимних температур, вторая – характер сезонного хода дождевых осадков, третья – одну из трех зон летних температур.

Предложенная система обозначения климатов хорошо увязывается с географическими формациями распространения типов растительного покрова. И она успешно была использована при выявлении закономерностей распространения древесных пород, в т.ч. на американском континенте.

Интересную диаграмму дифференциации лесного климата предлагают авторы «Лесной экологии» С. Спур и Б. Барнес (1984) для штата Аризона (рис. 20). На многомерной диаграмме обозначены значения среднемесячных температур воздуха и сумм осадков, экстремально высоких и экстремально низких температур, а также осадки в месячном режиме, среднесуточные значения температур и осадков в критические периоды.

Заслуживают внимания предложенные «жизненные зоны» американских лесоводов (К. Мерриам и Т. Холдриджа (цитируется по Спурр, Барнес, 1984). В первом случае жизненную зону определяет средняя сумма суточных температур выше 6°C , во втором – частные амплитуды температур и осадков, выстраиваемые в логарифметических прогрессиях. К Мерриам предложил выделять 10 зон: Канадская зона с лесами хвойных пород, Гудзонова зона – с бореальными альпийскими ельниками и пихтарниками, Аридная переходная зона с лесами из сосны желтой и др.

Подход Холдриджа позволил оконтурить на американском континенте жизненные зоны на гидротермических принципах, такие как «дождевой тропический лес», «влажный лес», «тундра», «степь» и другие. Географом В. Торнтвайтом (цитируется по Спурр, Барнет, 1984) предложено выделять на североамериканском континенте пять климатических регионов, определяемых по соотношениям осадками и испарением. Выделены климаты: *супергумидный, гумидный, субгумидный, аридный и субаридный*.

Дифференциация земель на принципах выделения определенных «жизненных зон», «природных зон», «климатических областей» и климатических провинций» применительно к лесу неоднократно предпринималась и в России. Начало было положено еще в конце XIX века В.В. Докучаевым, много работавшим в обоснование выделения на пространствах

России природных зон. Известны предложения Г.Ф. Морозова выделять на пространствах европейской России четыре области. А.А. Крюденер (1916), выстраивая классификацию типов насаждений предложил европейскую Россию разделять сначала на две подзоны (северную и южную), а в пределах подзон, соответственно, четыре и пять областей. Каждый из регионов характеризовался достаточно подробно не только по показателям климата, но также по свойствам почв.

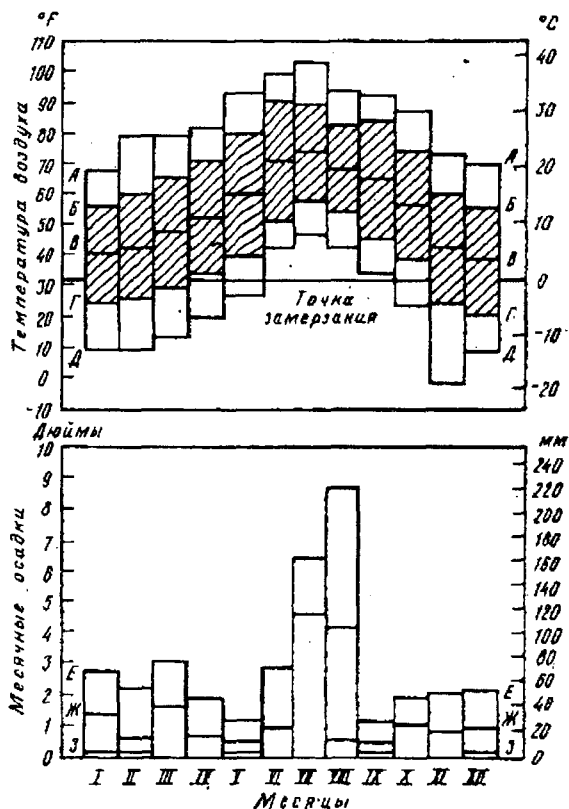


Рис. 20. Диаграмма климатических параметров климата для лесов штата Аризона: А — экстремальная, самая высокая из наблюдаемых температур воздуха; Б — среднесуточный максимум за месяц; В — среднесуточная температура; Г — среднесуточный минимум; Д — экстремально низкая температура. Осадки, главным образом дождевые (за 1961–1967) включающие: Е — экстремально высокие; Ж — средние за месяц; З — экстремально низкие.

Наиболее успешным для пространств бывшего СССР следует признать районирование климатических условий применительно к типологии лесов, выполненное Д.В. Воробьевым (1953, 1961).

За основу выделения типов лесного климата Д.В. Воробьев принял изменения зональных типов местообитаний (типов эдатопа) и типа леса. Предполагалось, что отдельные древесные породы в соответствующих почвенно-гидрологических условиях могут произрастать за пределами своего естественного ареала. Опыт изучения лесорастительных условий и лесов европейской части страны позволил ученому выявить важнейшие пространственные закономерности. Главная из них: *местообитания плакоров тем богаче, чем теплее климат и тем влажнее, чем климат влажнее.*

В 1961 году Д.В. Воробьев предлагает единую классификацию типов лесного климата для всей территории СССР. Лесоводственно-типологическое районирование Воробьева по мнению Б.Ф. Остапенко (1979) представляет собой классификацию климатов, перенесенную с координат экологических на географические с учетом континентальности климатов и геоморфологических факторов местообитаний. Вместо использования ботанико-географических зон и областей предложено построение районирования на основе климатических закономерностей формирования зональных типов лесного участка, т.е. чисто ботаническое содержание районирования заменяется лесоводственным.

Таблица 10. Климаты зональных экотопов (по Д.Воробьеву, 1961)

Тепловой индекс климата	Т – сумма положительных месячных температур	Индекс увлажнения климата	Гидротермический коэффициент $W = R/T \ 0,0286 \ T$
а	24–44° холодный боровой	–3	–6–(–5) ультрасухой
в	44–64° относительно холодный (суборовый)	–2	–5–(–3,6) крайне сухой
с	64–84° прохладный (сугрудковый)	–1	–3,6–(–2,2) особо сухой
д	84–104° умеренный (грудовой)	0	–2,2–(–8) очень сухой
е	104–124° относительно теплый (степной)	1	–0,8–0,6 сухой

Тепловой индекс климата	Т – сумма положительных месячных температур	Индекс увлажнения климата	Гидротермический коэффициент $W = R/T \ 0,0286 \ T$
f	124–144° теплый (сухо степной)	2	0,6–2,0 свежий
g	144–164° относительно жаркий (полупустынный)	3	2,0–3,4 влажный
h	164–184° жаркий пустынный (пустынный)	4	3,4–4,8 сырой
		5	4,8–6,2 мокрый

Дифференциация лесных территорий осуществлена по градиентам теплообеспеченности и увлажнения. При классификации типов климата в качестве показателя тепла принимается теплообеспеченность (Т) – сумма положительных среднемесячных температур воздуха, качестве показателя увлажнения гидротермический коэффициент (W) – $R/T \ 0,0286 \ T$, где R – сумма осадков за теплый период года.

Ученый делит территорию СССР на 20 климатических областей с характерными соотношениями показателей теплообеспеченности и увлажнения. Теплообеспеченность дифференцируется с шагом в 20°, ряд влагообеспеченности – величиной 1,4 W.

Принципы лесорастительного районирования, разработанные Д. Воробьевым, были использованы при лесоклиматическом районировании европейской части СССР, а затем – Западной Сибири (Лавриненко, 1965, 1978), территории Крыма и Большого Кавказа (Посохов, 1972; Хмаладзе, 1976). Наибольшую популярность получило районирование европейской части СССР.

В основу районирования взята дифференциация климата по теплообеспеченности и континентальности. Ученый на основании показателей на (Т и W) дал количественное подтверждение существующим в природе взаимосвязям. На территории европейской части СССР он выявил восемь термотопов и четыре контрастотопы. Построенные ряды термотопов и контрастотопов положены в основу установления границ тепловых зон и зон континентальности, образовавшим 28 климатопов – лесоклиматических (лесорастительных) районов.

Термотопы:

á – крайне холодный климат: Т 25–35°, зона тундры практически нелесопригодна;

β – холодный климат: Т 35–45°, лесотундра (зона с климатом сырого бора);

ν – относительно холодный климат: Т 45–60°; подзона северной тайги (зона с климатом сырой субори);

δ – относительно умеренный климат: Т 60–75°; подзона средней тайги (зона с климатом сырого сугрудка);

ε – умеренный климат: Т 75–90 °, на западе только подзона южной тайги восточнее – также подзона широколиственных лесов (зона с климатом влажного сугрудка и влажного гряда);

ξ – относительно теплый климат: Т 90–105°, на западе подзона широколиственных лесов и лесостепь (зона с климатом на западе влажного и свежего гряда, на востоке – свежего гряда);

η – теплый климат: Т 105–125°: степь (зон с климатом очень сухого гряда);

θ – весьма теплый климат: Т 125–145°; сухая степь и полупустыня (зона с климатом очень сухого гряда).

Контрастотопы:

I – относительно мягкий климат: А 20–25°, запад европейской части СССР в соответствующих термотопах дуба и граба;

II – относительно континентальный климат: А 26–32°; центр европейской части СССР;

III – континентальный климат: А –32–36°, восток европейской части СССР: характеризуется появлением сибирских видов хвойных пород и исчезновением ясеня.

IV – резко континентальный климат: А 36–40°; крайний восток (Приуралье) европейской части СССР; характеризуется преобладанием в лесах сибирских видов хвойных пород и исчезновением дуба.

Каждый из рядов контрастотопов включает несколько климатопов. Например в ряду относительно мягкого климата выделены 8 климатопов (цитируется по Д.Д. Лавриненко, 1977). Климатоп 1á (районы относительно мягкого холодного климата) занимает очень малую территорию – узкую полосу тундры на Кольском полуострове. Климатоп 1β – (район относительно мягкого холодного климата расположен в лесотундре на Кольском полуострове). Древесная растительность представлена березовыми криво-лесьями, еловыми и сосновыми редколесьями. Климатические показатели областей были обозначены ученым как «лесные климаты». Шифр типа климата зонального эдатопа складывается из цифры, символизирующей климат гидротопы или зону влажности и строчной буквы климата (трофотопы)

или термической зоны. За – климат влажного бора или влажный холодный; 2d – климат свежего груды или свежий умеренно холодный. Северная граница борового холодного климата совпадает с границей между тундрой и лесотундрой. Для лесной зоны характерны влажные и сырые климаты, для лесостепи – свежие, для черноземной степи – сухие. Каждый тип лесного эдатопа включает несколько типов леса с присущими им разновидностями климата. Климатоп 1v (район относительно мягкого, относительно холодного климата) занимает подзону северной тайги в лесной зоне Кольско-Карельской провинции. Преобладают сосновые и частично еловые леса низких бонитетов (сосна обыкновенная, лапландская, ель европейская, береза, осина). И так далее.

Позднее, используя установленные Воробьевым связи показателей континентальности и теплообеспеченности, Д.Д. Лавриненко, (1977) построил классификацию климата в координатах теплоты и континентальности. Получаемые на пересечении этих градиентов трофотопы характеризовались кроме более узких показателей теплообеспеченности и увлажнения, значениями показателей континентальности. Критерием при разделении трофотопов взято кроме прочего также выпадение из состава типичных насаждений одной – двух лесообразующих пород или изменение продуктивности древостоя на 1 класс бонитета (рис. 22).

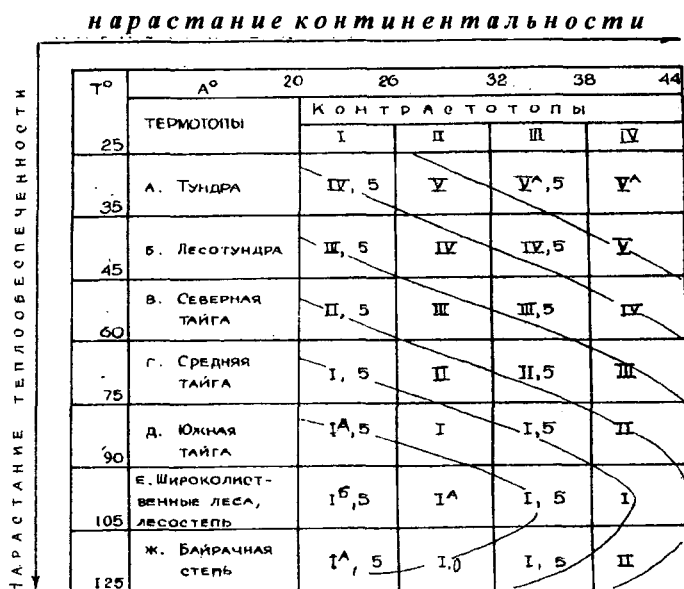


Рис. 22. Климатическая сетка Русской равнины с ареалами зональных бонитетов сосны (по Д.Д. Лавриненко)

Лесоводов, лесных экологов давно привлекает попытки выявления закономерных связей между показателями лесной растительности и доступными для надежного определения показателями климата. Много сделано в этом направлении климатологами. Существует несколько комплексных показателей измерения (оценки) зависимости свойств леса от температуры и влаги. Широко известны гидротермические коэффициенты Алисова, Шашко, Будыко, Иванова, Селянинова). Коэффициенты (критерии) подобного рода в разной форме или в разном соотношении отражают связи интегральных свойств территорий с главными показателями климата (теплообеспеченностью и увлажнением).

Критерии оценки лесных климатов

В лесоведении отработано много критериев дифференциации климата, некоторые из них освоены лесоводственной практикой.

1. Критерий Патерсона (шведский лесовод):

$$CVP=TP_1GE/T_1 \cdot 12 \cdot 200$$

G – продолжительность периода, с $t > 7^\circ \text{C}$. E – радиационный коэффициент (отношение радиации в данном месте к радиации на полюсе) в %.

2. Критерий Майера. Согласно исследованиям лес распространен крупными массивами на территориях, где средняя t за 4 месяца (май-август) превышает 10° , относительная влажность не менее 50 %, Σ осадков – не ниже 50 мм.

3. Коэффициент Л.А. Иванова

$$K=R/F \cdot 100$$

K – коэффициент продуктивности леса; R – Σ осадков, F – испарение.

4. Гидротермический коэффициент Г.Т.Селянинова

$$K = R \cdot 100 / \Sigma t$$

R – сумма осадков в мм за период с $t > 10^\circ$; Σ – сумма температур за тот же период в градусах; граница степи $\sim K = 1,0$; коэффициент увлажнения тайги 1,73.

Оптимальные условия для разведения леса складываются при коэффициенте $\sim 1,0$. При коэффициенте менее 1,0 – дефицит влаги, $> 1,0$ – о недостатке тепла и избытке влаги.

5. Радиационный индекс сухости М.И. Будыко.

Коэффициент характеризует соотношения радиационного баланса и Σ осадков (за год или за вегетационный период) и выражает количество тепла, необходимого для полного их испарения. Оптимальный для леса диапазон радиационного баланса 0,8–1,2. При индексе менее 1,0 – отмечаются излишки влаги и недостаток тепла; больше 1,0 – излишек тепла и засушливость (дефицит влаги).

По Уралу (северная тайга 0,56–0,60; средняя тайга 0,60–0,75; южная тайга 0,75–0,85).

6. Формула Л.И. Иванова

$$M = i P T - a P_1 T_1.$$

i – индекс фотосинтеза, a – индекс дыхания; P – листовая поверхность; M – масса растительности (участвующая в дыхании); T – время фотосинтеза; T_1 – время дыхания; i , a , T , T_1 – показатели, тесно связанные с теплом.

Весьма важно, что ни один из критериев в представленных моделях не раскрывает физической природы тесноты связей между теплом, влагой и приростом древесины, уровнем функционирования БГЦ. Некоторые из показателей представляют собой образчики чисто умозрительных абстрагированных логистических построений. Подкупает простота оперирования метеорологической информацией. Так или иначе приведенные модели прекрасно служат в аграрном секторе и помогают практическому лесоводству. Коэффициенты Селянинова и Индекс сухости Будыко давно востребованы лесной пирологией и районированием лесных земель.

В принципе рассматриваемые критерии связаны с многими параметрами лесного покрова: лесистость, тип лесной растительности, класс бинитета, полнота и др. средние таксационные показатели (прирост, ср. M , H , D). Это позволяет использовать климатические показатели для лесорастительного районирования. При этом чаще всего кроме климатических характеристики лесов используют ряд показателей лесного покрова (свойств лесов). При лесорастительном районировании территорий выделяют следующие категории: природные зоны, подзоны, области (сектора) провинции, округа, районы.

При установлении границ природных зон, подзон используют Σ положительных $t^\circ C$; Σ эффективных $t^\circ C$, Σ осадков и гидролитические коэффициенты.

Помимо зональных закономерностей климата в распространении лесов имеют значение некоторые аazonальные его явления. В ряде районов

Сибири на характер лесов оказывают влияние дефицит осадков в весенне-летний период, периоды засух, возврат холодов в раннелетний период. Во многих районах Сибири на лес оказывает влияние вечная мерзлота. Роль последней проявляется в разной доступности почвенного потенциала для растений вследствие различий в мощности и продолжительности оттаивающего слоя почвы (талика).

Древесная растительность является хорошим рецептором климатических условий, четко отзывается на все факторы не только хорошим индикатором климатических условий, но также служит своеобразным самописцем-регистратором. Существует наука дендроклиматохронология – занимающаяся установлением связи радиального прироста с показателями климата, а также с датированием различных событий по известным закономерностям роста деревьев.

В росте древесных пород, в формировании годичного кольца деревьев отмечается определенная цикличность, связанная с цикличностью климата. Выделяют циклы с разной периодичностью. В Восточном Зауралье хорошо проявляются циклы 80; 31; 11,4; 4,6; 2,7 – летние. Безусловно, с цикличностью климата связана эволюционно приобретенная периодичность урожая семян древесных пород.

5. ЛЕС И КЛИМАТ

«... Знания, которыми не располагали древние, были весьма обширны...»

Марк Твен

Составляющие климата

Лесная растительность, являясь в большой мере производной от климата, сама оказывает большое влияние на климат окружающих пространств и на лесорастительные условия местообитаний. На огромных пространствах циркулярного пояса леса выступают как зональный тип растительности, в большой мере определяющий геофизический фон территорий.

Основными составляющими климатической системы планеты, как известно, являются: атмосфера, гидросфера и экосистема суши. Именно в такой последовательности убывания значимости влияния на климат выстраиваются указанные элементы системы. Обусловлен этот ряд снижением мобильности трансформации энергии в этом ряду. Самой мобильной является атмосфера, точнее – тропосфера – нижние 10–15 тысяч метров воздушной оболочки Земли.

Определяющего влияния этой сферы на климат планеты обусловлено исключительно высокой мобильностью вещества и энергии тропосферы и ее свойств. Вот почему тропосфера формирует климатические характеристики в масштабе недель, суток и часов. По-существу, нижняя оболочка атмосферы определяет лишь текущие погодные условия. На втором месте оказывается мировой океан, представляющий гидросферу планеты. Система океана по сравнению с атмосферой менее мобильна и потому ее роль сводится к определяющему влиянию на климатические характеристики в масштабе месяцев, сезонов года, лет, десятилетий.

Экосистема суши во влиянии на климат замыкает ряд климатообразующих подсистем планеты. Однако в силу выраженной специфики ее параметров и свойств, этот компонент по праву входит в общую климатообразующую систему, как активная составляющая. Функционально роль суши в определении климата по мнению климатологов сводится прежде всего к влиянию на отражательно-поглощательную ее способность по отношению к потоку солнечной энергии. В этом аспекте поверхность планеты разделяется на две части: ледники и растительный покров. С ледовым покровом ничто не может соревноваться в части отражательной способности. Альбеда этой составляющей (так называемой криозоны) оценивают в 90–95 %.

Экосистемы суши характеризуются высокой способностью поглощать солнечную энергию. Причем наибольшей поглощающей способностью среди экосистем суши отличается лесной покров. Альbedo лесного покрова обобщенно изменяется в интервале 10–20%. Поглощительная способность лесов существенно выше, чем степей, тундр и других безлесных пространств суши. И это обстоятельство имеет важное значение в определении соотношения климатических факторов. Вторая сторона участия экосистем суши в формировании климата связана с их способностью масштабно аккумулировать энергию. Эту часть представляет растительный покров, способный воспринимать энергию Солнца и трансформировать ее в режимах биологических круговоротов биосферы, со способностью синтезировать живое вещество.

В силу известных географических закономерностей поступление солнечной энергии к поверхности планеты оказывается весьма неравномерным. Поэтому масса живого вещества на единице поверхности суши в реальном времени изменяется в очень широких пределах: примерно от 26 до 2300 центнеров на гектаре. Присутствие на единице площади местообитания той или иной массы живого вещества, в основном определяет параметры энергетических процессов сообществ лесной растительности. Таким образом, синтезированное сообществом растительности живое вещество трансформирует параметры окружающей среды. Наиболее выражено это явление в нижних слоях тропосферы, в полосе контакта организмов с внешней окружающей средой.

Леса произрастают на планете в условиях разных радиационных режимов, что определяет их исключительное разнообразие. С позиций климатологии это разнообразие обусловлено географически изменяющимися параметрами высоты стояния Солнца, состоянием физических параметров тропосферы, характером облачности. На свойства леса оказывают влияние географическое положение, условия рельефа, тип погоды, состояние подстилающей поверхности. Однако в большинстве случаев определяющее значение приобретает влияние лесного покрова на комплекс абиотических факторов, на совокупность микроклиматических условий местообитаний. Эта сторона рассматриваемых явлений, т.е. обусловленность климатических факторов местообитаний структурой лесной растительности может быть прослежена на разных уровнях: глобальном, континентальном (региональном) и локальном (местном).

Влияние лесов на глобальный климат проявляется прежде всего через главную экосферную функцию лесной растительности - через актив-

ное ее участие в углекислотно-кислородном круговороте биосферы. Известно, что стабильность климата в планетарном масштабе определяется устойчивостью состава атмосферы, главным образом присутствием в ней CO_2 , сложившегося эволюционно. Всякое нарушение этой стабильности чревато изменениями главной составляющей природной среды - потоков углерода в системе атмосфера-океан-растительность.

Ежегодное поглощение углекислоты лесной растительностью планеты оценивается 45–50 млрд. тонн, выделение кислорода — 35–40 млрд. тонн. С такой способностью по отношению к важнейшему показателю климата (содержанию в тропосфере углекислоты) с лесом не может сравниться ни один другой из типов экосистем. Экосистема океана, находящаяся на втором месте после лесного покрова суши, способна поглощать из тропосферы только 20–25 млрд. тонн углекислоты.

Существенно, что как в большом, так и в малом – биологическом круговоротах углерода существуют так называемые резервные фонды. Постоянно из круговорота изымается часть вещества. В океане углекислота связывается химически и биохимически с образованием на дне осадков карбонатных горных пород. На суше часть углерода, идущая через живое вещество, «консервируется» в растениях, в торфе развивающихся болот, в растительном опаде, а также в гумусе почв. Понятно, что на суше наиболее деятельное и активное участие в этом принимают леса, покрывающие около трети ее площади.

За исторический период эволюционно сложившиеся в биосфере круговороты углерода изменились. Появился новый поток С в атмосферу – за счет сжигания ископаемого топлива. Этот поток вносит все более ощутимый дисбаланс и влечет за собой такое явление, как глобальное потепление (через парниковый эффект). Высказывается мнение, что наиболее эффективным средством «откачки» С из атмосферы является лесная растительность. Кроме того, лес сорбирует из атмосферы пыль и этим также снижает парниковый эффект. Наибольший вклад в сдерживание глобальных изменений климата вносят тропические и бореальные леса.

Роль лесов в регулировании содержания углекислоты атмосферы и в выведении значительной ее части из глобального круговорота посредством своеобразного консервирования углерода лесными экосистемами, можно продемонстрировать на примере лесов Архангельской области (Цветков, Сурина, 2003). Общая площадь лесов области 29,0 млн. га, лесопокрытая – 20, млн. га. Общая фитомасса на этих землях 1303 млн. тонн а.с.в. В фитоценозах покрытых лесом площадей сосредоточено 564 млн. т. углерода. В

лесной подстилке и почве лесопокрытых лесом территорий накоплено 1307 млн. т. Общая масса углерода на покрытых лесом площадях составляла 1871 млн. т.

Фитомасса на непокрытых лесом площадях (вырубки, гари, не сомкнувшиеся лесные культуры, редины, пустыри и т.п.) без малого 60 млн. т. Масса депонированного здесь углерода около 30 млн.т. Общая масса сосредоточенного на лесных землях области углерода 1901 млн. тонн. Болотные экосистемы на пространствах материковой части области накопили 10899 млн. т. органики в виде торфа, в составе которого 5449 млн. т. углерода. И общая масса депонированного в экосистемах лесного фонда области углерода 7350 млн. тонн.

Ежегодное поступление С в фонд накопления его в лесах области оценивается примерно в 9,1 млн. тонн. При этом леса выделяют в атмосферу примерно 7,8 млн. т. кислорода. Поступление С в леса происходит за счет функционирования существующей лесной растительности. При этом большой вклад дают производные средневозрастные и приспевающие продуктивные насаждения с преобладанием лиственных пород.

Невелик, а возможно даже отрицателен вклад в баланс депонированного углерода экосистем болот. Эти экосистемы характеризуются флюктуирующей приблизительной сбалансированностью поглощения и стока углерода. Исключение составляют осушенные заболоченные земли, где продолжается активная минерализация торфа, вследствие чего они служат источниками интенсивного стока углерода.

«Выдох» углерода природным комплексом на землях лесного фонда области по расчетам превышает его накопление в резервном фонде на 2,63 млн. тонн в год. Связано это с регулярным выносом углерода с заготовляемой древесиной преобладанием на покрытых лесом площадях низкопродуктивных перестойных насаждений заболоченных местообитаний, где дыхание живого вещества, деструкция мортмассы, минерализация торфянистых подстилок в сумме превышают массу поглощения CO_2 при фотосинтезе.

Не исключено, что выполненные расчеты баланса углерода недостаточно точны. Известна невысокая достоверность определения запасов фитомассы на пространствах таежных лесов. Неизбежны некоторые допущения при расчетах отдельных статей накопления углерода в фитоценозах, в почвенных толщах. Тем не менее, представленные данные, несмотря на мизерность выявленного негатива, не могут остаться без внимания эколо-

гов. Выравнивание накопления углерода в лесах со стоком его в атмосферу – явный признак вероятного экологического неблагополучия в регионе.

В складывающихся реалиях изменений глобального изменения климата будущее баланса углерода на лесных землях Европейского Севера остается непредсказуемым. На повышение депонирующей слагающей баланса углерода на лесных землях будут работать по-прежнему увеличение площадей производных молодых лесов, небольшое повышение утилизации отходов лесопользования, повышение продуктивности лесов при потеплении климата. Увеличению же стока С будут способствовать усиление дыхания болотными экосистемами и заболоченными низкопродуктивными лесами при глобальном потеплении, сохранение высокой доли перестойных низкопродуктивных лесов, сохранение загрязнения окружающей среды увеличивающиеся темпы минерализации осушенных торфяных (более 300 тыс. га). Сопоставить на более высоком уровне достоверности приходную и расходную части рассматриваемого баланса сегодня не представляется возможным. Многие вопросы здесь пока остаются без ответа.

Сложившаяся на рубеже столетий во многих районах таежной зоны экологическая обстановка свидетельствует об активизации биосферных процессов, однозначно показывающих на глобальное потепление. К сожалению оправдываются предупреждения экологов, указывающих на неизбежность этого явления задолго до его появления.

Существует несколько сценариев вероятного глобального изменения климата. Наиболее популярен сценарий М.И. Будыко (1984). По этому сценарию в конце первой четверти XXI столетия следует ожидать повышение t° планеты (верхний слой тропосферы) на $1,5^{\circ}\text{C}$, а в последней четверти – на $2,8\text{--}5,2^{\circ}\text{C}$. Повышение температуры повлечет за собой существенные изменения всего природного комплекса. Увеличится сумма осадков, возрастет неустойчивость атмосферной циркуляции. Вследствие таяния ледников, вечной мерзлоты надо ожидать повышения уровня мирового океана. Эпицентр потепления по большинству сценариев глобального изменения климата придется на Европейский Север.

Глобальное потепление вызовет изменение лесного покрова. Вследствие ухудшения лесорастительных условий в зоне дефицита влаги и повышения уровня грунтовых вод сократится общая площадь лесов ($\sim 6\%$). На европейском Севере вероятно сокращение лесов до 30% площади (за счет заболачивания и образования водных систем). Наряду с этим прогнозируется увеличение площади лесов тропической зоны (в южном полушарии).

Вместе с тем, создадутся условия для продвижения лесов на Север – в высокие широты. Представляет интерес прогноз ожидаемых изменений, выполненный Н.И.Казимировым по европейской части России. Ученым подчеркнута вероятность радикальных изменений природы лесов северных территорий (по современным критериям). Ожидается смещение границ природных зон (подзон). При потеплении на 1°С запасы фитомассы лесотундровых криволесий и редколесий возрастут на 48%, площадь этих формаций на пространствах теперешнего их положения увеличится вдвое. В северотаежной зоне тайги продуктивность увеличится на 33 % в средней подзоне – на 19 %.

К сожалению, многие вопросы изменения природных условий при глобальном изменении климата остаются сегодня не предсказуемыми. Слишком мало человек знает об этом катаклизме. Среди таковых: последствия изменений в активности микробиологических составляющих экосистем; изменений в горимости лесов; в поведении некоторых массово размножающихся насекомых, прежде всего – представителей мира вредителей леса.

Казалось бы, человеку на руку происходящее потепление климата. Россияне знают цену этого блага. Однако не все так просто. Прежние мерки сегодня требуют переосмысления. С потеплением неизбежно произойдут мало прогнозируемые серьезные изменения в природе, которые могут перечеркнуть все позитивное. Самое существенное: за счет таяния льдов произойдет повышение уровня моря, большие территории приморских низменностей уйдут под воду. Резко возрастет изменчивость погодных условий, увеличится сумма осадков. Станут регулярными мощные торнадо и смерчи, учащаются штормовые ветры.

Не вызывает сомнения, что наиболее действенным средством предотвращения глобальных изменений климата с его во многом непредсказуемыми последствиями остается повышение деятельного функционирования лесов. То есть, независимо от того, откачивают ли леса из атмосферы техногенную углекислоту, человечеству потребуется принимать действенные меры по вовлечению лесов в предотвращение парникового эффекта. Нужны меры по увеличению лесистости, по повышению продукционных возможностей лесного покрова. Кстати, реальными возможностями расширения лесистости лесных экосистем располагают только Канада и Россия.

На региональном уровне влияние леса на климат весьма значимо, хотя также, как и с глобальной стороной проблемы, цена явления челове-

ком остается не осознанной. Механизм влияния леса на климат на региональном уровне совершенно иного свойства. Первостепенное значение имеет влияние лесного покрова регионов на такие климатообразующие факторы как циркуляционные процессы атмосферы, трансформация параметров и свойств воздушных фронтов, проходящих над лесными пространствами.

Убедительным примером может служить полоса притундровых лесов, выделенная в СССР по северному «фасаду» Евразии в 1959 году по предложению науки. Точное название этой категории земель лесного фонда – «полоса притундровых лесов климатозащитного назначения». Эта полоса шириной от 50 до 200 км выполняет роль своеобразного форпоста на пути поступающих из Арктики холодных фронтов.

Массы арктического воздуха, переносимые в южном направлении, приходят на континент в условиях «малой коротковолновой радиации», т.е. с большой долей рассеянной составляющей и поэтому имеют определяющее влияние на синоптическую обстановку территорий. Встречаясь с лесной территорией, фронты арктического воздуха теряют скорость. Монолитный фронт дробится: вместо одного массивного возникает несколько мелких. Холодная масса фронта приподнимается над поверхностью земли. Возникают турбулентные явления – завихрения разного масштаба, разрушающие массивные фронты.

Мощность, направления и скорости атмосферных потоков воздушных фронтов, устремляющихся на Европейскую равнину, зависят от состояния воздушных масс над материком, которые в свою очередь связаны с состоянием лесного покрова континента. Наиболее значимые изменения в тепловых и влажностных характеристиках на европейском Севере России происходят в воздушных фронтах, следующих через Баренцево и через Норвежское море. Здесь сказывается влияние Атлантики. Леса Урала служат прямой защитой Европейских равнин от сурового климата Сибири. Они сдерживают распространение на запад зимних антициклонов и предотвращают резкие и сильные похолодания. Известно, что большое влияние лесная растительность оказывает на климат аридной зоны – зоны недостатка влаги.

Таковы упрощенные представления о климатозащитной роли влияния притундровых лесов на региональный климат Европейского Севера. По-видимому в действительности природа климаторегулирующей роли лесного покрова Крайнего Севера и бореальных лесов значительно сложнее. Во всяком случае, это не только механическое препятствие на пути

холодных фронтов из Арктики. Существо явления, по-видимому, в мощной трансформирующей роли лесной растительности по отношению к воздушным фронтам, представляющим циркуляционные процессы в тропосфере, в изменении гидротермических, химических и физических свойств воздушных фронтов. Воздушные массы над лесом насыщаются влагой, ионизированным кислородом, прогреваются, т.е. существенно изменяются.

Отдельную сторону влияния лесов на климат европейской части России представляет опосредованное действие их через формирование речного стока в Баренцево, Карское и Белое моря, выполняющих роль «кухни погоды» не только для России, но и сопредельных стран. Сток Печоры, Мезени, С. Двины и Онеги, множества малых рек формируется на лесных землях. Воды эти мало минерализованы но содержат много органики. Все это в определенной мере влияет на ледовую обстановку северных морей.

Исследования Института Арктики и Атлантики под руководством А.Ф. Трешникова показали, что пресные воды северных рек разбавляют морские и оказывают влияние на распространение тепловых условий на течения, в акваториях морей. Увеличение стока в летнее время за счет повышенной лесистости по-видимому препятствует приближению поясов паковых льдов к континенту. С ледовой обстановкой в северных морях, со степенью разбавления их речными водами связана активность и мощь атлантических, арктических и скандинавских циклонов, проходящих над пространствами Европейского Севера России. Это еще одно свидетельство единства природных процессов и связи региональных явлений с глобальными.

Среди свидетельств благотворного влияния лесной растительности на региональный климат большое место занимают многочисленные публикации по работам в области степного лесоразведения, начало которым было положено трудами Г.Н. Высоцкого. Роль лесов в улучшении климата ландшафтов южных районов России, в особенности лесостепи, общеизвестна. Автор считает излишним уделять время рассмотрению этой стороны проблемы, требующей к стати специфических подходов и введения дополнительных критериев при рассмотрении фактов.

Примерами влияния леса на региональный климат могут служить также известные результаты исследований о связи сумм осадков с лесистостью территорий (В.В. Рахманов, А.И. Субботин, А.А. Молчанов, С.Ф. Федоров и другие – на европейской части страны; А.В. Лебедев, В.В. Протопопов, М.В. Горбатенко – в Сибири). Имеет смысл в этой связи познако-

миться с результатами многолетних исследований В.В. Рахманова (1962, 1984).

Ученым проанализированы обширные материалы (свыше 200 метеостанций) по трем, сопоставимым по многим обобщенным показателям гидроклиматических и метеорологических условий районам (Московский, Кировский, Куйбышевский). Результаты этого обстоятельного анализа приводим в табл. 11.

Таблица 11. Изменение количества осадков в зависимости от лесистости в 1945–1950 г. (по В.В. Рахманову, 1962)

Показатели	Лесистость, %				
	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Московский район					
Количество метеостанций	13	30	19	9	–
Годовая сумма осадков, мм	468	518	534	541	–
Сумма осадков за теплый период (апрель–март), мм	368	402	404	419	–
Сумма осадков за холодный период (ноябрь–март), мм	120	130	139	138	–
Кировский район					
Количество метеостанций	18	33	17	10	11
Годовая сумма осадков, мм	486	497	515	537	544
Сумма осадков за теплый период (апрель–март), мм	378	378	390	406	413
Сумма осадков за холодный период (ноябрь–март), мм	108	109	122	144	128
Куйбышевский район					
Количество метеостанций	21	13	–	–	–
Годовая сумма осадков, мм	413	440	–	–	–
Сумма осадков за теплый период (апрель–март), мм	320	326	–	–	–
Сумма осадков за холодный период (ноябрь–март), мм	92	107	–	–	–

Принимая во внимание известную невысокую достоверность подобных исследований (А.Д. Дубах, П.Ф. Идзон, А.И. Субботин, А.Г. Булавоко, Н.А. Воронков др.), к материалам, представленным В.В. Рахмановым, приходится относиться с известной осторожностью. Н.А. Воронков (1988), вообще, считает их сомнительными. Так или иначе, знакомство с данными Рахманова представляет интерес не только с чисто иллюстративными целями. Достойны обсуждения прежде всего данные по Московскому и Кировскому районам. Здесь положительного вида связь сумм и структур го-

довых осадков с лесистостью выглядит достаточно убедительной. Связь прослеживается как за теплый, так и за холодный периоды наблюдений.

Основываясь на данных цитируемых выше авторов, А.В. Побединский (1979) приходит к выводу, что в лесостепных районах Европейской части России увеличение лесистости на 10 % обеспечивает увеличение суммы осадков на 5 мм. В Средней Сибири увеличение лесистости на 10 % обеспечивает повышение суммы осадков на 3–4 %, т.е. практически в два раза, по сравнению с объектами Европейской части России. По мнению ученого увеличение осадков под влиянием леса обусловлено тем, что лес, создавая дополнительную шероховатость поверхности, замедляет движение и воздушных фронтов и вызывает вертикальные токи – турбулентные явления. При этом происходит понижение температуры, способствующее выпадению осадков.

Подобным же образом, к числу свидетельств о влиянии лесов на региональный климат можно отнести многочисленные данные о влиянии леса на суммарный сток в масштабах крупных водосборных бассейнов. Хотя результаты связей количественных и качественных параметров лесных экосистем с показателями регионального климата остаются дискуссионным, факт влияния леса на климат районов зоны умеренного климата учеными не оспаривается.

Наиболее рельефно влияние леса на климатические условия проявляется на локальном уровне, т.е. во влиянии его на местный климат. Об изменениях в тепловых и влажностных условиях под влиянием леса на локальном уровне очень много популярной литературы. Масштабное воздействие лесного покрова на климатические составляющие конкретных местообитаний, географических урочищ, элементов ландшафтов уместно рассматривать на примерах влияния его на тепловой, радиационный и влажностный режимы метеоусловий конкретных местообитаний (см. разделы 6,7).

Многочисленные исследования лесоводов, экологов и климатологов показывают на наличие существенных различий в тепловом, световом и влажностном режимах приземных слоев воздуха и почвы между участками в присутствии лесной растительности. Присутствие в ландшафте лесных насаждений обуславливает различия в климате между лесными и не лесными участками, которые оказываются более выраженными на местном уровне.

Факторами, определяющими различия в мезоклимате (в климате местностей) выступают, с одной стороны неустойчивость радиационной и

циркуляционной составляющих климатообразующих условий пространств, с другой – различия в характере трансформации основных составляющих радиационного режима, складывающегося на входе радиации в экосистемы. Г_е и другие наиболее выраженными и действенными оказываются как раз на уровне местообитаний и урочищ.

Различия в радиационном и циркуляционном режимах климата на местном уровне в бореальной зоне связаны, с одной стороны – с невысокой высотой стояния солнца, с другой – с повышенной облачностью, обусловленной активной циклонической деятельностью и устойчивым западным переносом насыщенных влагой воздушных масс с Атлантики. Невысокое положение солнца и повышенная облачность обуславливают понижение в радиационном потоке прямых и увеличение рассеянных лучей, что снижает приход тепла.

Высокая изменчивость поступления тепловой энергии в экосистемы в основном обусловлена различиями в характере растительного покрова местообитаний, в наличии, в свойствах и структуре лесных БГЦ. Различия прослеживаются по всему спектру климатических условий. Характерной особенностью при этом остается выраженная мозаичность проявления и погодичные колебания метеоусловий, обусловленные, с одной стороны, неоднородностью структуры лесного покрова, с другой – изменчивостью метеорологических ситуаций, используемых для оценки климата на местном (локальном) уровне.

Известно, что далеко не вся солнечная радиация доходит до подстилающей поверхности земли. Довольно значительная часть ее отражается физически от поверхности земли, от растительности, от поверхности водоемов. Альbedo чистого снега около 90 %, вспаханного чернозема не более 5 %. По данным А.А. Молчанова (1961) альbedo тундры, болот, зеленомошной тайги оцениваются в среднем 14 %, смешанных лесов – 16, лиственных – 18 %. Степи отражают примерно 20 %, пустыни – 30 %.

Как ни один из многих других климатоопределяющих факторов, поток солнечной радиации в лес зависит прямо от структуры насаждения, от состава пород, возраста, полноты и сомкнутости, возрастной структуры яруса эдификаторов. Поэтому изменение режимов освещенности и соотношения потоков прямой и рассеянной энергии в лесные сообщества в сезонном и суточном ритмах, спектральный состав поступающей в лесные экосистемы радиации будут лучшим образом отражать роль леса в формировании локального (местного) климата. Фитоклимат насаждения во мно-

гом будет определяться характером поступления энергии по профилю полог (рис. 23).

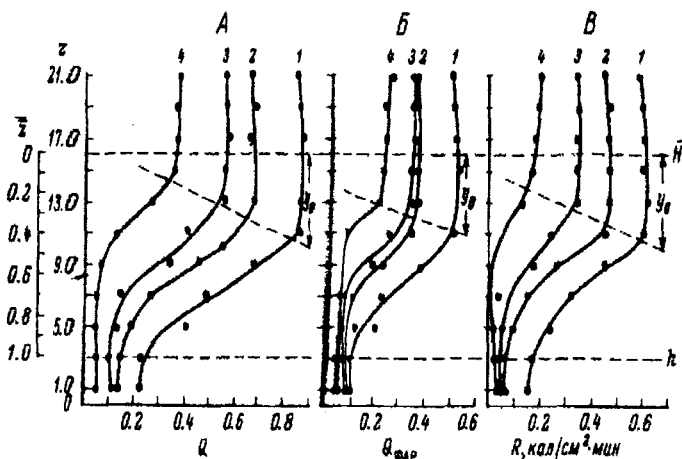


Рис. 23. Вертикальные профили радиационных потоков в ельнике: А – суммарная радиация; Б – ФАР; В – Радиационный баланс. Высота Солнца: 1 – 40–50°; 2 – 30–40°; 3 – 20–30°; 4 – менее 20°. H, h – верхняя и нижняя границы крон (Галенко, 1983)

В таежных лесах на Восточно-Европейской равнине в сезонном ритме максимум прихода солнечной радиации отмечается при ясной погоде в июне, минимум – в зимние месяцы (январь–февраль). В пасмурную погоду наступление максимума запаздывает. В бесснежный период кульминация поступления радиации с мая по июль смещается в сторону запаздывания относительно 12 часов астрономического полудня. С истинным полднем (12 ч 45 минут) максимальное поступление радиации в условиях Республики Коми совпадает только в июне.

В разных пунктах пространства Русской Равнины (Будыко, Ефимова, 1968; Раунер, 1972; Руднев, 1977; Ефимова, 1977; Галенко, 1983) суточный приход солнечной радиации к верхней поверхности полог в вегетационный период различается довольно существенно: от 270–300 до 500–520 кал/см². В ясную погоду имеет место увеличение на 35–40, в пасмурную – понижение на 25–30 % от среднего. В средней подзоне тайги в Республике Коми среднесуточный поток солнечной радиации, поступающей к верхней части крон леса, при переменной погоде оценивается в мае 350, в июне–июле –

350–550, в августе – 170–350 кал/см². В ясную погоду этот поток увеличивается в июне – июле до 490–700, в августе – до 350–500 кал/см² в сутки.

Согласно сложившимся представлениям, баланс суммарной солнечной радиации, поступающей к лесному пологу, складывается из трех составляющих: отраженная пологом энергия, поглощенная фитоценозом и проникающая под полог (поступающая к поверхности почвы). Соотношение между составляющими весьма изменчиво и зависит от множества факторов. Оно изменяется в реальном времени, с возрастом древостоев и с изменением лесорастительных условий.

Существенное значение для определения количества и состава солнечной радиации, для формирования теплового и энергетического режимов лесных биогеоценозов, имеет отражательная способность полога насаждений, их альbedo. Обобщенно, безотносительно к формациям лесов, к их структуре средние значения альbedo леса, на 12–15 % выше, чем открытого участка (вырубки, луга).

При прочих равных этот показатель зависит от породного состава, сомкнутости полога насаждений и возраста древостоев. При прочих равных с повышением географической широты значения альbedo увеличиваются. В притундровой подзоне отражение радиации лесом выше, чем в северотаежных районах, в северной тайге – выше, чем в условиях южной тайги. Чем выше сомкнутость полога, чем сложнее вертикальная структура насаждений, тем выше изменчивость всех показателей светового режима, как в сезонном, так и в суточном ритмах, в хвойных меньше, чем в мелколиственных. Отражение солнечной радиации низкосомкнутыми насаждениями мало меняется в сезонных ритмах, в хвойных меньше, чем в мелколиственных.

На одной географической широте разница в отражательной способности насаждений увеличивается в зимнее время, когда на величину этого показателя оказывает влияние характер сложения снежного покрова (Алексеев, 1969). Вследствие большей отражательной способности лесного полога и значительного поглощения им солнечной радиации, воздух и почва на облесенных территориях прогреваются медленней, чем на открытых участках. Это уже негативный аспект. Надо учитывать при этом, что воздух под влиянием леса также медленней охлаждаются, как суточном, так и в сезонных ритмах. Кстати, в Сибири (Лесные экосистемы..., 2002), достоверных различий этого показателя в разных типах леса получить не удалось.

На микроклимат насаждения не может не оказывать влияние различия в величине отражения альbedo разных частей спектра. Отражение ле-

сом длинноволновой части солнечного пучка значительно выше. У насаждений лиственных пород в летнее время альbedo инфракрасной части спектра может достигать 70 %. Различия в альbedo хвойных и лиственных пород в разных частях спектра показан на рис. 24.

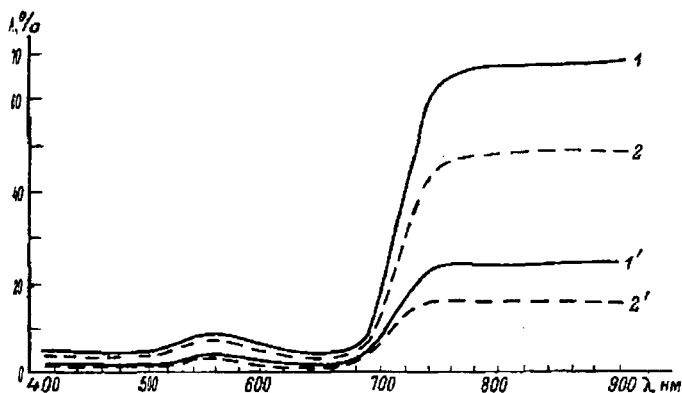


Рис. 24. Отражательная способность хвойных и лиственных насаждений в разных частях спектра: 1 и 1' — пределы по лиственным древостоям; 2 и 2' — пределы по хвойным лесам (по В. Алексееву, 1969)

Альbedo насаждений изменяется, как в сезонном так и в суточном ритмах. В снежный период альbedo таежных лесов сильно (в разы) увеличивается. Отражательная способность заснеженных древостоев в значительной степени зависит от количества состояния и распределения снежного покрова. Интегральное и видимое альbedo лесных насаждений, отражающие влияние высоты стояния солнца, спектрального распределения прямой рассеянной радиации, могут изменяться в течение суток 2–3 раза; летом меньше, чем зимой. Различия проявляются как в общей интегральной величине этого показателя обобщенно, так и в видимой части спектра.

Отражение солнечной радиации насаждениями зависит от спектральных характеристик листа, хвои, изменяющихся в течении вегетационного периода, от структуры, ярусности сообщества, форм и густоты крон, зависящих от биологии пород-лесообразователей. Изменение спектральной яркости растительности леса на примере сосняка при разных метеоусловиях по материалам В.А.Алексеев показано на рис. 25.

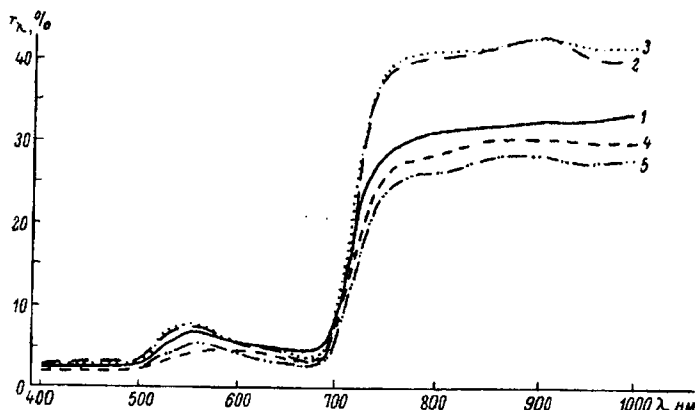


Рис. 25. Спектральная яркость кроны сосны при разной высоте стояния Солнца 1 – 28 VI, $h \odot 56^\circ$, 2 – 13 VII, $h \odot 44^\circ$, 3 – 22 VII, $h \odot 43^\circ$, 4 – 22 VII, $h \odot 46^\circ$, 5 – 24 VIII, $h \odot 46^\circ$ (по В.А. Алексееву, 1969)

Необходимо иметь в виду, что оптические характеристики фитоценозов, и в частности их отражательная способность отличаются от аналогичных показателей отдельно рассматриваемых свойств ассимиляционных органов (Алексеев, 1969). Исследования В.А. Алексеева (1969, 1975) и др. показывают зависимость альбедо насаждений от породного состава древостоев. Обобщенно в летний период отражение хвойных насаждений оцениваются 3–5 %, лиственных – 4–7 %. В инфракрасной части спектра различия между хвойными и лиственными лесами достигают 70 %, в более коротковолновой части спектра – остается значительно меньшими. Причины такого рода различий ученый видит, как в неодинаковых оптических характеристиках однолетних и многолетних ассимиляционных органов, так и в особенностях строения крон лиственных и хвойных насаждений. Наибольшее альбедо в видимой части спектра свойственно соснякам и лиственничникам лишайникового и сфагнового типов леса. В данном случае первопричиной является специфическая световая гамма кустистых лишайников и сфагновых мхов, а также низкие в обоих случаях полноты древостоев.

Исследования на Северном Кавказе (Коваль, Битюков, 2001) показали, что при прочих равных альбедо лесных биогеоценозов зависит от состояния лесной подстилки (взрыхленность, влажность), а также от соотношения прямой и солнечной радиации при разной облачности. В облачную погоду альбедо на 12–15 % выше, чем в ясные дни. Существенно, что в лесах Субтропиков изменчивость альбедо по площади насаждения ока-

зывается выше, чем варьирование значений суммарной радиации. Наибольших значений в летнее время альbedo достигает в окнах букового леса (42 %). Приход солнечной радиации в таких окнах в 4,3 раза больше, чем в среднем по насаждению. В суточном ритме альbedo в целом изменяется медленней, чем суммарная радиация.

В прямой зависимости от величины суммарной радиации, проникающей под полог леса, находится и радиация, отраженная почвой, лесной подстилкой. В лиственничниках Якутии по данным М.К. Гавриловой (1969) самым высоким альbedo (36–40 %) на освещенных местах обладают подлесок из шиповника, подмаренниковый ковер, покров из злаков, а в тени – бруснично-моховой покров (40 %), в полутени – моховой покров (16 %). А самым низким альbedo характеризовались огнища. Под полог лиственничников Якутии проникает только $3,7 \text{ ккал/см}^2\cdot\text{мин}$, а поглощается пологом $8,4 \text{ ккал/см}^2$, что составило 60 % радиации, приходящей к верхней границе полога и почти 70 % радиации, от проникшей в лес.

Сезонные (помесячные) усредненные изменения альbedo по лесам всех формаций на примере лесов Средней Сибири (Стаканов; «Лесные экосистемы...», 2002) представляют следующий ряд:

Февраль	март	апрель	май	июнь	июль	сентябрь
0,37–0,55	0,27–0,48	0,18–0,32	0,13–0,19	0,11–0,17	0,11–0,17	0,14–0,22

Самые высокие значения приходятся на снежный период, самые низкие – на июнь–июль, т.е. на период полного облиствения.

А.Н. Золотокрылиным (1975) в Подмоскowie установлено, что в суточном режиме альbedo соснового полога снижается от утренних часов к полуденным с 12 до 10 %, елового за это же время – с 8 до 7 %. При малооблачной погоде значения радиационного баланса на верхней границе полога сосняков несколько ниже, чем таких же показателей в ельниках. В облачную погоду вследствие вторичного рассеяния от облаков приход суммарной радиации над ельником на 5–10 % больше, чем над сосняками. Структура теплового баланса (LE/R) на верхней границе сосняка и ельника в Подмоскowie в среднем за вегетацию составляет, соответственно 0,57 и 0,63.

Известно, что в лесах умеренных широт (Руднев, 1977) количество коротковолновой радиации различно в насаждениях с разной структурой полога, в древостоях разного возраста, разной сомкнутости и густоты. Прямая радиация под пологом сосняков составляет 6–25 % от прямой радиации открытого места или 25–60 % от суммарной радиации. Самая высокая абсолютная величина прямой радиации ($0,88 \text{ ккал/см}^2\cdot\text{мин}$) отмечена в насаждении сосны старших возрастов при минимальной сомкнутости,

самая низкая ($0,02 \text{ кал/см}^2\cdot\text{мин}$) – в молодняке с самой высокой сомкнуто-стью полога. Количество суммарной радиации под пологом сосняков составляет 9,5–22,3 % от радиации, приходящей к верхнему пологу леса. Анализ радиационных условий в сосновых насаждениях показал: чем больше фактическая густота древостоя в любом возрасте, тем меньше суммарной радиации проникает под полог.

Представляется интересным проиллюстрировать роль структуры насаждений разных формаций в определении климата местообитаний (т.е. влияния леса на местный климат) на материалах Н.И. Руднева (1977). Ученым подтверждено, что функция пропускания в каждом насаждении представляет собой результирующую целого ряда признаков структуры насаждения, а также метеорологических и климатических условий. Представлены весьма убедительные свидетельства того, что способность насаждений распределять поступающую солнечную радиацию (на отражаемую, поглощаемую и пропускаемую) и определять температурный режим местообитания, оказывается неодинаковой. Имеет значение формация преобладающей пород, возраст, полнота и многие другие свойства структуры полога.

Доля радиации, достигающей поверхности почвы в лесном насаждении, во многом зависит от структуры фитомассы насаждения, от распределения ее по профилю полога, т.е. от характера изменений индекса листовой поверхности по биогоризонтам.

При одинаковой структуре полога имеют значение высота стояния солнца и облачность. В табл. 12 приведены изменения коэффициентов пропускания суммарной радиации с изменением высоты стояния солнца и по профилю полога с нарастанием значений листового индекса.

Наиболее энергично коэффициент пропускаемости вниз по профилю полога снижается в насаждениях клена и дуба. Самое глубокое проникновение радиации в полог насаждения выявлено в сомкнутом сосняке. Эти данные согласуются с величинами каждой из статей баланса солнечной радиации, приходящей к пологу насаждений. Но если связь проникающей к почве радиации с поглощенной пологом прямо пропорциональна, то с альбедо – связь обратного вида.

Связь характера распределения в пологе соснового и елового насаждений элементов теплового баланса со структурой листового индекса на примере средней подзоны тайги в республике Коми показана на рис. 26. В еловом насаждении, отличающемся большей плотностью листовой массы в средней части полога значения радиационного баланса и затрат на турбулентный обмен влагой в верхней части полога значительно выше, чем в сосняке.

Таблица 12. Ряды изменения коэффициентов пропускания солнечной радиации с нарастанием вниз по профилю полога древостоев разных пород индекса листовой поверхности с шагом $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$

L _(z)	Дуб			Сосна			Клен		Липа		Осина	
	>45°	30–40°	<30°	>45°	30–40°	<30°	>30°	<30°	>30°	<30°	>30°	<30°
0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,4	1,0
0,5	0,95	0,89	0,72	0,98	0,89	0,79	0,90	0,86	0,98	0,96	0,98	0,92
1,0	0,87	0,76	0,60	0,96	0,81	0,68	0,82	0,76	0,94	0,92	0,87	0,86
1,5	0,78	0,63	0,51	0,89	0,75	0,57	0,75	0,68	0,89	0,78	0,80	0,78
2,0	0,70	0,52	0,43	0,84	0,69	0,42	0,68	0,62	0,80	0,76	0,74	0,71
2,5	0,62	0,43	0,36	0,78	0,63	0,35	0,62	0,57	0,56	0,58	0,67	0,65
3,0	0,54	0,36	0,29	0,72	0,56	0,29	0,56	0,52	0,33	0,44	0,58	0,56
3,5	0,45	0,29	0,24	0,63	0,49	0,23	0,50	0,48	0,22	0,28	0,50	0,47
4,0	0,38	0,23	0,19	0,54	0,23	0,18	0,44	0,44	0,18	0,20	0,30	0,29
4,5	0,30	0,18	0,15	0,45	0,34	0,15	0,37	0,40	0,06	0,05	0,17	0,15
5,0	0,21	0,14	0,11	0,36	0,26	0,12	0,30	0,34	—	—	0,14	0,12
5,5	0,12	0,10	0,08	0,27	0,19	0,10	0,23	0,26	—	—	0,12	0,11
6,0	—	—	—	0,20	0,14	0,09	0,17	0,17	—	—	0,10	0,10
6,5	—	—	—	0,13	0,11	0,08	0,09	0,06	—	—	0,10	0,10
7,0	—	—	—	0,09	0,08	0,08	—	—	—	—	0,08	0,08

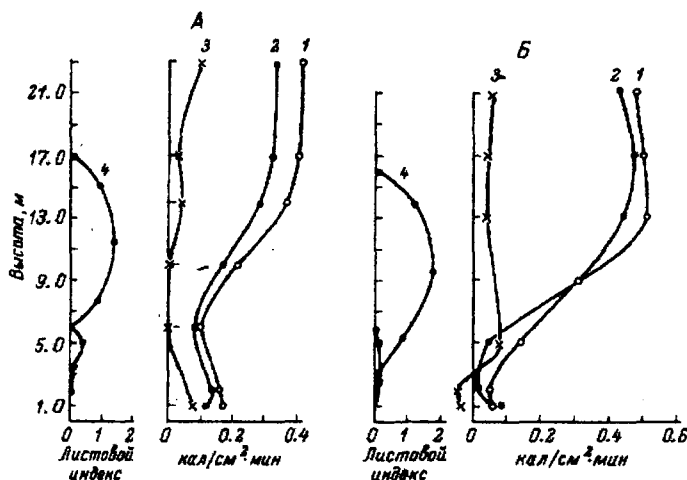


Рис. 26. Вертикальное распределение поверхности фитомассы и составляющих теплового баланса: А – сосняк чернично-зеленомошный; Б – ельник черничнозеленомошный: 1 – радиационный баланс, 2,3 – турбулентные потоки влаги и тепла, 4 – листовой индекс (по Галенко, 1983)

Зависимость коэффициента пропускания суммарной радиации сосновыми насаждениями от высоты стояния солнца, облачности и возраста древостоев показана В.А. Алексеевым (1975). Значения рассматриваемого показателя с изменением возраста с 30 до 120 лет при высоте солнца 10° увеличивается от 0,06 до 0,11; при высоте солнца 30° от 0,06 до 0,14; при высоте солнца 50° – от 0,17 до 0,34.

Лесная растительность бореальной зоны в целом обладает сравнительно высокой способностью поглощать солнечную радиацию. Это обеспечивает сравнительно неплохую теплообеспеченность лесных биогеоценозов. Понятно, что главной причиной высокой изменчивости теплообеспеченности является высокое разнообразие структурной организации лесных БГЦ. Именно различия в пространственной структуре фитомассы насаждений – ответственны за различия в тепловых условиях насаждений, за различия в температурном режиме.

Полог леса характеризуется большой изменчивостью восприятия поступающей к нему солнечной радиации. В общих чертах прослеживаются следующие закономерности. При прочих равных условиях под полог лиственных насаждений количество тепла проникает больше, чем под полог хвойных, под полог сосновых и лиственничных древостоев – больше, чем ельников и пихтарников. Наибольшей трансформации пологом леса подвергается лучистая энергия в спелых ельниках и кедровниках, а также в пихтарниках. Различия между названными категориями насаждений возрастают в ясную погоду и снижаются в пасмурную. В географическом отношении различия эти будут снижаться по направлению высоких широт, где соотношение между прямой и рассеянной радиацией меняется в пользу последней.

Общим для всех насаждений является также последовательное снижение проникновения радиации под полог в связи с повышением концентрации фитомассы. По расчетам М.К. Гавриловой (1969) ослабление радиации в лиственничниках Якутии оценивается в среднем 8 % на каждые 0,1 повышения сомкнутости полога. Но проникающая под полог радиация зависит не только от сомкнутости крон древостоя. На суточный ход суммарной радиации оказывает влияние также наличие подлеска, подроста. Эти компоненты в лиственничниках Якутии насаждения перехватывают до 22 %.

По исследованиям Н.Н. Выгодской и др. (1973) в 94 летнем ельнике характер поступления солнечной радиации под полог леса в связи с изменением сомкнутости полога и изменением высоты стояния солнца (в раз-

ные периоды суток) подчиняются закономерностям, которые интерпретируются кривыми представленными на рис. 27 .

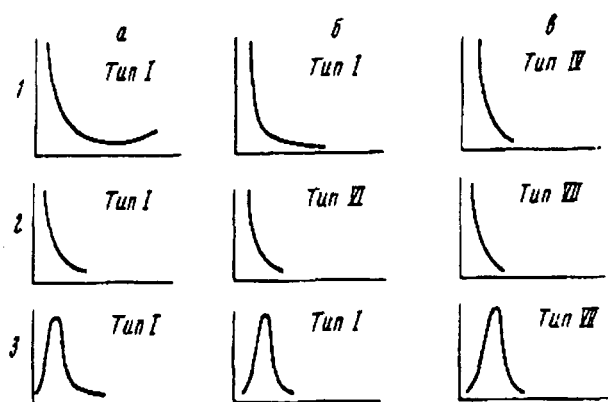


Рис. 27. Схемы типов кривых распределения радиации для участков с различной сомкнутостью в 94 летнем ельнике: а – сомкнутость 0,3 – 0,4; б – сомкнутость 0,5–0,6; в – сомкнутость 0,8–0,9; 1 – ясно, высота Солнца 40°, 2 – ясно, высота Солнца 30°, 3 – пасмурно

Наибольшей изменчивостью коэффициента пропускания ФАР характеризуются ясные дни с радиационным типом погоды при высоте стояния солнца 40°. В парцеллах с сомкнутостью 0,4–0,5 величина дисперсии рассматриваемого показателя превышала 200 %, а в диапазоне сомкнутости от 0,35 до 0,70 коэффициент пропускания ФАР изменялся от 35 до 220 %. При одинаковой высоте Солнца и условиях облачности фактором, определяющим характер распределения радиации, является сомкнутость крон (площадь просветов). Связь оказывается более надежной при радиационном типе погоды в безветренные дни.

Лиственные насаждения в целом отличаются более низкой поглотительной способностью по отношению к хвойным. Поглотительная способность светлохвойных насаждений ниже, чем темнохвойных. Сезонную динамику поглощения радиации насаждениями в Республике Коми показывают данные табл. 13 .

Наибольших значений приход радиации имеет в июне, самый низкий – в первую декаду сентября (в рамках наблюдаемого периода). Поглощенная радиация колеблется, в зависимости от погодных условий, но в сред-

нем увеличивается с III декады мая до августа. Существенно, что в облачную пасмурную погоду поглощенная радиация выше, чем в ясную.

Таблица 13. Динамика сезонных изменений прихода (числитель) и пропускания (знаменатель) суммарной солнечной радиации (мДж/см²) под полог хвойных насаждений средней подзоны тайги при разных погодных условиях (по данным Э.П. Галенко, 1993)

Тип погоды, годы	III декада мая	июнь	Июль	Август	I декада сентября
Ясно 1982–1983	350,8/19,5	417,9/18,4	340,2/25,2	288,1/12,9	85,7/10,5
Переменно 1982–1983	315,9/39,5	307,4/33,1	226,8/ 22,8	212,7/19,6	42,4/ 41,3
Пасмурно 1982–1983	297,8/32,8	357,4/ 18,7	242,0/27,0	193,0/21,2	41,3/31,9
В среднем за период 1982–1983	101,8/21,0	202,6/22,8	102,6/25,6	79,6/26,5	—/—

В период вегетации темнохвойные леса республики Коми способны поглощать до 80 % приходящей в лес радиации. Отражается только 10–14 %. Поглотительная способность еловых насаждений здесь снижается вниз по профилю полога. Полог ельников поглощает 60–70 %, а деятельный слой почвы – 6–20 % приходящей радиации. Абсолютные значения поглощенной радиации ельником зеленомошным в северной тайге, также как приход суммарной радиации прямо, пропорциональны высоте стояния солнца и в некоторой степени зависят от облачности.

Большое значение имеет проникновение в полог леса физиологически активной радиации (ФАР). Доля этой наиболее важной части спектра зависит от высоты стояния солнца, от облачности и загрязнения атмосферы. Имеет значение спектральные свойства полога, породный состав древесного яруса (табл. 14). Среди лиственных пород наименьшей пропускной способностью ФАР обладает бук, среди хвойных – пихта сибирская. Именно под пологом буковых и пихтовых насаждений складываются самые неблагоприятные условия для существования второго яруса. Эти породы, как известно, замыкают ряд нарастания теневыносливости.

Рассматривая роль лесного полога на тепловой режим местообитаний, следует учитывать значение географического градиента этого явления, разную его значимость. Если в южных районах полог насаждений действует умеряющее, снижая высокие температуры и перепады ее в су-

точном ритме, т.е. действуют в биологическом отношении позитивно, то на севере низкие температуры означают недополучение биогеоценозом тепловой энергии, недостаточное прогревание почвы, снижение биологической активности микрофлоры, снижение энергии и сокращение периода ростовых процессов, снижение продуктивности.

Таблица 14. Пропускание ФАР (в % от величины открытом месте)
под полог древостоев (по Алексееву, 1973. Компиляция)

Насаждения лиственных пород			Насаждения хвойных пород		
Преобладающая порода	ФАР,%		Преобладающая порода	ФАР,%	
	весна	лета		весна	лета
<i>Quercus robur</i>	63–85	1,5–10	<i>Picea abietis</i>	2,5	2–4
<i>Tilia cordata</i>	47–49	8	<i>P. obovata</i>	20	18
<i>Fagus sylvatica</i>	12–67	4–5	<i>Pinus sylvestris</i>	48	45
<i>Acer platanoides</i>	55	3	<i>P. nigra</i>	7,5	4
<i>Fraxinus mandshurica</i>	31	3	<i>Abies sibirica</i>	1,5	2–3

Температуры приземных слоев воздуха и почв под пологом хвойных насаждений в летнее время будут всегда в той или иной мере ниже, чем под пологом лиственных насаждений. Разница в среднесуточных температурах в июне–июле колебалась от нескольких долей до 4–8 градусов (Протопопов, 1975; Чертовской, 1978; Галенко, 1983). По исследованиям на европейском Севере и в Подмоскowie (Молчанов, 1961) в сосновых лесах доля проникающего под полог насаждений тепла последовательно снижалась с возрастом древостоев. Примесь ели в сосняках повсеместно приводила к снижению поступления тепла в биогеоценоз.

Наиболее выражены различия в теплообеспеченности биогеоценозов при сопоставлении температурных показателей под пологом насаждений и на вырубке. Среднегодовые температуры воздуха на облесенных участках на 0,5–2,0° выше, чем на обезлесенном. В летнее время средние t в лесу на 5–12° ниже, а в зимнее время – на 3–5° – выше, чем на открытом месте. Наибольшие различия в температурах под пологом и на открытых участках отмечается между свежими рубками и высоковозрастными насаждениями, еловых лесах больше, чем в сосновых.

На пространствах европейского Севера России по данным Справочников климата Госкомгидромет период со среднесуточной температурой более 10°C на пространствах притундровых лесов колеблется от 21 до 44 дней в северной тайге составляет 28–55 дней, в средней подзоне – 78–84 дня. Наибольшая относительная изменчивость в подзоне притундровых лесов, меньше всего из рассматриваемых – в ландшафтах средней подзоны.

По данным Э.П. Галенко (1983) на пространствах республики Коми в северотаежных районах период с эффективными температурами колеблется от 30 до 50, в ландшафтах средней подзоны – от 80 до 85 дней. В северотаежных районах период с эффективными температурами охватывает июль и по 3–5, 5–11 дней в июне и августе. На территории средней подзоны тайги в республике период с эффективными температурами охватывает июль, 23–25 дней июня и по 10–15 дней мая и августа. На пространствах северной тайги период с температурами 10–25° составляет 74, в средней – 85 % от общей продолжительности вегетационного периода.

В зависимости от метеорологических ситуаций (от разных соотношений радиационных и циклонических факторов, складывающихся на лесных землях), а также от фитоценотической структуры насаждений, в лесных ландшафтах могут складываться разные типы погоды. По предложению Ю.Л. Раунера (1973) на пространствах европейской части могут проявляться инверсионный, конвективный и смешанный типы фитоклиматических режимов. *Инверсионный* тип отмечается в периоды с радиационным типом погоды в сосняках и лиственничниках с высокой концентрацией фитомассы в верхней части полога.

В пасмурную погоду в насаждениях хвойных пород преобладает *конвективный* тип фитоклимата, для которого характерно взаимоотношение экосистемы с окружающей средой без обмена теплом. Этот тип фитоклимата чаще проявляется в смешанных сосново-еловых со сложным пологом насаждениях. Для *смешанного* типа фитоклимата характерен отчетливо абиятический тип распределения температур в верхней части полога и хорошо выраженная инверсия температур в нижней части полога. Различия в складывающихся типах фитоклимата насаждений не могут не отразиться на фитоценотической организации и продуктивности БГЦ.

Тип фитоклимата влияет на формирование годовых ритмов хода температур воздуха. Наиболее характерен для лесных насаждений плакорных местообитаний сезонный ритм изменения температур радиационного типа, для которого присуща суточная амплитуда температуры 5–10° (рис. 28).

При оценке влияния лесных фитоценозов на местный климат имеют значение также величины экстремумов температур. По наблюдениям В.В. Протопопова (1977), в темнохвойных лесах Средней Сибири разница в среднегодовых максимальных и минимальных температурах воздуха с открытыми участками достигает, соответственно, 1,4–2,4 и 0,7–1,4°. Кажется бы, это не такие уж существенные различия. Обобщенно, разница в среднегодовых максимальных и минимальных температурах между спелыми ельниками и открытыми участками составляет всего 0,5–0,7°. Еще

меньше разница по этому показателю между насаждениями одной формации, но разных типов леса. Тем не менее, различия между сопоставимыми по лесорастительным условиям и структуре древостоев елово-пихтовыми насаждениями достигает 12–17 %.

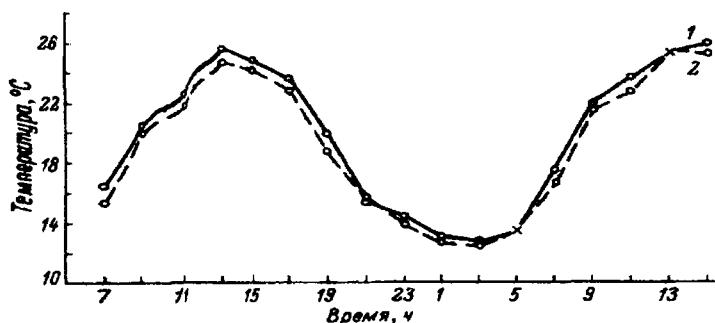


Рис. 28. Суточный ход температуры воздуха под пологом леса в малооблачную погоду: 1 — на высоте 2 м, 2 — на высоте 0,2 м.
(по Галенко, 1983)

Это явление подтверждают результаты наших исследований на Кольском полуострове. Различия в средних запасах 40–45 летних сосняков брусничных IV класса бонитета Иmandровского лесничества (Кольский полуостров), на участках приуроченных к склонам разной экспозиции, где среднегодовые температуры воздуха различаются всего на 0,4 градуса, достигают 9–14 м³ или 17–20 %. Таким образом, отмечаемые повсеместно казалось бы малозначачщие различия между температурными условиями отдельных местообитаний не остаются без последствий. Необходимо учитывать своеобразный коммулятивный эффект — эффект последовательного накопления различий.

Различия в температурных условиях насаждений могут быть обусловлены факторами разного характера (сомкнутостью, густотой, возрастом древостоя, ярусностью полога и т.п.). В этом убеждают результаты наблюдений А.А. Молчанова в сосняках Подмоскoвья (табл. 15).

Согласно табл. 15, наибольшие различия с вырубкой отмечены в высоковозрастном сосняке с сомкнутостью 0,8. Данные табл. 15 показывают высокую обусловленность различий в температурах воздуха между лесом и открытым местом формой насаждения. Большое влияние оказывают наличие в насаждении второго яруса из ели. Имеет значение сомкнутость полога, состав и наличие подлеска.

Влияние формы древостоев и обусловленной формой фитоценотической структуры на температурные условия под пологом в сезонном цикле хорошо показаны в материалах Н.А. Воронкова с коллегами (1976; табл. 16). Наибольшие различия с открытым местом за большую часть периода наблюдений отмечены в чистом по составу ельнике зеленомошном, а наименьшие — обнаружены в лиственном березово-осиновое насаждении. Различия эти прослеживаются в течение всего вегетационного периода.

Таблица 15. Средние температуры воздуха в древостоях различной формы и состава (Прокудин бор, Орехово-Зуевский лесхоз)

Таксационная характеристика	Тип леса	Температура воздуха, °С		
		средняя	максимальная	минимальная
Вырубка 200 х 200 м		20,1	35,2	0,5
10 С 65 лет, сомкнутость 0,8	С. черничник	19,5	34,5	2,6
10 С 65 лет, сомкнутость 0,9	С. мшистый	18,9	32,5	4,5
10 С 33 лет сомкнутость 1,0	- « - « -	18,6	33,4	1,3
10 С 65 лет сомкнутость 0,9 подлесок	Сложный сосновый бор	18,4	31,1	3,0
10 С 150 лет, сомкнутость 0,8	С. брусничный	19,8	34,7	2,6
10 С 150 лет сомкнутость 1,0 второй ярус ель	- « - « -	17,6	32,0	4,0
10 Ол 30 лет сомкнутость 0,8	Ольшанник крапивный	17,1	30,7	3,0

Таблица 16. Среднемесячные температуры воздуха, °С за 1964–1972 гг. в древостоях разного состава

Объект	месяц					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
Ельник 10 Е	11,1	14,9	14,6	14,6	10,1	3,4
Ельник 4Е4Ос2Б	11,5	15,2	16,7	15,6	10,0	3,7
Березняк Б4ОсБ	11,6	15,0	16,6	15,6	10,1	3,7
Луг	11,7	15,6	17,6	16,6	10,8	4,1

Контрастность охлаждающего или утепляющего влияния леса на местообитания на пространствах Средней Сибири по данным В.В. Протопопова (1977) возрастает при сопоставлении значений средних или экстремальных температур в периоды с радиационным типом погоды. Ученый по материалам обстоятельных расчетов по условиям Средней Сибири делает вывод: «...контрастнее и продолжительнее оказывается охлаждающее влияние на среду темнохвойного леса, чем утепляющее».

Обзор многочисленных данных по исследованиям в средней подзоне европейской тайги (М.И. Сахаров, А.А. Молчанов, Ю.Л. Раунер, Н.И. Руднев, А.К. Поляков, Э.П. Галенко, Н.А. Воронков и др.) показывают: среднегодовые температуры воздуха на облесенных участках на $0,5-2,0^{\circ}$ выше, чем на обезлесенных. В летнее время средние t в лесу на $5-12^{\circ}$ ниже, а в зимнее время – на $3-5^{\circ}$ выше, чем на открытом месте. При малооблачной погоде значения радиационного баланса на верхней границе полога сосняков несколько ниже, чем значения радиационного баланса в ельниках. В облачную погоду вследствие вторичного рассеяния от облаков, приход суммарной радиации над ельником на $5-10\%$ больше, чем над сосняками.

Более значимое трансформирующее воздействие леса в отношении термического фактора среды проявляется в теплый период года, когда энергетические связи растительности со средой окружения становятся наиболее активными. Самое высокое контрастное охлаждающее или утепляющее влияние леса на температуру воздуха наблюдается в периоды их проявлений экстремальных значений. При таких ситуациях темновойные и смешанные насаждения в Средней Сибири на высоте $1,5-2,0$ м понижают максимальную температуры на $4-6^{\circ}$ и повышают минимальные до $3-4^{\circ}$ (Протопопов, 1977).

Наибольшие различия в температурах воздуха между участками проявляются при радиационном типе погоды в полуденные часы суток и в часы перед восходом солнца. Именно в эти периоды при указанном типе погоды трансформационные свойства леса особенно ярко проявляются в отношении термического фактора. Именно за счет этих периодов формируются свойственные для тех или иных типов насаждений тепловые режимы. То есть, как бы не велико значение структуры насаждения, формирование тех или иных термических режимов в лесу происходит обязательно через влияние метеорологические условия (тип погоды).

Структура теплового баланса выраженная через соотношение LE/R (R – радиационный баланс, LE – суммарное испарение) на верхней границе сосняка и ельника в Подмоскovie (Золотокрылин, 1975) составляет в среднем за вегетацию, соответственно, $0,57$ и $0,63$. На таежных пространствах Среднесибирского сектора с хорошо выраженной континентальностью климата этот показатель обобщенно (без учета различий в формациях преобладающих пород) по данным В.Д. Стаканова (Лесные экосистемы..., 2002) изменяется в пределах: от $0,50$ до $0,58$ в притундровых ландшафтах; от $0,47$ до $0,59$ – в среднетаежных, от $0,56$ до $0,62$ – в южнетаежных.

При оценке фактора теплообеспеченности растительности важно учитывать суточные колебания температур воздуха. Американские экологи (Спурр, Барнас, 1984) отмечают, что температура приземных слоев воздуха в лесу в ночное время в большой мере зависит, с одной стороны от количества тепла, поглощенного экосистемой в течение дня, с другой - от интенсивности отдачи тепла лесом в виде инфракрасного излучения. В насаждениях, тяготеющих к водоемам, которые служат своеобразными аккумуляторами дневного тепла, различия в суточной разнице температур между лесом и открытым местом оказываются ниже, чем в удаленных от водоемов.

В буковых лесах стационара «Аигба», располагающихся на юго-западном склоне отрогов Большого Кавказа в интервале высот 485–1152 м годовая суммарная солнечная радиация изменяется в пределах 140–154 ккал/см². С повышением местообитания над уровнем моря, сопровождающемся снижением сомкнутости полога, увеличивается доля прямой солнечной радиации, как в надкроновой зоне насаждений, так и под их пологом. При прочих равных условиях отмечено влияние на формирование фитолимата местообитания, такого фактора, как различия в крутизне склонов. Как и во многих других районах северного полушария, самые благоприятные условия здесь складываются на склонах южной и западной экспозиции.

Итак, суточные колебания температур в лесу зависят во многом от организационной структуры фитомассы насаждений. Установлено, что чем выше «концентрация» живого вещества в насаждении, тем выше температурные градиенты. Все исследователи указывают, что характерной особенностью термического режима в лесных насаждениях является высокая пространственная изменчивость его показателей. Колебания температур воздуха в лесу в определенной степени зависят от условий увлажнения (как от естественного, так и от метеорологически обусловленного режима влажности). Более увлажненные объекты обладают большей способностью излучать тепло при испарении влаги, хотя водяные пары, казалось бы, служат определенным тормозом отдаче тепла. И все же температура почв увлажненных оказывается существенно ниже, чем сухих.

В определенной мере на показатели температурных условий в лесу влияют нижние ярусы растительности, в частности – подрост и подлесок. Их охлаждающее и, в меньшей мере, утепляющее влияние распространяется не только на микроклимат биогеоценоза, но и на окружающие участки

лесных земель. Изменение температуры воздуха в суточном ритме в пологе дубравы при радиационном типе погоды характеризует рис. 29.

Самые высокие температуры ($+28^{\circ}$) в дубраве отмечены в 14–15 часов в верхней пятой части полога, на высоте 17–22 м. В приземном слое воздуха в это время температура не поднималась выше 23° . Температура почвы на глубине 1 м оценивалась 11° , на глубине 5 см – 18° .

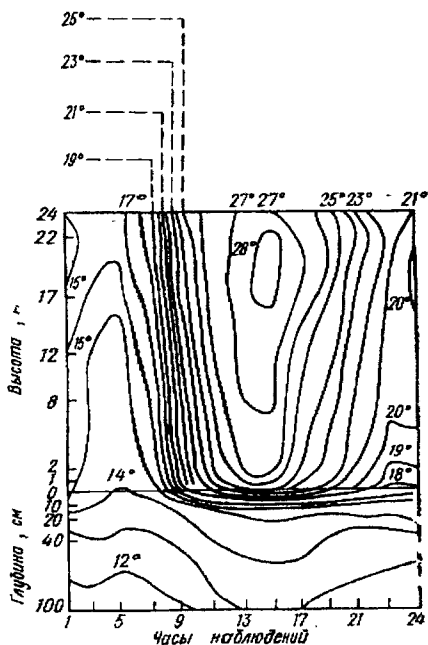


Рис. 29. Динамика поля температуры в дубовом лесу в ясный теплый день (по Горышиной и Нешатаеву, 1960)

В горных условиях на формирование тепловых характеристик фитолимата леса решающее влияние оказывают орографические факторы: высота над уровнем моря и экспозиции склонов. По данным американских лесоводов (обзор, выполненный С. Спурр и Б. Барнес, 1984), слабоогнутые формы рельефа под лесными землями отличаются тенденцией быстрого излучения тепла в тихие холодные ночи и аккумуляцией холодного воздуха, поступающего с окружающих более высоких ландшафтов.

В результате в таких местообитаниях температура воздуха в приповерхностном слое часто бывает на 8° ниже, чем на окружающих склонах. Возникают ситуации, именуемые метеорологами инверсиями,

при которых имеет место повышение температур с высотой, в отличие от характерного для равнинных условий понижения. Возможно образование явления называемого нашими лесоводами «морозобойными ямами». В Финляндии при гористом рельефе отмечается подобное явление, именуемое лесоводами «Rot belts» (красный пояс), означающее побивания (покраснения) от адвективных заморозков хвои ели в средних частях склонов котловинных ландшафтов.

Напротив, относительно повышенные выпуклые ландшафты стремятся освободиться от холодного воздуха по мере того, как происходит излучение с земной поверхности, так что минимальные температуры ночью здесь остаются довольно высокими. Днем невысокие выпуклые участки аккумулируют солнечную энергию, на поверхности земли максимальные значения температур достигают высоких величин, в то время как ночью на холмах сохраняется более низкая температура.

В отличие от равнинных в горных лесах наступление максимальных температур сдвигается как на более ранние, так и на более поздние часы, в зависимости от экспозиции склонов и их крутизны. По данным В.В. Протопопова (1977) в Средней Сибири первое место по теплообеспеченности, выраженной через сумму средних температур выше $+10^{\circ}$, первое место занимают молодняки и насаждения южных склонов, затем западных, а последними оказываются – спелые ельники и кедровые северных склонов.

Интересные данные о влиянии лесного покрова на температуру воздуха приводит Г.А. Харитонов (1970) по результатам многолетних наблюдений (1957–1963 гг.) в районе Свердловска, в условиях среднегорного, выражено пересеченного рельефа. Орографическая ситуация выбранного для наблюдений ландшафта по замыслу автора имитировала уральский водораздел, включающий западный и восточный мегасклоны в масштабах средней зоны Уральской горной страны. Схема опыта предусматривала два профиля: безлесный и облесенный. На каждом профиле были выбраны пункты, отражающие условно северо-западный и юго-восточный склоны. Измерения температур воздуха осуществлялись на каждом пункте с апреля по ноябрь трижды в день в нескольких повторностях. Общее число наблюдений в пункте превышало 450.

Результаты исследований сводятся к следующему. Летом в лесу на всех элементах рельефа температура воздуха ниже, чем на безлесном профиле. Средние различия за период наблюдений составляли $6,2^{\circ}$ градуса. Осенью, когда температура воздуха снижается и приближается к нулю, на всех элементах рельефа лесного профиля бывает теплее, чем на безлесном, в среднем на 1° . Такое же явление отмечено зимой, когда разница температур составляла в среднем на $1,4^{\circ}$. Весной температура на обезлесенном профиле вновь повышается по сравнению с облесенным. Разница составляла в среднем $1,5^{\circ}$. Температура воздуха на водоразделе (безлесном и облесенном) во все времена года ниже, чем на прилегающих горных скло-

нах.. На склонах юго-восточной экспозиции во все времена года температура воздуха выше, чем на северо-западных.

Своеобразными аномалиями по отношению к приведенным выше закономерностям, представляются данные, приведенные С. Спурр и Б. Барнесом (1984) из американской лесной практики. Американскими учеными зарегистрированы уникальные по меркам российской действительности случаи повышения температур воздуха в пологе леса, по отношению к таковым на открытом пространстве. В результате снижения скорости ветра в насаждениях сосны желтой в штате Аризона, по отношению к открытому пространству, температура воздуха в насаждении оказалась на 1,5° выше. Нужно признать, что данный пример является редким исключением, даже в американских лесах.

Убедительным свидетельством умеряющего влияния леса на локальный климат служат результаты исследований литовских ученых (Кайрюкшис, Юодвалькис, 1972, табл. 17).

Таблица 17. Разница в температурах воздуха (°С) под пологом елово-лиственного древостоя по сравнению с открытым местом

Температура воздуха открытого места	Отклонение температуры воздуха под пологом древостоя							
	6 час	8-12 час	14 час	16-18 час	20 час	22 час	24-2 час	4 час
5	+1,4							+1,8
6	+1,1							+1,6
7	+0,9							+1,5
8	+0,7						+2,1	+1,3
9	+0,4						+1,8	+1,1
10	+0,2					+1,5	+1,4	+0,9
.....								
15	-0,9	-3,0	-1,5	-1,1	-1,0	-0,3	+0,2	-0,5
16	-1,1	-3,4	-2,0	-1,5	-1,2	-0,5	0,0	-0,9
17	-1,2	-3,8	2,5	-1,9	-1,4	-0,7	-0,3	
18	-1,4	-4,3	-3,0	-2,3	-1,5	-0,9	-0,5	
19	-1,6	-4,7	-3,4	-2,6	-1,7	-1,1	-0,7	
20		-5,0	-3,8	-2,9	-1,9	-1,3	-0,9	
.....								
25	-6,8	-5,0	-4,2	-2,9				
26	-7,1	-5,2	-4,4	-3,1				
27	-7,4	-5,4	-4,6	-3,3				

С повышением температур воздуха открытых пространств разница между срочными температурами в лесу и на безлесных участках возрастает. Все рассмотренные факторы, оказывающее влияние на тепловой режим воздуха в насаждениях, примерно в такой же мере ответственны и за влияние на тепловые условия почвенного покрова в лесах. Однако среди специалистов, лесоводов и почвоведов нет единого мнения о результирующем моменте взаимоотношений леса и климата почв.

Климат лесных почв составляет отдельную, весьма значимую сторону взаимоотношений леса и общего климата. По известному определению А.М. Шульгина (1967) «климат почвы – это многолетний режим температуры и влажности почвы и их географическое распределение, зависящее от комплекса природных факторов и производственной деятельности человека...». Многочисленные исследования (Н.С. Нестеров, М.И. Сахаров, И.Н. Елагин, А.М. Шульгин, А.А. Молчанов) свидетельствуют о решающей роли во влиянии на микроклимат лесного участка растительного покрова. Значительно меньше влияние на температурный режим местобитания оказывает рельеф.

Температура почвы зависит напрямую от количества солнечного тепла, поступающего на поверхность почвы и проникающего к ее глубине. Наибольшее нагревание почвы происходит на открытых участках. Особенно велики максимумы температур на фрагментах с темноокрашенным напочвенным субстратом. Температурные минимумы на поверхности почвы оказываются несколько более глубокими, чем в атмосфере только при ясном небе и на участках с незащищенной почвой. Чаше это отмечается в ночное время или в ранние утренние часы. При этом проникновение минимумов вглубь почвы обычно тормозится. Колебания суточных температур по микроучасткам даже в лесостепных районах обычно сглаживаются уже на глубине 25–50 см. В условиях северотаежной подзоны сглаживание температур на участках разных элементов микроклимата в суточном ритме сглаживается уже на глубине на 20–25 см.

Известно, что лесная растительность охлаждает почву летом, и способствует повышению ее температуру в зимний период. При этом отмечается уменьшение годовых амплитуд температур. Наиболее выражено это явление в местообитаниях темнохвойной тайги. Наблюдения в Средней Сибири (Протопопов (1977) показывают, что леса всех формаций в целом оказывают то или иное охлаждающее воздействие на почву. Оказалось, что

на глубине 40–320 см почва в лесу всегда холоднее, чем на полянах и вырубках в среднем на $1,0\text{--}1,8^{\circ}$. Однако в конце осени и начале зимы почва под лесом оказывается уже несколько теплее.

В теплый период года отмечаются наибольшие различия в температуре почв открытых участков и под пологом насаждений. Особенно велики различия в температурах между поверхностями напочвенной растительности и горизонтами подстилки. Разница в средних суточных температурах на глубине 5 см в среднем в хвойно-лиственных молодняках достигает $0,8\text{--}1,7^{\circ}$, а в спелых насаждениях – $4,0^{\circ}$. Иная ситуация в тепловом режиме складывается на поверхности почвы в период действия ночного излучения. В это время как раз и проявляется утепляющее влияние леса. Это явление в лесу обозначается через повышение средних минимальных температур, по сравнению с открытыми участками: в молодняках – на $1,6\text{--}2,3^{\circ}$, в спелых насаждениях – на $2,0\text{--}3,1^{\circ}$.

Существенное влияние на продукционный потенциал насаждений и, стало быть, на фитоценоотическую их структуру, оказывает прогреваемость почв (их корнеобитаемого слоя), которая зависит от структуры древесной растительности, определяемой, в свою очередь в определенной мере, лесорастительными условиями местообитания, породным составом, полнотой и возрастом древостоя. Большое влияние на температурные условия почв оказывает мощность и структура лесных подстилок.

Различия в глубине и скорости прогреваемости почв лесных насаждений при прочих равных имеют также общегеографическую обусловленность, в связи с зональными, поясными и секторальными климатическими закономерностями. Годовой и дневной ход температуры почво-грунта в ельнике южной тайги на разной глубине, а также при разной обработке показан на рис. 30.

При прочих равных, чем лучше (больше и глубже) прогревается почва, тем выше биологическая активность в верхних корнеобитаемых горизонтах, тем выше продукционный потенциал местообитаний. В общих чертах в летние месяцы лес задерживает солнечную радиацию понижает температуру почвы. Зимой, наоборот, почва в лесу оказывается теплее, чем на открытых местах. Сезонная динамика температуры почвы не остается одинаковой в разных ТЛУ. Иллюстрацией может служить рис. 31, подготовленный по данным А.Я. Орлова и др. (цитируется по Побединскому, 1979).

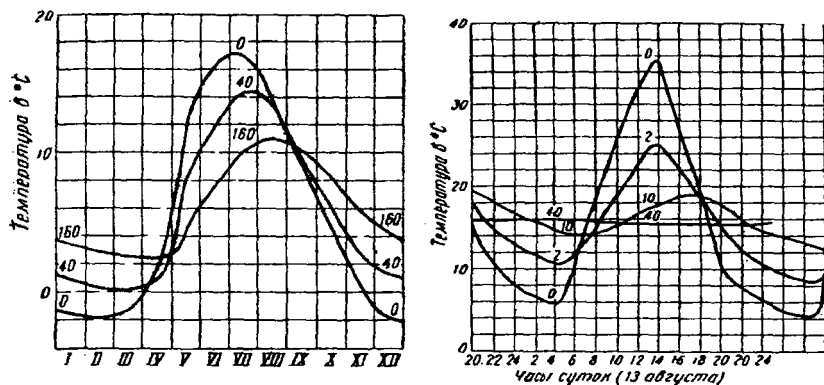


Рис. 30. Годовой (слева) и суточный (справа) режим изменения температур на лесных землях средней полосы России

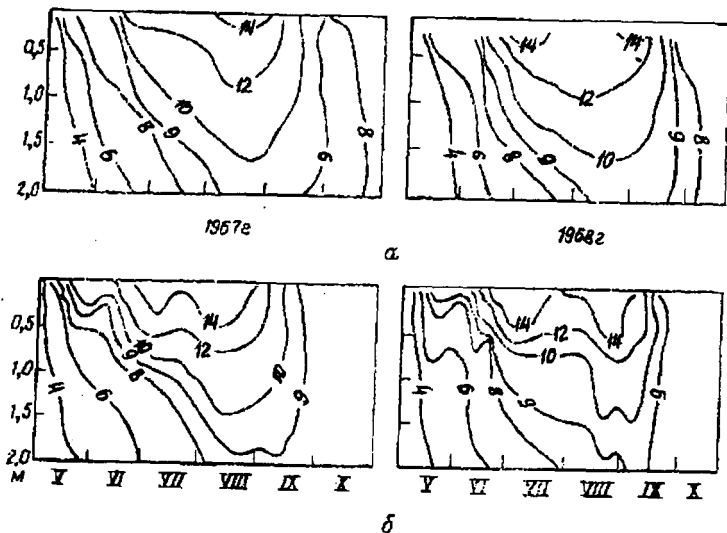


Рис. 31. Динамика температуры почвы в двух типах насаждений Подмосквья: а – ельник кислично-черничный, б – сосняк мшисто-лишайниковый

Различия прослеживаются в темпах прогревания и остывания почв на разной глубине профиля. Оказалось, что режим температур в сосняке, вследствие мощного ковра из мхов и лишайников, оказывается менее благоприятным, чем в ельнике.

Обстоятельные исследования влияния леса на климатические параметры почв выполнены в 90 гг. на стационаре «Ангба» под Сочи, опубликованные И.П. Ковалем и Н.А. Битюковым (2001). Ученые пришли к выводу, что в отличие от Средней Сибири, в Предкавказье, лес в целом оказывает обогревающее влияние на почву. Температурный режим почв под пологом здесь оказывается в целом положительным и характеризуется довольно плавными изменениями в годовых циклах. Величина среднегодовой температуры почвы в 1 м слое совпадает с температурой воздуха – 9,6°.

Установлено, что суточные колебания температур почвы под пологом имеют наибольшие значения ранней весной, когда почва не защищена еще от прямой солнечной радиации. В это время амплитуды колебания температуры поверхности почвы могут достигать 10°. Кривая суточного хода температур почвы имеет два максимума - аналогично суточному ходу солнечной радиации.

Общепринятыми признаются различия в ходе годовых и суточных изменений температур почв между открытыми участками и насаждениями. Ход температур почв на открытых участках характеризуется всегда более резкими колебаниями, чем под пологом леса. Зимой температура в деятельном слое почв всегда ниже, чем в насаждении. Весной прогревание почв на вырубках повсеместно идет активней и более выражено чем в лесу. Температура на поверхности почвы на открытых участках оказывается ниже температуры воздуха.

В темнохвойных горных лесах Средней Сибири по наблюдениям В.В. Протопопова (1977) на южных склонах температура поверхности почвы может быть выше температуры открытых пространств северных склонов. Почвы северных склонов здесь холоднее и эта разница под влиянием леса усиливается.

Максимальные теплозапасы почв под пологом насаждений на 20–30 % ниже чем на вырубках. Зато на вырубке в бореальной зоне этот максимум приходится на начало августа, в то время как под пологом – на конец августа. С этих моментов, как под пологом, так и на открытом участке, теплозапасы начинают снижаться. И это снижение на вырубке происходит более быстрыми темпами, чем под пологом.

Принято считать, что суточные колебания температур в таежных местообитаниях даже на боровых почвах не выходят за верхние 15–17 см, годовые – отмечаются в слое 1,2–1,6 м. Под Сочи (на бурых лесных почвах буковых лесов) эти колебания укладываются в 30 см слой (Коваль, Битюков, 2001).

Установленным считается также, что влияние леса на температуру почв не остается неизменным с возрастом древостоев. Многие исследователи указывают на особо важную роль в формировании теплового режима почв лесной подстилки, в силу ее особых термоизоляционных свойств и особенностей влажностного режима.

Различия в структуре и строении лесного полога оказывают существенное влияние на влажность воздуха экосистем. Известно, что в условиях нормальной теплообеспеченности оптимальное течение физиологических процессов оказывается приуроченным еще к достаточно определенным значениям влажности воздуха. Близкая к оптимуму лесного БГЦ влажность воздуха характеризуется определенными значениями присутствия влаги в абсолютном измерении (абсолютной влажностью) или содержанием в воздухе определенной доли водяного пара (относительная влажность).

Абсолютная влажность – это фактический вес воды на единицу объема воздуха оценивается в единицах давления пара (мм ртутного столба или миллибары). Относительная влажность это процентное содержание пара относительно максимального количества, которое воздух способен удерживать. Сложность, однако, в том, что нужное содержание паров в воздухе зависит не только от присутствия влаги в окружающей среде, но также от температуры воздуха. Показатель относительной влажности при одинаковом абсолютном содержании воды может различаться в два и более раза.

По данным экологов (Федоров, Гильманов, 1980) формирование профиля влажности воздуха в экосистеме – весьма сложное и динамичное явление. Имеют значение сложные взаимодействия осадков, физического испарения, транспирационного потенциала растительности, а также паровоздушного переноса влаги под влиянием градиентов влажности.

Оптимальные условия для функционирования лесных насаждений складываются при достаточно определенных условиях теплообеспеченности и влагообеспеченности.

В условиях нормальной теплообеспеченности оптимальное течение физиологических процессов оказывается приуроченным к достаточно определенным значениям влажности воздуха. Оптимальной относительной влажностью для лесных ландшафтов является влажность 60–70 %. Древесная растительность ощущает дискомфорт при влажности, превышающей 80 и не достигающей 40 %.

Нижним пределом для произрастания лесных сообществ считают относительную влажность 35 %. Местообитания таежной зоны характеризу-

ются преимущественно повышенными значениями относительной влажности. В летнее время днями влажность колеблется в пределах 55–75 %, ночью она повышается до 95 %. При радиационном типе погоды влажность воздуха в лесу ниже, чем при циклоническом. Обычно минимальные значения этого показателя в лесных БГЦ фиксируют в послеполуденные часы: в европейской части России в 13–13,5 часов, в Сибири – с запаздыванием на 30–45 минут.

В лесных насаждениях разной структуры полога при одинаковых метеорологической ситуации складываются свое специфическое поле относительной влажности (рис. 32). Обычно самые низкие значения этого показателя отмечаются в верхней части полога, самые высокие – у поверхности почвы.

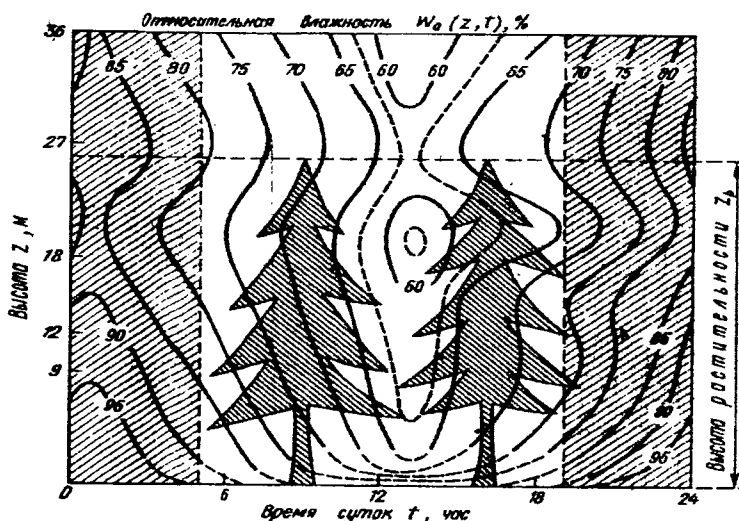


Рис. 32. Суточная динамика поля относительной влажности воздуха в сложном ельнике (по Константинову и Федорову, 1960; цитируется по Федорову Гильманову, 1980)

В спелых темнохвойных лесах влажность воздуха в течении всего года выше, чем на вырубках и даже на полянах, Однако различия в средних годовых значениях не превышает 4–5 % (Протопопов, 1977). Различия увеличиваются в теплые месяцы года. В среднем относительная влажность за вегетацию в хвойно-лиственных молодняках Средней Сибири на 3–5 % выше, чем на открытом месте, а в спелых и приспевающих древостоях – на

5–9 %. Соответственно, увеличиваются различия в дефиците влажности до 0,5–0,8 в первом и до 1,1–2,2 мб – во втором случае.

А.В. Побединский (1979) считает, что относительная влажность воздуха в лесу и на открытом участке различаются в среднем в 4–5 раз, а различия в абсолютной влажности оставляют всего 0,2 %. Столь большие различия с результатами Протопопова могут быть объяснены только различиями в трактовке учеными сущности главных обсуждаемых понятий. В.Д. Федоров и Т.Г. Гильманов (1980), рассматривая значимость набора важнейших биотических факторов в функционировании экосистем (в т.ч. лесных), представляют несколько трактовок понятия «влажность воздуха». в т.ч. «удельная влажность», «упругость водяного пара», «дефицит влажности», «химический потенциал водяного пара в воздухе», т.е. оценивают явление более обстоятельно. Полученные ими данные внушают большее доверие.

Наблюдения показывают, что различия во влажности воздуха в насаждениях выражены по-разному как в горизонтальном направлении, так и по профилю полого. Эти различия оказываются неодинаковыми в сезонном ритме и с изменением возраста эдификаторного древесного яруса. Так же, как и в отношении температур, на влажность воздуха оказывает влияние наличие подроста, подлеска и присутствие второго яруса. Иллюстрацией могут служить данные В.В. Протопопова (1975) по темнохвойным лесам Средней Сибири (табл. 18).

Таблица 18. Относительная влажность воздуха (%) на высоте 1,5 м в кедрово-лиственнном древостое за 18 дней июля 1969 года

Объект	Время наблюдений, ч			Минимальная влажность	Максимальная влажность
	7	13	19		
Группа кедров (Н 10 м, сомкнутость 1,0)	75	41	70	30	82
Группа березы (Н 12 м, сомкнутость 1,0)	75	38	68	27	80
Окно в пологом диаметром 10 м	73	36	67	25	78

Кривая изменения значений относительной влажности воздуха по профилю насаждения довольно своеобразна. Наибольшие значения отмечается над почвенным покровом и на высоте наибольшей массы ассимилирующих органов, что связано с влиянием в последнем случае повышенной транспирации.

Для оценки различий фитолимата в насаждениях представляют интерес исследования, выполненные в условиях Ошмянно-Минского геоботанического района Белоруссии (Фриш, 1972). Обстоятельно проанализирован ход фенологических фаз в четырех насаждениях, относящихся попарно к двум классам географических формаций: *лесов зонального и азонального рядов*. Зональными вариантами выбраны: сосняк вересково-зеленомошный (зандровая равнина) и дубово-еловое насаждение лещиново-кисличного типа, приуроченный к подножьям зандрового ландшафта. Примерами насаждений азонального ряда выбраны березняк травяно-сфагновый на низинном болоте и сосняк багульниково-голубично-сфагновый на верховом болоте.

Материалы наблюдений за микроклиматом этих насаждений вполне убедительно показывают на существенные различия по ведущим показателям. Каждая из анализируемых смежных формаций, также как и типы леса, взятые в отдельности, обладают глубоким своеобразием в отношении сезонной динамики важнейших процессов. Существенные различия прослеживаются в продолжительности безморозного периода, периода с устойчивым снежным покровом, а также периода с обводнением почв. Наиболее значимы показатели температурного режима приземного слоя воздуха.

Являясь своеобразной «шубой» для земной поверхности лесная растительность предотвращает глубокое промерзание почво-грунтов, на скорость оттаивания. Под сосновым и еловым лесом почва промерзает на 0,5–1,2 м меньше, чем на открытом месте, на вырубке.

Большое влияние леса на местный климат прослеживается в малолесных степных районах. Лесные полосы в лесостепи формируют специфическую ритмику местных потоков воздуха. В летнее время лесной воздух прохладней полевого. Ночью наблюдается обратное явление. В летнее время в лесу прохладный воздух располагается в приземном слое, а выше – воздух теплей. На открытых местах теплый воздух – в приземном слое. Вследствие возникающих перепадов t образуются характерные воздушные течения:

— днем в летнее время имеет место ток прохладного воздуха из лесной полосы в поле. Более теплый воздух из полога насаждения опускается вниз, вследствие чего на высоте 10–20 м происходит поток более теплого воздуха с открытых мест в лес;

— ночью, когда у поверхности почвы лесной воздух теплее, чем на открытых участках, происходит обратное явление: холодный воздух с открытых участков движется в лес. Вытесняемый им из леса более влажный холодный воздух на высоте 10–20 м устремляется из леса на открытые участки.

В итоге постоянно возникающих перепадов температур между облесенной и безлесной территории происходит проветривание ландшафтов. Это явление четкой ритмики смен воздушных потоков имеет неоценимое значение вблизи крупных городов или населенных пунктов с промышленными предприятиями. Под влиянием леса, играющего роль своеобразного природного кондиционера, происходит очищение воздушной среды от вредных примесей.

Важное значение для хозяйства имеет ветрозащитное свойство лесов. Представляет интерес результаты исследований на Среднем Урале (Харионов, 1970). Целью исследований, проведенных с 1963 по 1967 гг. в среднегорном районе с пересеченным рельефом ставилась оценка влияния присутствия леса на скорость ветров на различных высотах. Скорость ветра замерялась с апреля по ноябрь три раза в день с интервалом 5 минут. Влияние лесной растительности на изменение скорости ветра неодинаково по элементам рельефа и в разное время суток (табл. 19).

Таблица 19. Скорость ветра в апреле–ноябре на различных элементах рельефа по безлесному (I) и облесенному (II) профилям

Скорость ветра	Профиль	Время наблюдений, часы			Средняя м/с
		8–11	12–15	16–19	
Скорость ветра на северо-западном ветроударном склоне, м/с	I	1,8	3,5	2,7	2,7
	II	0,3	1,0	1,9	0,7
Увеличение м/с		1,5	2,5	1,9	1,9
%		554	345	345	330
Скорость ветра на водоразделе	I	2,4	4,4	3,3	3,3
	II	0,8	1,9	0,9	1,2
Увеличение, м/с		1,6	2,5	2,3	2,1
%		294	230	330	270
Скорость ветра на юго-восточном заветренном склоне, м/с	I	1,5	2,4	1,7	1,9
	II	0,4	0,5	0,4	0,4
Увеличение, м/с		1,1	1,9	1,3	1,5
%		348	434	446	417
Средневзвешенное по профилю, м/с		1,4	2,3	1,8	1,8
%		399	333	369	354

В противоположность равнинным лесам, где ветер теряет силу уже в 100 м от наветренной опушки, в горных условиях скорость ветра при встрече с лесным насаждением только снижается. Наибольшая скорость

ветра повсеместно отмечается на водоразделах. Наибольшее увеличение скорости ветра после удаления леса отмечается также на водоразделах. Далее по ряду снижения скорости идет ветроударные склоны, а затем – заветренные.

Наибольшее ветроломное влияние леса по мнению ученого имеет место в полуденный период, несколько слабее – в утренние и послеполуденные часы. Ветроломное влияние леса усиливается зимой, несколько снижается осенью.

Широко используются ветрозащитные свойства леса в защитном дорожном и полезащитном деле. Насаждения существенно изменяют скорость ветров. Влияние прослеживается и до насаждения и после него, т.е. с наветренной и подветренной сторон. На подходе к стене леса снижение скорости происходит сначала медленно, но затем более выражено. Полное затихание происходит на глубине в 40–60 м от стены леса. С наветренной стороны образуется ветровой «прибой», создающий своеобразный микроклимат, с подветренной стороны образуется затишье. Скорость ветра на расстоянии 2–3 средних высот дерева такая же, как в лесу. Затем она возрастает. Полностью выравнивается со скоростью открытого места на удалении 20–30 средних высот. Сопоставление скоростей ветров на лесных, степных землях и тундре представлено на рис. 33.

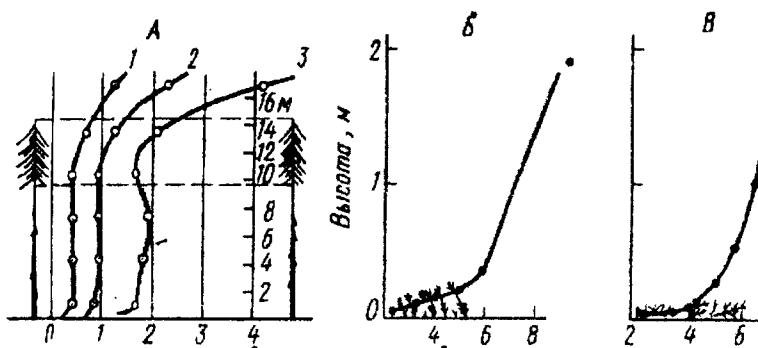


Рис. 33. Распределение скорости ветра по высоте в аэротопе различных типов экосистем А – в лесу при скорости ветра над кронами: 1 – 1,5 м/с, 2 – 2,5; 3 – 4 м/с; Б – в степи; В – в тундре (по Горышиной, 1979)

Трудно переоценить ветрозадерживающую роль лесов на Севере, в притундровых районах тайги. Облесивание лесотундровых пространств вблизи г. Мончегорска (леса здесь вырублены, сведены пожаром и погибли

от загрязнения атмосферы) привело к существенным изменениям ветрового режима. Средняя скорость ветров увеличилась с 3,6 до 4,1 м/сек. Количество дней со штормовым ветром (>20 м/сек) возросло вдвое: с 18–22 до 38–40 в год. Вследствие постоянного сноса снега на плоских участках возросла глубина промерзания почв, даже в зимние месяцы отмечается ветровая эрозия.

Ветрогасящая роль леса очень хорошо проявляется и высоко оценивается в лесостепных и степных районах. Леса здесь стоят на страже всего природного комплекса. Леса (лесные полосы) оказывают механическую преграду движущимся массам воздуха, снижают скорость до минимума как перед собой, так и на пространствах с подветренной стороны. Затухание ветра как физический процесс зависит от многих свойств леса: от состава пород, от полноты, высоты древостоя. Ветрозащитное влияние простирается за полосой на расстояние кратное 50 средним высотам. С увеличением скорости ветров быстро возрастает транспирация воды растением (иногда в 20 раз). Почвы быстро теряют влагу и подвергаются выдуванию.

Важное значение имеют влагозащитные функции лесных насаждений (островных массивов, защитных полос в степных и лесостепных районах. Стены леса, наветренные участки лесных полос способствуют аккумуляции снега, запасы почвенной влаги на полях, имеющих полевозащитные лесные полосы заметно выше, чем на не защищенных полях (рис. 34).

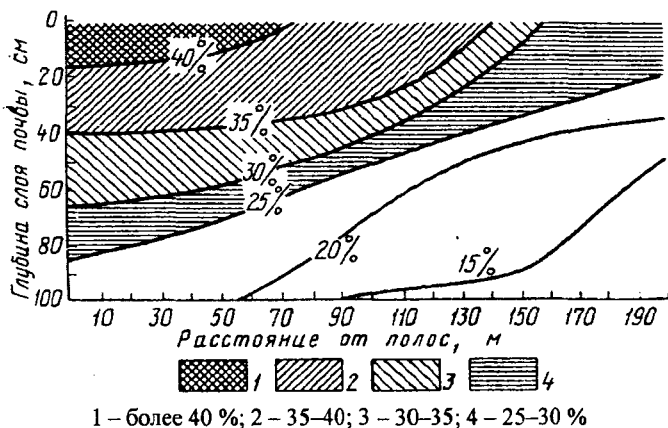


Рис. 34. Увлажняющая роль лесных полос в лесостепи
(по А. Молчанову, 1973)

Существенно, что полезащитные полосы способствуют снижению суммарного испарения с поля. Это влияние по данным А.А. Молчанова (1973) прослеживается до 300 м от полосы.

Резльтирующим материалом по оценке климатообразующей роли леса на местном (локальном) уровне может служить прекрасная схема Э.П. Галенко (рис. 35). Сопоставление экологических факторов в двух типичных для таежной зоны лесных экосистемах хорошо представляет влияние полога насаждений с различной структурой фитомассы, с разным строением основного эдификаторного яруса на основные экологические параметры среды.

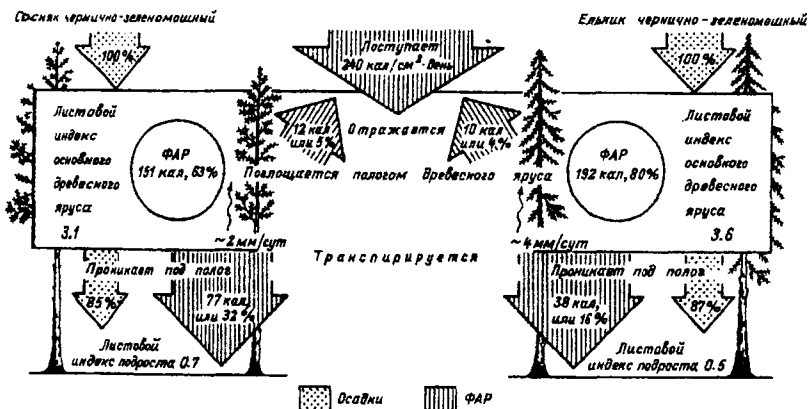


Рис. 35. Характеристика основных экологических факторов хвойных фитоценозов северной тайги (схема).

Рассмотренные довольно пестрые в географическом, лесоводственно-биогеоценотическом и ландшафтно-географическом отношении материалы достаточно убедительно показывают большое влияние лесной растительности на климатические условия. Это влияние прослеживается на разных уровнях организации лесных экосистем. Воздействие это неодинаково в разных лесорастительных условиях, в разных формациях преобладающих пород и географических классах формаций лесной растительности.

6. ГЛАВНЫЙ ФАКТОР

«...Теплота и стужа суть два приключения, которые в телах наибольшие изменения производят, и того ради зело того достойны, чтобы о них прилежное рассуждение иметь...».

*Анонимный автор
«С.-Петербургских ведомости», 1733 г.*

Тепло - теплообеспеченность

Среди климатических факторов, во многом определяющих географию и свойства лесной растительности, одним из самых главных является тепло, энергия тепла. Функционирование и развитие леса четко детерминированы теплообеспеченностью, т.е. мерой поступления в лесные БГЦ тепловой энергии. На огромных пространствах планеты, в северном и южном полушариях тепловой фактор для живого вещества леса является определяющим и лимитирующим. Очевидна в бореальной зоне лимитирующая роль теплового фактора в функционировании лесных экосистем очевидна прежде всего в при-тундровой, северной и даже в средней подзонах тайги.

Известно, что с увеличением температуры среды ощутимо возрастает скорость всех химических и биохимических реакций. Согласно закону Вант-Гофа, на каждое повышение температуры окружения на 10° скорость реакций возрастает в 2–3 раза. Для лесных сообществ бореальной зоны повышение хода метаболических процессов даже на 10–20 % означает весьма значимую прибавку в повышении уровня продуцирования. На уровне обычного известны истины: чем продолжительнее теплый период вегетации, чем более теплым выдалось лето и, стало быть – хотя бы немного выше среднегодовые температуры воздуха, тем продуктивней растительные сообщества, тем богаче и разнообразней животный мир.

Оценка сложной проблемы взаимоотношения лесной растительности с теплом, в виду ее исключительной сложности и неоднозначности, требует рассмотрения слагающих ее вопросов в нескольких аспектах. Весьма неоднозначными оказываются подходы к оценке критериев теплообеспеченности экосистем разных географических территорий. В одних регионах на первое место выходят критерии обеспеченности теплом почвенной среды экосистем, в других – условий атмосферы насаждений.

В условиях бореальной зоны, где самую значимую часть проблемы жизнеобеспечения представляет дефицит тепла, определяющий характерную для тайги низкую продуктивность лесных экосистем, требует позна-

ния возможности перераспределения тепловой энергии в системе «педобиоценоз-фитоценоз» и управления теплообеспеченностью местообитаний посредством регулирования структурной организации сообществ.

Требует рассмотрения хозяйственная значимость недостаточного обеспечения теплом насаждений для прохождения ведущих метаболических процессов, прежде всего – обеспечения репродуктивной функции лесообразующих древесных пород. Особого рассмотрения требует вопрос поддержания продукционного потенциала и повышения продуктивности лесов на мерзлотно-почвах, на которые на пространствах лесной зоны России приходится более 40 %. К этим территориям надо добавить пространства, где имеет место «длительно сезонное промерзание» (продолжительностью более 6 месяцев). Здесь интерес представляет оценка функционирования лесных сообществ в условиях, где дефицит тепловой энергии обостряется спецификой складывающегося режима увлажнения оттаявших почв.

Сохраняет значимость оценка стрессовых ситуаций в лесных экосистемах, провоцируемых периодическими непрогнозируемыми заморозками, явлениями образования «морозобойных ям», случаи ударного выхолаживания местообитаний и повреждения ассимиляционных органов и молодых побегов хвойных пород на склонах горных котловин, явления обмерзания корней сосны на боровых сухих почвах, явления выжимания морозом корневых систем сеянцев, побивания побегов хвойных пород при возникновении «физиологического иссушения». В ряде случаев остается актуальным вопрос повреждения древесной растительности при экстремально низких и экстремально высоких температурах.

Критерии теплообеспеченности

Тепловые характеристики климата четко дифференцируют географическое пространство, обуславливая закономерные проявления зональности и секторальности в распространении и свойствах жизни. Тепловые свойства климата существенно отличаются по отдельным странам, областям и провинциям.

Тепловой режим местообитаний складывается из многих показателей суточного, сезонного и многолетнего ритмов изменения температур воздуха и почвы. Все определяет характер поступления солнечной радиации. Тепловой фактор тесно связан со световым. В ряде подходов к оценке климатических условий они неразделимы: солнечная радиация - световая и тепловая радиация, одновременно.

В экологической климатологии к определению тепла существует три подхода. С одной стороны это количество тепловой и световой энергии

одновременно, поступающее к подстилающей поверхности (в лесному полог) и оцениваемое ваттами, калориям, Джоулями на единицу площади в единицу времени. Этот показатель именуют **суммарной солнечной радиацией** (Q). В световом энергетическом потоке радиации есть часть, которая обеспечивает ход физиологических процессов, в частности «ответственна» за работу фотосинтеза. Это энергия **ФАР – физиологически активная радиация**, по большинству мнений экологов соответствующая световому потоку в составе солнечной радиации в диапазоне волн от 0,38 до 0,71 мкм. Практически, это энергия видимой части спектра солнечного луча. Важным критерием также является – **радиационный баланс** (R) – означающий количество тепловой энергии, которое остается в насаждении после всякого рода отражений и «обратных» излучений всеми элементами экосистемы, т.е. реально используемая насаждением часть суммарной солнечной радиации.

Соотношение ширины различных частей спектра солнечного энергетического потока, играющих разную роль в функционировании экосистем, приведено на рис. 36.

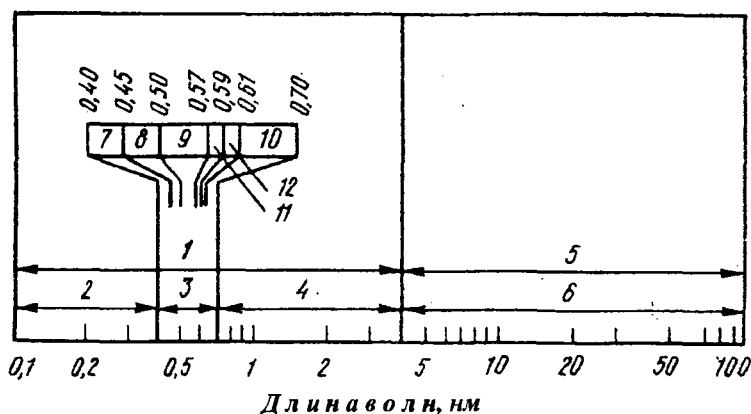


Рис. 36. Длина волн солнечной и земной радиации, ширина спектров: 1 – солнечная радиация; 2 – ультрафиолетовая часть; 3 – видимая часть; 4 – инфракрасные волны (ближние); 5 – земная радиация; 6 – инфракрасные волны (дальные); 7 – фиолетовые лучи; 8 – синие; 9 – зеленые; 10 – красные; 11 – желтые; 12 – оранжевые (цитируется по С. Спурр, 1984)

Часть спектра солнечного луча, длинноволновая его часть по существу представляет тепловую радиацию (инфракрасные, красные и оранжевые части спектра). Фиолетовые, зеленые, синие лучи – образуют физиологическую радиацию (Краммер, Козловский, 1963)

В зоне умеренного климата на долю ФАР приходится в среднем 50 % солнечной радиации. С такой оценкой, в принципе, согласны и лесоводы - таежники. Обзор источников показывает, что ФАР в таежной зоне России изменяется в пределах 47,5–52,1 % от суммарной радиации.

Значительное количество воспринятой экосистемой энергии уходит обратно в атмосферу, в космос в виде длинноволнового инфракрасного излучения (излучения нагретым телом). Эту энергию именуют эффективным излучением (Е). Оставшаяся часть тепловой энергии, как уже отмечалось, именуется радиационным балансом. Это энергия, эффективно используемая экосистемой, «идет в дело».

Источником тепла в лесных сообществах и в местообитаниях лесной растительности является Солнце. Солнечную радиацию, как уже отмечалось, нельзя отождествлять однозначно ни с теплообеспеченностью ни с физиологической освещенностью. Это всегда комплекс под названием солнечная радиация. Часть спектра солнечного луча, длинноволновая его часть по существу представляет тепловую радиацию (инфракрасные, красные и оранжевые части спектра). Фиолетовые, зеленые, синие лучи – образуют физиологическую радиацию (Крамер, Козловский, 1963).

Тепловые режимы

Тепловая радиация солнечного облучения хотя и отвечает за условия теплообеспеченности, связь тепловых условий местообитания с показателями длинноволновой части солнечного спектра в этом пункте далеко не пропорциональна. Большое влияние на тепловые условия местообитания оказывают циркуляционные процессы в атмосфере. То есть тепловые условия в любой точке земной поверхности являются функцией солнечной радиации, поступающей к соответствующему участку атмосферы, но определенным образом трансформированной переносами тепла в атмосфере, порожденными циркуляционными процессами и тепловым излучением поверхности Земли (Спурр, Барнес, 1984).

В дневные часы максимальное нагревание приземных слоев воздуха отмечается в местах, где имеет место максимальное поступление инфракрасной радиации. В бореальной зоне при одинаковой облачности и загрязненности воздуха это будут местообитания с наименьшими значениями альбедо – участки темнохвойного леса, участки вырубок с нарушенным почвенным и напочвенным покровом. Другое дело, что полог темнохвойного леса, поглощая большую часть тепловой части спектра, очень мало

пропускает тепла к приземным слоям воздуха и к почве, от которого в таежных условиях прежде всего зависит продукционный потенциал лесного БГЦ. Но это уже другой разговор.

В ночные часы лучшая обеспеченность теплом наблюдается в местообитаниях, которые получают больше всего тепла в дневное время. В числе таких объектов на первом месте крупные водоемы, хорошо поглощающие тепло в дневные часы и относительно медленно отдающие тепло в ночное время. Следовательно лесные БГЦ, тяготеющие к крупным водоемам, будут характеризоваться несколько более благоприятными условиями теплообеспечения по сравнению с отдаленными от таких естественных аккумуляторов. В планетарном масштабе это явление выражается в образовании специфического морского типа климата, в заметном снижении показателей континентальности.

Известно, что потребность в тепле у деревьев в разных районах может быть неодинаковой. Например, побеги и корни сосны в разных районах, начинают рост при разных температурах почвы и воздуха, т. е. при разной теплообеспеченности. В сосновых молодняках на Кольском полуострове верхушечные побеги сосны трогаются в рост по накоплению суммы плюсовых среднесуточных температур 50°C . Активизация камбия отмечается с запаздыванием на 4–8 дней, при суммах плюсовых температур около 60 градусо-дней. Многолетние тонкие корни проводящего типа на глубине 10–12 см трогались в рост с запаздыванием по отношению к началу роста побегов – на 7–12 дней при сумме плюсовых температур воздуха $78\text{--}85^{\circ}$. Среднесуточная температура почвы в это время (при трехразовом измерении в сутки) на глубине 10 см переходили рубеж всего $+2^{\circ}\text{C}$.

Энергетический (температурный) баланс в лесу описывают системой формул:

$$Q - A - R - E = 0;$$

$$R = (S + D)(1 - A) - E.$$

где S – прямая радиация, D – рассеянная солнечная радиация. Упрощенная формула радиационного баланса: $R = Q - A - E$.

Количество тепла, поступающего в лесные экосистемы, сильно варьирует. Тесно связанное с реальным поступлением к земной поверхности (к лесному покрову) солнечной радиации, оно подчиняется правилам зональности, поясности и секторальности климата, охарактеризованных в разделе 4 «Лес и климат». Напомним, оно связано с такими факторами, как географическое положение местообитания (высота стояния Солнца), облачность

или запыленность атмосферы, высота над уровнем океана, экспозиция склона.

Чем выше положение Солнца, чем меньше облачность и выше число часов солнечного сияния, тем выше сумма поступающего в единицу времени тепла, выраженная, калориями или Джоулями на см^2 или м^2 дневной поверхности в единицу времени (в минуту, в час, за сутки, за год). С широты Сочи до Архангельска суммарная радиация снижается от 152–156 до 70–90 ккал/см^2 (с 6330–6510 до 3750–4170 МДж/м^2 в год).

С позиций термодинамики, лесные экосистемы представляют собой сложные, весьма мобильные открытые термодинамические системы. Здесь постоянно идет круговорот энергии. Трансформация тепловой энергии в лесном БГЦ согласно законам термодинамики может осуществляется в виде четырех форм:

1 – в форме молекулярной теплопроводности, т.е. в виде физической или истинной теплопроводности, в виде передачи тепла по тканям организмов. Физики называют эту форму *кондукцией*. Это достаточно распространенный поток энергии, в особенности в весьма сложных по организации смешанных по составу и многоярусных насаждениях;

2 – в форме обмена теплом сред (организмов, почвы и воздуха), в виде турбулентной диффузии. К этой форме относят обмен энергией между получившими тепло организмами. Эту форму называют *конвекцией*, *псевдотеплопроводностью*. Это энергия идущая от получивших тепло тел деревьев на нагревание до требуемого уровня воздуха, на нагревание верхних слоев почвы. За счет этой энергии создаются благоприятные тепловые условия для процессов метаболизма.

3 – в виде теплового излучения, преимущественно в области длинноволновой части спектра. Это излучающая радиация. Большая часть ее представлена так называемым *эффективным излучением*;

4 – в виде передачи тепла с водой в различных ее фазовых состояниях.

Теплопроводность в той или иной мере свойственна любым физическим телам, в т.ч. лесным растениям. Явление это постоянно имеет место в лесных сообществах и может проявляться на надорганизменном, организменном, тканевом и клеточном уровнях. В соответствие с этим, тепловой фактор может оцениваться по отношению к лесу на нескольких уровнях. Большое значение имеет влияние теплового фактора на уровне микроклимата, т.е. в виде тепловой (термической) его составляющей в масштабах конкретного местообитания.

Важно хорошо представлять складывающийся баланс теплообеспеченности в лесном биогеоценозе, который оказывается довольно разнообразным в лесах разных природных зон, в насаждениях разных типов лесорастительных условий, разной возрастной структуры и породного состава.

Тепло радиационного баланса расходуется в БГЦ по нескольким статьям:

$$R = T + EL + P + F + M;$$

где T – затраты на транспирация; EL – суммарное физическое испарение (с почвы, с крон, со стволов, с напочвенного покрова); P – теплообмен с почвой; F – теплообмен с атмосферой; M – на синтез живого вещества.

Представляют интерес расчеты расходной части теплового энергетического баланса в лесах бореальной зоны, выполненные в разное время авторитетными лесоведами-экологами.. По данным А.А. Молчанова, (1968) радиационный баланс на широте Обозерской (граница между северной и средней тайгой в Архангельской области) радиационный баланс оценивается в $4,41 \cdot 10^9$ кал/га. Из этого количества тепловой энергии на суммарное испарение используется 64,1 %, на турбулентный обмен – 20,8; на тепловой поток через границу деятельного слоя – 2,0; на фотосинтез и дыхание – 2,8; на физическое испарение живым напочвенным покровом – 6,7; на нагревание почвы – 3,6 %. В изучаемом 30 летнем сосняке к расходуемой солнечной энергии ежегодно поступает на почву с опадом и отпадом 4250– кал, что составляет 88,6 % энергии. Остальное (507 кал и 11,4 %) – поступление с осадками. В таежных условиях энергетический потенциал органики лесных подстилок оценивается 8,5–11,0 тыс. ккал/м², в т.ч. на потенциал опада приходится – 4,9–5,2 ккал/г. Установлено, что по мере минерализации напочвенной мортмассы энергетический потенциал ее снижается.

Н.И. Казимировым (1993) в условиях среднетаежной Карелии установлено, что расходы на общее испарение (включая транспирацию) составляют 45...48 % общего расхода тепловой энергии. На нагрев почвы, растений и турбулентный обмен приходится – около 39 %. Альbedo подстилающей поверхности в среднем за год составляет 15-18 %. Расходы на текущий прирост занимают только 0,5–0,6 %. Общее потребление насаждением солнечной радиации, в основном идущее на обеспечение соответствующей тепловой среды для биоты, оценивается 60–70 %. В дневные часы летом наиболее высокая температура отмечается на поверхности листвы (хвои). Вечером отмечалось обратное явление: температура хвои оказыва-

лась существенно ниже температуры воздуха на высоте и у поверхности почвы.

Образующаяся в лесу тепловая система (распределение и устойчивость температур) обеспечивает постоянное движение воздушной массы. Преобладают нисходяще-восходящие потоки: холодный воздух опускается вниз – теплый поднимается. При этом плотный (сомкнутый) полог крон ночью может задерживать холодный воздух, а разреженный – облегчать пропускание холодного воздуха к поверхности почвы.

Такие же, но заметно отличающиеся от приведенных выше значений статьи расхода получены в республике Коми (Галенко, (1983) и на пространствах Средней Сибири (Стаканов, Грешилова, 2002). На севере Красноярского края и в Коми отмечено повышение (относительно Карелии) расходов на суммарное испарение в притундровых районах. В районе Игарки на суммарное испарение, например, уходит в среднем 50 %, на Севере Коми – 43–57 % радиационного баланса. К сожалению, оценить приведенные данные с точки зрения эффективности использования энергии, не представляется возможным. Очевидно, что не сопоставимыми оказываются не только числовые значения статей баланса, но даже сам перечень статей и их термодинамическое содержание. Ясно, что работы выполнялись по разным, не сопоставимым методикам.

Расчет суточного теплового баланса в таежных лесах республики Коми (Галенко, 1983) показал, что радиационный баланс над пологом сосняка черничного средней подзоны тайги составил 44 % от суммарной радиации (218 от 495 кал/см²·мин). Расход на эвактранспирацию (суммарную, включая транспирацию) был оценен в 48 % от радиационного баланса, в т.ч. на транспирацию затрачивалось в среднем 29 %. На турбулентный обмен с атмосферой уходило 42 %. Теплообмен с почвой составлял около 10 %. Прослеживаемые различия между результатами исследований вполне допустимы, поскольку рассматриваемые показатели весьма мобильны и четко детерминированы, с одной стороны, спецификой климатических факторов, с другой – особенностями структурной организации насаждений.

Суточный радиационный баланс неодинаков в насаждениях разных формаций преобладающих пород (рис. 37). При незначительных разнице в значениях этого показателя в целом за сутки, в сосняках и ельниках отмечен неодинаковый ход кривых динамики отдельных составляющих (суммарной радиации, затрат на турбулентный обмен с почвой и с температурой) за утренние, вечерние и дневные часы. В целом в сосняках эти пока-

затели оказались более благоприятными для лесного сообщества, что связано с особенностями структуры полога насаждений этой формации.

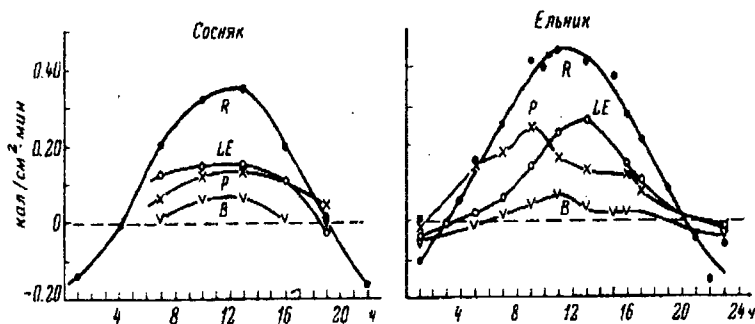


Рис. 37. Суточная динамика составляющих теплового баланса в средней подзоне тайги республики Коми (по Э.П. Галенко, 1983)

Количество тепла, поступающего в лесные экосистемы за вегетацию, в течении суток, по сезонам года, сильно варьирует. Тесно связанное с реальным поступлением к земной поверхности, к лесному покрову солнечной радиации, оно подчиняется общим правилам зональности, поясности и секторальности климата, охарактеризованных в разд. 4 «Климат и лес». Оно связано с такими факторами, как географическое положение местобитания (высота стояния Солнца), высота над уровнем океана, экспозиция склонов. Тепловой фактор является определяющим при продвижении леса в высокие широты и по высоте над уровнем моря. Пороговой величиной этого распространения еще А. Гумбольт установил изотерму 10° июля. Позднее этот порог был подтвержден П. Майером. Отметим, что эти положения классиков – географов справедливы лишь в общегеографическом аспекте. В масштабах отдельных районов и даже провинций этот порог, как оказывается, может нарушаться.

Оптимальным режимом тепла для леса принято считать такой, который обеспечивает необходимым количеством тепловой энергии физиологические процессы и все ростовые и стадийные изменения растения. Обзор многочисленной литературы позволяет привести следующие рамки тепловых условий для свершения древесной растительностью бореальной зоны важнейших жизненных процессов (табл. 20).

Хотя тепло обуславливает свойства растительности в составе целого пакета других экологических факторов, роль его в функционировании леса

целесообразно рассматривать отдельно. Причем, самым рациональным признано рассматривать роль тепла раздельно, применительно к основным функциональным процессам и жизненным этапам лесной растительности. Вместе с тем, полученная информация будет более убедительной, если функциональные аспекты тепловой обусловленности рассматривать на фоне закономерностей складывающихся режимов теплового режима в лесных БГЦ разных формаций и структур. Эти режимы будут зависеть от возраста и высоты древостоев, от их полноты и породного состава. Общее представление о суточной динамике полей температур в пологе леса и почвенном профиле дают рис. 38 и 39.

Таблица 20. Оптимальные тепловые параметры функционирования лесных насаждений бореальной зоны (компиляция)

Физиологические функции и процессы	Температурные условия, °С					
	хвойные			лиственные		
	оптимум	интервал удовлетворительного	минимум	оптимум	интервал удовлетворительного	минимум
Фотосинтез	12–20	10–30	–5 (+8)	12–25	10–32	–5
Дыхание	30–35	20–35	–20	20–40	15–40	–15
Рост побегов	15–25	12–30	+3	15–25	10–30	+2–3
Транспирация	20–25	15–35	–2	20–25	12–30	–2
Прорастание семян	8–25	5–30	+5 (+7)	10–25	5–28	+3+4

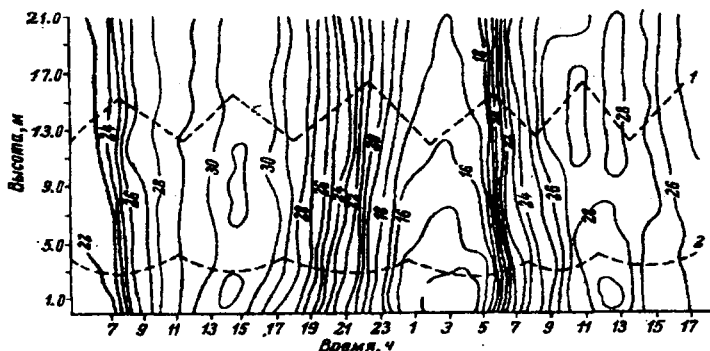


Рис. 38. Пространственно-временное распределение температур воздуха в ельнике чернично-зеленомошном средней подзоны тайги (Республика Коми; по Э. Галенко, 1983); 1 – верхняя граница; 2 – нижняя граница полога

Согласно рис. 38, температурные условия в пологе насаждений достаточно сложны. Они весьма динамичны и в пространстве и во времени. Достаточно однородной стратиграфия температуры воздуха в сосновых с елью насаждениях средней подзоны тайги в республике Коми при циклоническом типе погоды оказывается лишь в интервале 5–6 часов и 18–20 часов. Наибольшая неустойчивость отмечается в интервалах 1–4 и 12–14 часов суток.

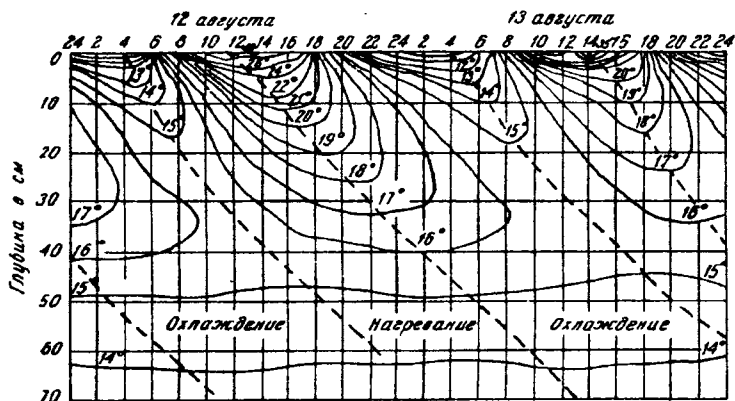


Рис. 39. Термоизоплеты почвенного профиля в середине августа в районе южной тайги

В общих чертах суточный ход температур в пологе леса и в корнеобитаемом слое почвы оказывается сходным. Естественно, имеет место определенное смещение во времени волн максимумов и минимумов. Как в показателях температуры воздуха, так профили почвы отмечены периоды охлаждения и нагревания, по-своему подчиняющиеся суточным ритмам поступления в экосистему леса солнечной радиации. Изменения температур в пологе леса оказывается, соответственно, более мобильными и более глубокими, чем в почве.

Очевидно, что для лесной растительности важны не просто определенные критические или существенно значимые величины теплообеспеченности (обычно сумм температур), но и режимы поступления тепла, чередование и продолжительность проявления оптимальных, пессимальных и экстремальных (летальных) их значений. Причем в силу особенностей экологии древесных пород, эти режимы должны быть в каждом случае достаточно специфичными.

Рассматривая обусловленность теплового режима местообитаний влиянием пологом леса, необходимо иметь в виду неоднозначность этого климатического показателя для лесной растительности в разных географических условиях. Если понижение температуры в подкroновом пространстве где-нибудь в зоне широколиственных лесов однозначно является положительным моментом, поскольку сокращаются потери влаги на испарение, то в таежных условиях понижение температуры на 1–2° – это существенное ухудшение условий почвенного питания, это значимое снижение интенсивности фотосинтеза, это связанные фотосинтезом определенные потери продуцирования насаждения.

Связь функционирования лесных БГЦ с температурой среды всегда проявляется на фоне действия других экологических факторов, как абиотических, так и биотических. Для большей наглядности оценка роли теплового фактора для насаждения оценивается чаще всего эскизно, на примерах связи только с показателями температуры воздуха или почвы. Между тем решение вопросов теплообеспеченности лесных насаждений требует учета комплекса одновременно действующих факторов. Более обоснованными будут решения, опирающиеся на изучение роли температуры и показателей увлажнения воздуха и почвы, одновременно. Как приход солнечной радиации, так и характер ее трансформации лесной растительностью подчиняются географическим закономерностям, известным по явлениям зональности, поясности и секторальности.

Наблюдения конца 40 – начала 50 гг. прошлого века, выполненные А.А. Молчановым, [1961] на границе северной и средней подзон тайги в Архангельской области показали, что независимо от породного состава и структуры насаждений, самые высокие значения температур воздуха за вегетационный период наблюдаются непосредственно над кронами деревьев. И от этого рубежа температуры снижаются как вверх, так и вниз по профилю полога. Эти данные убедительно подтверждены обстоятельными исследованиями на стационарах Института биологии Коми филиала РАН [Галенко, 1983].

Температура среды и метаболические процессы

Связь функционирования лесных БГЦ с теплообеспеченностью довольно обстоятельно изучена в разных географических районах, в самых разных лесорастительных условиях. Чаще, как уже отмечалось, этот вопрос рассматривается в связи с влиянием температур без учета других факторов, отдельно

по воздушной среде и почве. Однако такой подход наиболее ярко демонстрирует рассматриваемое явление и он вполне оправдан. И все же рис. 40, позаимствованный у физиологов Х. Лир и др., (1974), иллюстрирующий одновременно связь фотосинтеза с температурой воздуха и освещенностью, несравнимо информативней самых убедительных свидетельств частного характера. На рис. 40 продемонстрирована зависимость интенсивности фотосинтеза световой и теневой частей ассимиляционного аппарата от уровней освещенности, оцениваемой люксметрами, и температуры воздуха. Четко прослеживается закономерности: для достижения максимальных значений поглощения CO_2 теневой части ассимиляционных органов требуется более высокие показатели освещенности и более высокие температуры, чем для световой хвои.

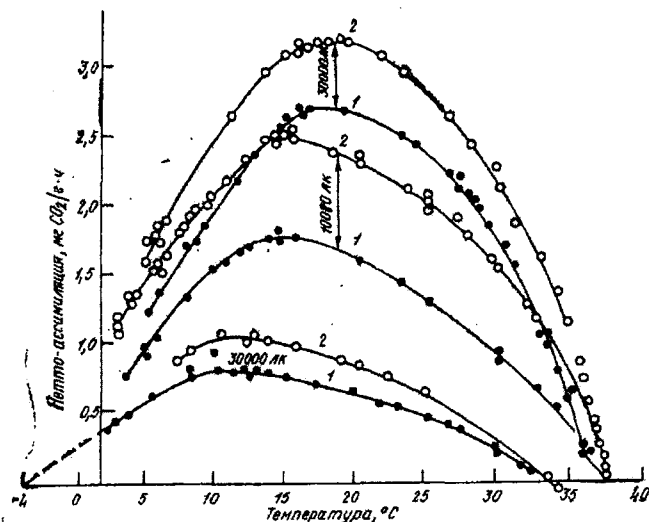


Рис. 40. Зависимость нетто-ассимиляции (интенсивности поглощения CO_2) или обыкновенной от температуры при различной интенсивности света по Х. Лир и др., 1974; 1 — освещенные ветви, 2 — затененные ветви

Каждый географический район характеризуется определенными показателями климатических условий на локальном (местном) уровне. Помимо традиционных показателей температурного режимов различия могут выражаться самыми разнообразными показателями. Среди таковых используется дифференциация вегетационного периода по периодам разной степени благоприятности-неблагоприятности, по периодичной повторяемости тепловых условий разных уровней, по сходству условий метаболи-

ческих процессов у древесных растений, по наличию разного рода аномалий и т.п.

Установлено, например, что в таежной зоне на территории Республики Коми колебания температур воздуха в многолетнем режиме в одни и те же календарные сроки может составлять 10–12°. Обычно в течение лета бывает 3–4 периода с понижением температур. Температура воздуха в кронах деревьев в июне может снижаться в районах северной тайги до –2 – (–4), в средней – до –5 – (–7°). Рост деревьев в такие периоды приостанавливается или сильно замедляется.

На Кольском полуострове (Цветков, 1984) для начала роста сосны требуется 36–50° плюсовых температур. В первой декаде июля самый интенсивный рост происходит при температуре 15–17°. Зоной оптимума является интервал 14–25°. В условиях Карелии оптимальными для роста сосны можно считать 45–55, в средней тайге – 65–90 дней (Климат Карелии, 2004). По данным Э.П. Галенко в Республике Коми повторяемость активных температур (10–25°) составляет в северотаежных районах в среднем 74 %, в средней тайге – 83 % продолжительности вегетационного периода. На Кольском полуострове в притундровой подзоне период с температурой 15–20° составляет считанные дни (не более 10 % вегетационного периода, в северотаежных районах (южная часть Мурманской области) достигает 19 дней или 16 % периода вегетации.

Исследования на Кольском полуострове (Цветков, 2002) 70–80 гг. выявили некоторые закономерные связи роста верхушечных побегов сосны в годовых циклах с показателями температур воздуха и некоторыми показателями увлажнения. Коэффициенты парной корреляции текущего прироста с показателями климата за период с 1945 по 1981 годы составили следующий убывающий ряд:

- с суммой температур за май–август предыдущего года 0,634+(–0,09);
- со средней температурой предыдущего года 0,561+(–0,08);
- с суммой эффективных температур за предыдущий год 0,554+(–0,08);
- с суммой температур за май–август текущего года 0,345+(–0,06);
- со средней температурой за май–июль текущего года 0,443+(–0,11);
- с суммой осадков за текущий гидрологический год 0,392+(–0,09);
- с суммой эффективных температур за предыдущий год 0,312+(–0,13);
- со средней температурой за текущий год 0,302+(–0,11).

Значения рассчитанных некоторых других показателей теплообеспеченности и увлажнения оказались ниже 0,302 и здесь не приводятся. Изложенные материалы, увы не подтверждают надежной связи прироста с

температурой воздуха и в общих чертах не согласуются с исследователями по другим районам. Обращает на себя внимание более тесная связь прироста с показателями температур за предшествующий год, нежели за текущий. Кстати, подобная же закономерность была получена при изучении роста сосны по радиусу ствола. Изменение показателей погодных условий по пятидневкам за вегетацию 1980 г. приведены на рис. 41.

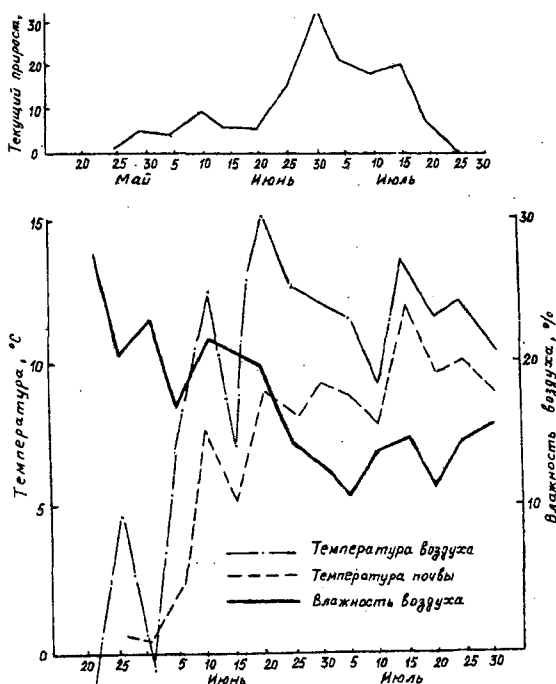


Рис. 41. Текущий прирост побегов сосны и погодные условия по пятидневкам на Кольском полуострове (1980 г.)

По мнению большинства ученых с температурными условиями локальных местообитаний в той или иной мере напрямую связаны все показатели функционирования древесной растительности. Подтверждением могут служить данные по Республике Коми. В средней подзоне тайги на территории Республики Коми по данным К.С. Бобковой и Э.П. Галенко, (1981) ель и сосна начинает рост в 1–2 декадах июня, иногда – с большим запаздыванием – в начале июля. Начало роста побегов отмечается при суммах плюсовых температур 150–220°. Для начала роста хвой нужно накопить 300–400°. Рост почек начинается при накоплении температур 230–260°.

Известно, что для разных фаз развития растений: прорастания семян, цветения, созревания плодов, для роста дерева в молодом и спелом возрасте, для плодоношения и вызревания семян нужны разные термические режимы. Больше того, разной требовательностью к теплу характеризуются разные фазы плодоношения, в частности разные фазы вызревания пыльцы. Эти фазы отличаются высокой чувствительностью к изменениям температуры среды. Исследованиями на Урале и в Сибири (Т.П. Некрасова) показали, что при обычной высокой изменчивости метеоданных весной, лучше всего связь фаз развития пыльцы с теплообеспеченностью выражается через накопление определенных долей эффективных температур (рис. 42).

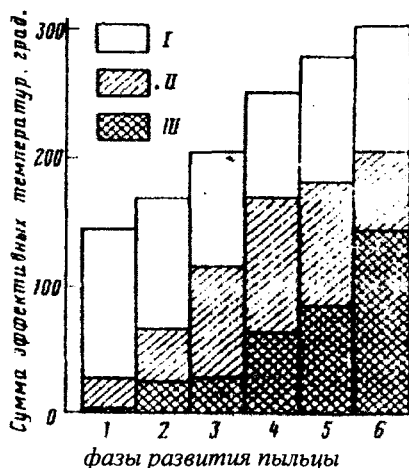


Рис. 42. Связь наступления фаз вызревания пыльцы сибирской (I), сосны обыкновенной (II) и кедра сибирского с суммами эффективных температур (Фазы: 1 – начало мейоза, 2 – апогей мейоза, 3 – конец мейоза, 4 – интерфаза, 5 – митотические деления в мужском гаметофите, 6 – вылет пыльцы; по Некрасовой)

Согласно многолетним исследованиям в Финляндии (Sarvas, 1967) показателями прохождения отдельных фаз могут служить суммы эффективных температур в градусо-днях с температурами выше пороговой $+5^{\circ}\text{C}$. Для прохождения фазы мейоза у сосны требуется 70 градусо-дней, для завершения фазы вылета пыльцы – 230, для оплодотворения – 401, для созревания

ния семян – 933 градусо-дней. Доля тепла, требуемая для прохождения мейоза составляет 5,6 %, для зацветания – 17,3 , для созревания семян 77 % от годовой суммы эффективных температур.

Связь метаболических процессов с обеспеченностью теплом местообитаний далеко не всегда удается четко обозначить экспериментально. В частности, невозможно достаточно корректно охарактеризовать интегральные показатели функционирования насаждения (его рост, продуктивность) определенными температурными режимами. При регулировании тепловых условий необходимо помнить о диапазоне тепловых условий нужных для растений, необходимо учитывать упомянутые возрастные различия. Еще сложней ситуация в смешанных по составу насаждениях сложных по структуре полога, когда древостой образован несколькими породами, представленными в разных ярусах.

Примечательно, но рост растений зависит не только от среднесуточной, но и от ночной температуры местообитания. В этом убеждают интересные эксперименты, проведенные американскими лесоводами (рис. 43). Кстати, это явление хорошо известно растениеводам. Некоторые овощи лучше всего растут при повышенных температурах ночного времени.

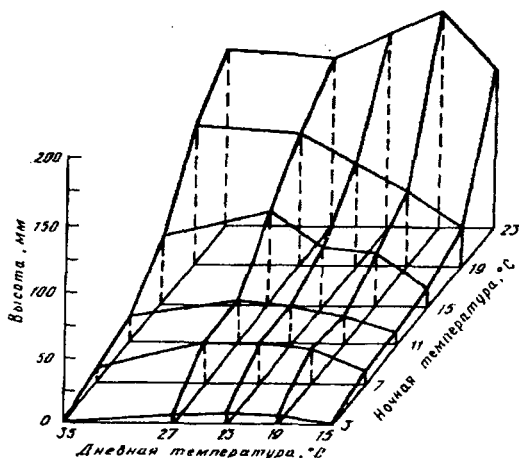


Рис. 43. Средняя высота сеянцев ели Энгельмана при разных сочетаниях дневных и ночных температур воздуха
(по Стурр и Барнес, 1984)

В Подмоскowie в суточной динамике температуры воздуха наибольшие различия достигаются между лиственным лесом и открытым участком. В утренние часы различия в температуре припочвенного слоя воздуха

в березняке составляет $0-0,2^{\circ}$, днем – $5-7^{\circ}$. На открытом месте (на вырубке) суточные различия могут достигать $20-30^{\circ}$. Принято считать, что суточный ход температуры в слое $0-2$ м определяется теплообменом между воздухом и почвой, турбулентностью воздуха.

Лес и температуры окружающей среды

Роль леса в определении тепловых условий проявляется, прежде всего, через влияние полога, который способен задерживать до 99 % лучистой энергии, достигающей дневной поверхности открытых местообитаний. По современным представлениям тепловая энергия в лесу выявляется в разных формах: в форме излучения, в форме температуры внутри деревьев, в формах ощущаемого и скрытого тепла воздушной компоненты окружающего пространства. Тепловой режим воздуха под пологом по его профилю подчиняется тем же закономерностям, что и в системе «открытое место – полог леса». Наибольшие колебания температуры имеет место в припочвенном слое. Вверх по профилю полога эти различия уменьшаются.

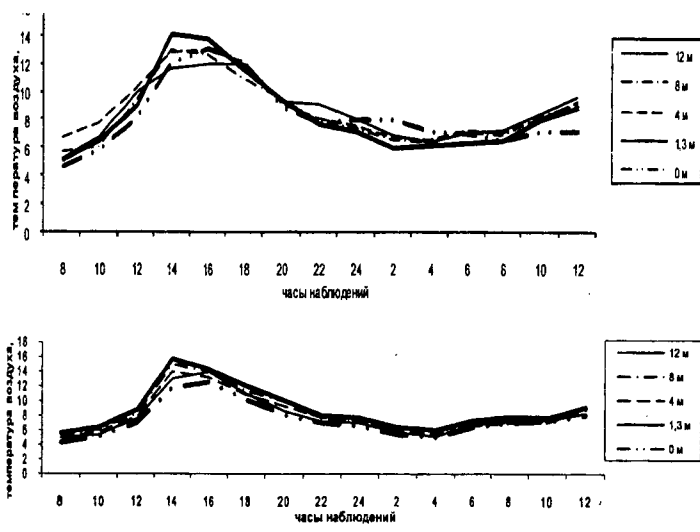


Рис. 44. Температура воздуха в сосновых жердняках (45–47 лет) Имандровского лесничества (18–19 июля 1967 г.): А) сосняк кустарничково-лишайниковый (10С, 47 лет, $p=0,8$, H_{cp} 11,7 м), Б) сосняк брусничный (10С+Б, 46 лет, $p=1,1$, H_{cp} 12,6 м)

Полог леса – это деятельное пространство, в зоне которого проявляются большие интервалы как нагревания воздуха, так и разных форм отдачи тепла. Полог леса оказывает влияние на термический режим воздуха на разных уровнях: ниже кронового пространства, включая поверхность почвы, на разных высотах в кроновом пространстве и выше полога.

Суточная динамика температур воздуха на разной высоте в пологе сосновых жердняков лишайникового (вверху) и брусничного (внизу) ТЛУ показана на рис. 44. В общих чертах суточный ход температур в лесу во всех случаях идентичен (сравним рис. 44 и 28). Обращает внимание пониженная амплитуда температур в характеризующих насаждениях на Кольском полуострове на всех анализируемых высотах, а также небольшие различия между сопоставляемыми типами леса в целом, в сравнении с условиями средней подзоны тайги (см. данные Э.П. Галенка). Обусловлено это различиями в географии местоположения объектов ($67^{\circ}40'$ и $63^{\circ}10'$ с.ш., соответственно).

На пространствах европейского Севера России по данным «Справочников климата, Госкомгидромет...» период со среднесуточной температурой более 10°C на пространствах притундровых лесов колеблется от 21 до 44 дней, в северной тайге – составляет 28–55 дней, в средней подзоне – 78–84 дня. Наибольшая относительная изменчивость в подзоне притундровых лесов, меньше всего из рассматриваемых – в ландшафтах средней подзоны тайги. По данным Э.П. Галенко, (1983) на пространствах республики Коми в северотаежных районах период с эффективными температурами колеблется от 30 до 50, в ландшафтах средней подзоны – от 80 до 85 дней.

В северотаежных районах период с эффективными температурами охватывает июль и по 3–5, 5–11 дней, соответственно в июне и августе. На территории средней подзоны тайги в республике период с эффективными температурами охватывает июль, 23–25 дней июня и по 10–15 дней мая и августа.

Наиболее характерен для лесных насаждений плакорных местообитаний сезонный ритм изменения температур радиационного типа, для которого присуща суточная амплитуда температуры $5\text{--}10^{\circ}$ с максимумом в послеполуденные 13 часов, с минимумом в 3–4 часа).

Летом среднегодовая температура в лесу несколько ниже, чем на открытом месте, а зимой – теплее, чем на открытом месте. Различия эти невелики и выражаются долями градуса. При этом наибольшая разница от-

мечается на поверхности почвы. Более ощутимо влияние леса на амплитуды температур. Максимум этих различий наблюдается летом.

Древесный полог оказывает влияние на тепловые характеристики почвы. В лесу она прогревается медленнее. В южных районах эта разница с открытым местом достигает 7–8°C, в северных (в тайге) – меньше – 3–5°C. Тепловой режим в лесу связан с составом древостоя с его сомкнутостью, густотой, возрастом, ярусностью, выражаемыми типом леса. Полог леса умеряет опасность возникновения и силу заморозков. Температуры воздуха в лесу определяют состояние и рост подроста, подлеска. С тепловыми условиями почвы связана активность камбия у деревьев основного яруса.

Определенную рассогласованность в охарактеризованных закономерных связях метаболических процессов с теплообеспеченностью вносят прогалины в лесном пологе, представляющие широко распространенное явление. Температура воздуха прогалин и полян заметно отличается от температуры под пологом леса. На небольших полянах разница не велика, но на больших прогалинах, на вырубках различия весьма существенны. В дневные часы воздух прогалин прогревается сильнее чем под пологом. В ночные часы воздух на прогалинах сильно выхолаживается. Здесь возможно образование заморозков образование «морозобойных ям». Опасность заморозков возрастает на прогалинах и вырубках, окруженных плотными насаждениями с подлесочным ярусом.

С увеличением размеров прогалин тепловой режим на них все больше приближается к температурному режиму открытого места. При образовании чередующихся участков вырубок, насаждений приходится считаться с наличием зон, примыкающих к насаждениям, к стенам леса. Большое значение при этом имеют экспозиция опушек относительно сторон света, а также условия рельефа. Тепловой режим леса оказывает большое влияние на водный баланс, на формирование стока, на транспирационные потери влаги. Летом лес оказывает охлаждающее влияние на окружающий ландшафт, а зимой – является источником тепла. Роль теплового фактора наиболее рельефно проявляется при рассмотрении показателей энергетики лесных насаждений.

С тепловыми условиями в пологе насаждений связаны активность ферментов, катализирующих биохимические реакции (фотосинтез, транспирация). При повышении температуры °C увеличивается растворимость питательных веществ, растворимость углекислоты и кислорода в клетках тканей растения, возрастает интенсивность транспирации. Лесоводы знают, однако, что улучшение течения метаболических процессов с повыше-

нием температуры не может происходить беспречно. Положительный эффект прослеживается только до момента достижения некого критического значения – оптимальной величины некого интегрального показателя температуры, влажности, освещенности и содержания элементов питания в почве.

В принципе же по мере повышения температуры воздуха (в пределах оптимума) возрастает интенсивность потока воды по проводящим тканям, поступления в корневые системы элементов питания, возрастает транспирация. При повышенной температуре большая часть метаболитов (углеводы и вода) используется в кронах деревьев. Поступление их в корневые системы сокращается. В такие периоды отмечается замедление активности деятельности корней. Предполагается, что отмечаемое многими учеными увеличение роста корней в ночное время как раз связано с этим явлением.

Известно, что снижение температуры среды за рамки оптимума влечет за собой снижение общей метаболической активности, уменьшение потока влаги и питательных веществ вверх, в крону. Физиологи связывают это явление со снижением проницаемости мембран. Установлено, что недостаток тепла выражается не только в замедлении физиологических реакций в растениях, но также в сдерживании влагообеспечения. В условиях пониженной обеспеченности растений элементами питания и замедления влагообеспечения становятся понятными высказывания ученых о том, что недостаток минерального питания в условиях Севера в определенной мере может быть компенсирован повышенной теплообеспеченностью местообитаний.

Большое значение для обеспеченности теплом имеет положение участка в рельефе. Известно влияние на теплообеспеченность местообитаний высоты над уровнем моря, а также различия в экспозиции склонов. Величина уклона оказывает существенное влияние на поступление солнечной энергии. Связь поступления на растительный покров суммарной радиации на склонах разных уклонов показана на рис. 45.

Установлено, что слабо вогнутые участки местообитаний быстрее выхолаживаются в тихие холодные ночи, излучая тепло в окружающее пространство и аккумулируя из него охлажденные массы воздуха. Температура на дне таких понижений ночами бывает на 7–8° ниже, чем на ровных участках. Такие участки называют «морозобойными ямами». На выраженность подобного явления в свою очередь оказывают влияние такие факторы, как дренированность почв. С улучшением дренированности местообитания различия в тепловых условиях между западинами и ровными участками заметно сглаживаются. Слабо дренированные почвы в пониже-

ниях рельефа характеризуются экстремальными температурами и более коротким вегетационным периодом.

Хорошо иллюстрируют зависимость теплообеспеченности от экспозиции склонов материалы немецких экологов (Бауэр и Вайничке, 1971, рис. 46).

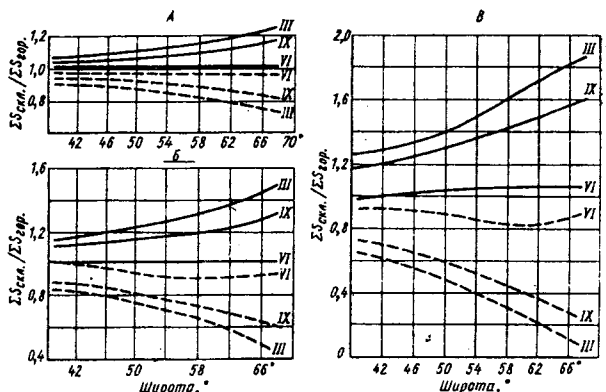


Рис. 45. Отношения средних суточных сумм прямой солнечной радиации на склонах крутизной 5° (А), 10° (Б) и 20° (В) к ее суммам на горизонтальную поверхность, в зависимости от широты места (Агроклиматический справочник): сплошные линии – южные склоны, штриховые – северные, римские цифры – месяцы

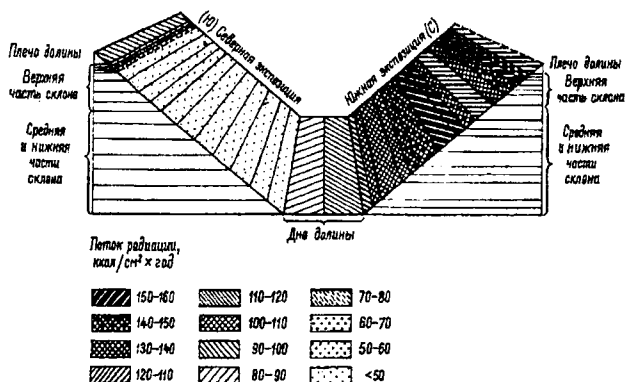


Рис. 46. Солнечная радиация как фактор местообитаний. Характер распределения тепловой энергии радиации в широтной долине в Центральной Европе

Если количество поступающей к подстилающей поверхности плеча склона северной экспозиции принять за 90–100%, большая часть северного склона будет получать 50–60 %. К поверхности плеча южного склона долины и к части средней его части поступает 150–160 %. Понятно, что состав, структура и продуктивность произрастающих в долине растительности будет существенно отличаться.

К сожалению мелкомасштабные климатически карты и атласы, используемые иногда в практическом лесоводстве, не отражают метеорологических особенностей конкретных ландшафтов и местообитаний. Поэтому в лесоводстве подобного рода различия редко берутся в расчет. Между тем эти различия могут оказаться весьма значимыми в лесокультурном производстве, при выборе режимов и методов изреживания молодых насаждений. Они важны также при выборе характера рекреационного обустройства ландшафтов.

Тепловые условия почвы

Одной из важнейших характеристик тепловых условий лесного насаждения является тепловой режим почв. Теплообеспеченность почвенных процессов в лесных БГЦ естественно тесно связана с общей характеристикой климата (с приходом в экосистемы солнечной радиации, характером ее трансформации пологом леса, с величиной эффективного излучения подстилающей поверхности и местообитания). Большое влияние оказывает структура фитоценоза, определяемая типом леса, возрастом, возрастной структурой и составом и полнотой древесного яруса. Иллюстрацией температурных условий почв на разных глубинах в чистых по составу сосновых жердняках разных типов леса на Кольском полуострове в 1979–1980 гг. может служить материал табл. 21.

Таблица 21. Средние месячные температуры почвы на разных глубинах в сосновых жердняках на Кольском полуострове

Тип леса	Т°	июнь				июль				август			
		5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30
С. лишайниковый	Ср.	4,0	3,3	2,0	1,6	8,1	7,0	4,4	4,0	8,4	7,0	6,6	6,1
	min	2,9	3,1	1,7	1,4	4,3	6,5	3,9	3,9	4,4	3,4	3,2	2,9
	max	7,1	4,5	2,3	1,7	9,9	8,2	4,6	4,2	9,6	8,6	7,9	6,4
С. брусничный	Ср.	3,7	3,3	2,1	1,5	7,7	7,2	4,6	4,2	9,0	6,8	6,8	6,0
	min	2,7	3,0	1,6	1,1	3,7	6,3	3,7	3,8	4,4	3,3	3,4	3,1
	max	8,6	4,5	2,4	1,6	9,7	8,3	4,7	4,3	9,5	8,6	7,7	6,5
С. черничный	Ср.	3,3	2,3	2,2	1,0	6,4	6,6	6,3	4,1	7,7	7,1	6,0	5,2
	min	2,5	3,1	1,6	1,0	3,6	6,3	3,7	3,7	4,5	3,4	3,4	3,2
	max	7,0	4,4	2,5	1,6	9,8	8,3	4,6	4,4	7,9	9,2	7,9	6,5

На тепловые условия почв в рассматриваемом случае первостепенное влияние оказывает мощность и сложение лесной подстилки. Рассматриваемые разновозрастные сосняки 40–45 летнего возраста мало различались проективной сомкнутостью полога: последняя в рассматриваемый период была близка к предельной и составляла 0,70 в лишайниковом сосняке и 0,73 (в брусничном и черничном типах). Густота древостоя снижалась от лишайникового типа к черничному с 5,8 до 4,1 тыс. деревьев на га; средние высоты оценивались 4,9, 5,1 и 5,4 м, соответственно.

Обращает внимание довольно низкие значения температур почв во всех рассматриваемых насаждениях. Прогревание почвы идет с существенной задержкой. Наиболее корнено насыщенный горизонт 10–20 см за июнь даже в наиболее благоприятных условиях прогревается в среднем лишь до 1,6–3,1 градуса, в июле – 4,4–7,7°, в августе – до 6,0–7,1°. Максимальные значения в июне не превышали 2,5–4,0°, в августе – 7,9–9,2°. Самая высокая абсолютная температура на глубине 20 см (10,2°) отмечена в первой половине августа в сосняке лишайниковом. Медленное прогревание почвы в зеленомошных типах леса связано с наличием достаточно мощной подстилки. Таким образом невысокая продуктивность лесов Кольского полуострова напрямую связана с низкой теплообеспеченностью почвенной сферы насаждений.

По наблюдениям Э.П. Галенко, (1993) в среднетаежных условиях Республики Коми тепловые условия значительно благоприятней. По ее данным до температуры 3–6°С на глубине 10 см в средней тайге Республики Коми почва прогревается в сосняке черничнике уже к 10–15 мая, в сосняке еловом – к 20–25 мая и только в ельнике черничном – только к 1–5 июня. То есть налицо связь темпов прогреваемости со структурой полога с которой напрямую связана величина радиационного баланса под пологом.. Еще более благоприятные тепловые условия в сосняках на песчаных почвах отмечал А.А. Молчанов, (1952) в Архангельской области.

Лесоводы знают, что с увеличением теплообеспеченности возрастает микробиологическая активность в лесной подстилках и в почве. Ускоряются темпы минерализации растительного материала, повышается содержание в почве содержание азота и других элементов питания, увеличивается насыщенность почвенных растворов основаниями, снижается кислотность субстратов, повышаются темпы поступления элементов питания в корневые системы деревьев. Напротив, с понижением теплообеспеченности местообитаний по меткому замечанию А. Крюденера «почвы становятся беднее». Они работают в замедленном режиме и «не на полные обороты».

По исследованиям Н.А. Воронкова и С.А. Кожевниковой, (1970) существенное влияние на ход прогреваемости, на скорость оттаивания почв оказывает участие в составе древостоя лиственных пород. Увеличение участия березы обеспечивает значимое ускорение оттаивания и прогревания. Исследователи делают заключение: если в контроле (луг) в Подмоскowie оттаивание почвы начинается снизу (по первому типу по Качинскому), то в смешанном березняке еловом – снизу и сверху (по второму типу), то в ельнике – только сверху (по третьему типу).

Энергетика лесных биогеоценозов

Интересные исследования по оценке связи продуктивности насаждений с тепловой энергией осуществлены К.Б. Лосицким и В.С. Чуенковым, (1980). На основе существующих представлений об энергетике метаболических процессов и известных материалах по росту насаждений в условиях контролируемого поступления солнечной радиации были произведены расчеты значений удельных величин прироста, приходящихся на единицы энергии (на 1 кДж/см^2 год и на 100° эффективной температуры).

Результаты исследований сформулированы в виде следующей закономерности: *на единицу радиационного баланса или на 100 градусов C активных температур (при одинаково благоприятной обеспеченности влагой) в насаждениях отдельно взятой древесной породы в одинаковом возрасте в разных районах приходится одинаковая величина годовичного прироста древесины.* Ученые демонстрируют эту закономерность расчетами по еловым и сосновым насаждениям в 100 летнем возрасте. Пример расчетов на примере еловых насаждений приведен в табл. 22.

Как следует из табл. 22, близкие величины прироста на единицу энергозатрат с небольшими колебаниями от средней получены для разных территорий европейской части российских лесов. Эта величина названа учеными *показателем потенциальной продуктивности леса на единицу тепла.* Для отдельно взятой породы эта величина в одном возрасте оказалась величиной почти постоянной. Разницу по вариантам ученые склонны относить на недостаточную точность методики расчетов.

Выявлена высокая теснота связи между средним годовичным приростом древесины и радиационным балансом. Коэффициент корреляции составил по ели 0,973 (по радиационному балансу) и 0,920 – по сумме эффективных температур. По сосне эти показатели составили, соответственно, 0,965 и 0,901; для дуба – 0,901 и 0,845. Хорошо демонстрирует связь

прироста с показателями теплообеспеченности критерий потенциальной продуктивности разных древесных пород рассчитанный учеными (табл. 23).

Таблица 22. Годичный прирост на 1 кДж/см²/год для 100 летних ельников (по Лосицкому, Чуенкову, 1980).

Зона, подзона	Кл. бонитета	Запас/производительность, м ³ /га	Прирост по запасу/по производит. м ³ /га	Радиационный баланс, кДж/см ² за год	Суммарный эффект, температур, градус	Средний прирост на 1 кДж/см ² /общая производительность	Средний прирост на 100%/общая производительность
таежная зона							
Северная	IV,7	285/544	2,85/5,44	50,2	960	0,06/0,11	0,30/0,52
Средняя	III,7	390/712	3,90/7,12	71,1	1400	0,05/0,10	0,28/0,48
Южная	III,0	480/850	4,80/8,50	92,0	1750	0,05/0,09	0,30/0,49
зона смешанных лесов							
Западная часть	I,5	740/1220	7,40/12,20	125,5	2200	0,06/0,10	0,34/0,55
Центральная	I,8	680/1140	6,80/11,40	117,2	2020	0,06/0,10	0,33/0,56
Восточная	II,2	605/1030	6,05/10,30	108,8	2050	0,05/0,10	0,30/0,50
В среднем	—	—/—	—/—	—/—	—	0,06/0,10	0,31/0,52

Таблица 23. Усредненные значения годового прироста запаса и производительности насаждений основных лесобразующих пород на единицу тепловой энергии, м³/га за год

Порода	на 1 кДж/см ² за год		на 100°C активных t	
	по запасу	по производительности	по запасу	по производительности
Сосна	0,04	0,08	0,22	0,40
Ель обыкновенная	0,06	0,10	0,31	0,52
Дуб обыкновенный	0,03	0,05	0,19	0,31
Береза повислая	0,04	0,05	0,20	0,27
Осина	0,05	0,07	0,26	0,38
Ольха серая	0,04	0,05	0,21	0,28

Приведенные показатели потенциальной продуктивности в общих чертах согласуются со скоростью роста каждой из рассматриваемых древесных пород. Физиологически постоянная величина годового прироста на единицу теплообеспеченности ученые объясняют тем, что процесс превращения солнечной энергии при помощи фотосинтеза в органическое ве-

щество протекает везде одинаково и что состав фотосинтетически активной радиации на поверхности суши не изменяется по географическим районам. Из представленной закономерности следует, что количество среднего прироста древесины на единицу тепла, выраженное в массе воздушно-сухого вещества, повсеместно одинаково или очень близко. Это подтверждают данные табл. 24.

Таблица 24. Показатели потенциальной продуктивности насаждений основных лесобразующих пород, м³/га за год

Порода	Ср. масса 1м ³ а.с.в., кг	Ср. прирост на 1 кДж/см ² /м ³		Масса годовичного прироста в а.с.с., кг	
		по запасу	по производи- тельности	по запасу	по производи- тельности
Сосна	530	0,04	0,08	23	42
Ель	460	0,06	0,10	26	46
Дуб	760	0,03	0,05	25	39
Береза	650	0,04	0,05	26	33
Осина	510	0,05	0,07	25	35
Ольха	540	0,04	0,05	22,	27
В среднем	—	—	—	24	37

Вскрытую при представленном анализе закономерность авторы идеи предлагают использовать для решения задач по дифференциации эталонных лесов, как для определения средней потенциальной продуктивности насаждений по запасу на 1 га для отдельных природных зон, так и для определения оптимального состава эталонов лесов, исходя из величин солнечной радиации.

Выводы Лосицкого и Чуенкова не совсем согласуются с результатами работы А.Н. Золотокрылина, (1975), выполнившего весьма обстоятельную работу по сопоставлению эффективности использования солнечной радиации и складывающегося теплового баланса на двух участках рукотворных сосняка и ельника Подмосковья. Элементы теплового баланса в насаждениях, выбранных для эксперимента приведены в табл. 25.

Данные табл. 25 убеждают: энергетические показатели эффективности продуцирования сравниваемых сосняка и ельника различны, что по всем составляющим энергетического баланса рассматриваемый сосняк и ельник оказываются далеко не одинаковыми. Различия в главной составляющей (итоговое за вегетацию отношение затрат на суммарное испарение к радиационному балансу) достигают 17,2 %.

Ученому удалось, используя оригинальные методические подходы и опираясь на наброски специалистов по оценке энергетики леса (Тооминг,

1966; Раунер, 1972), рассчитать энергетические показатели двух насаждений. Удалось сопоставить вполне достоверные значения удельных приростов фитомассы биогеоценозов, различающихся участием анализируемых древесных пород, освоением разного количества ФАР. Рассчитанные условные КПД фотосинтеза функционирования БГЦ приведены в табл. 26.

Таблица 25. Усредненные месячные суммы составляющих теплового баланса на верхней границе леса (ккал/см²) за 1970–1972 гг.

Элементы баланса	Месяцы					
	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
сосняк						
R	7,20	7,15	9,55	7,40	7,27	37,57
LE	4,20	4,05	5,42	4,35	3,30	21,32
E, мм	70	67	90	73	55	355
P	2,70	2,91	3,37	2,82	2,49	14,57
LT/R	0,58	0,57	0,57	0,59	0,51	0,57
ельник						
R	7,08	7,79	9,16	7,10	6,01	37,14
LE	4,50	4,71	5,87	4,50	3,54	23,12
E, мм	75	78	98	75	59	385
P	2,34	2,88	3,04	2,43	2,71	13,40
LE/R	0,63	0,61	0,64	0,61	0,67	0,67

Таблица 26. Осредненные энергетические характеристики продукционного процесса соснового и елового биогеоценозов за вегетационный период

Показатели	Сосняк				Ельник		
	I ярус	II ярус	подлесок	насаждение	I ярус	II ярус с подлеском	насаждение
Приходящая ФАР (Q _ф ккал/см ² за период)	20,8	6,9	3,5	—	20,8	2,5	—
Поглощенная ФАР (Q _ф ккал/см ² за период)	13,9	3,4	1,7	19,0	18,3	1,0	19,3
Транспирация (L _т ккал/см ² за период)	5,8	3,2	1,6	10,6	10,6	1,8	12,4
Текущий прирост (M, т/га)	6,18	2,01	0,96	9,15	6,75	0,53	7,28
КПД фотосинтеза (%)	2,13	2,84	2,71	2,32	1,77	2,54	1,81
КПД транспирации (%)	5,12	3,02	2,91	4,13	3,04	1,41	2,82
КПД общего функционирования БГЦ	0,42	0,94	0,94	0,56	0,58	1,80	0,64

Выявленная несогласованность с результатами исследования Лосицкого и Чуенкова может быть объяснена единственным способом. Как известно, источником тепловой энергии в лесных сообществах и в местообит-

таниях лесной растительности является Солнце. Вместе с тем, солнечную радиацию нельзя отождествлять однозначно ни с теплообеспеченностью ни с физиологической освещенностью. Это всегда комплекс под названием «солнечная радиация» с непостоянным, плавающим соотношением между суммарной радиацией радиационным балансом и ФАР.

Коэффициенты полезного действия разных показателей использования солнечной энергии при разных соотношениях этих составляющих не могут быть одинаковыми даже по единицам измерения, но они обязаны быть эквивалентными в энергетическом отношении, если справедлив закон, выявленный Лосицким и Чуенковым. Увы, отсутствие эквивалентности между представленными в табл. 26 значениями КПД разных критериев теплообеспеченности между сравниваемыми сосняком и ельником показывает, что удельная эффективность использования энергии сравниваемыми насаждениями оказывается все же неодинаковой.

Таким образом, нельзя не принимать совершенно естественную, закономерную зависимость продуцирования лесных экосистем от солнечной энергии. Вместе с тем вызывает сомнение вывод ученых о сходстве эффективности использования солнечной радиации насаждениями разных пород. Нельзя игнорировать также то обстоятельство, что полог насаждения в каждом случае не может быть подобным структуре другого, такого же насаждения и эффективность использования солнечной радиации не может быть одинаковой тем более, если речь идет о насаждениях в разных природных зонах. Таким образом, об идентичности энергетических критериев функционирования лесных биогеоценозах можно говорить лишь с определенными оговорками.

Теплообеспеченность – главное

Тепловая составляющая солнечной радиации хотя и «отвечает» за условия теплообеспеченности, связь тепловых условий местообитания с показателями длинноволновой части солнечного спектра в этом пункте далеко не пропорциональна. Становятся понятными утверждения физиологов о том, что на величину ФАР в лесных экосистемах работает также часть длинноволновой части спектра. Большое влияние на тепловые условия местообитания оказывают циркуляционные процессы в атмосфере. То есть тепловые условия в любой точке земной поверхности являются функцией солнечной радиации, поступающей к соответствующему участку атмосферы.

ры, но определенным образом трансформированной переносами тепла в атмосфере, порожденными циркуляционными процессами.

Давно отмечено, что при выявлении прямых связей физиологических процессов (роста, продуктивности) с температурой среды, необходимо учитывать влияние других «неотключаемых» факторов, например, освещенности (весьма неоднородной в количественном, энергетическом и качественном, спектральном отношении). Широко известна закономерность: оптимальная для фотосинтеза температура изменяется и довольно существенно, в зависимости потока в местообитаний солнечной радиации. Возрастание интенсивности фотосинтеза с увеличением температуры среды происходит лишь в определенных рамках освещенности (при сравнительно невысоких ее значениях).

Существенно, что при повышении температуры за порог оптимальности интенсивность фотосинтеза при любой освещенности снижается. При температурах окружающего воздуха 35° и более происходит разрушение большинства ферментов, вследствие чего многие метаболические процессы затормаживаются. Ученые отмечают при этом возрастание интенсивности дыхания, вплоть до уравнивания его с интенсивностью фотосинтеза (по балансу углекислоты).

Связь фотосинтеза, дыхания, транспирации и некоторых других физиологических процессов с теплом интерпретируется куполообразными кривыми. Иначе выглядит связь с теплом плодоношения древесных пород. Чем ближе температурный режим к среднему многолетнему, тем обильнее цветение, выше урожайность, меньше повреждаемость семян вредителями.

Каждый метаболический процесс, при котором происходит перераспределение энергии между фитоценозом и окружающей средой, служит причиной либо прихода, либо — расхода тепла, относительно некоторого среднего уровня. Однако суммарная тепловая энергия остается в рамках конкретного ценоза и на конкретный временной отрезок практически неизменной, распределившись между потерями и приходами при других параллельно идущих процессах. Много энергии затрачивается на транспирацию и физическое испарение. Значительная часть энергии может излучаться в пространство, поступить в окружающую среду, благодаря физическим законам теплопроводности, конвекции, формируя явление энтропии.

Несмотря на то, что изучением тепловых факторов в жизни древесных пород занимаются давно, этот вопрос остается все же недостаточно изученным. Сказываются отсутствие единой системы методологических построений, узость кооперативно специализированных подходов не только

к выбору методических приемов, но и в постановке задач. Ученые отмечают, что многие работы страдают некорректностью оценок результатов экспериментов.

Остаются пока весьма упрощенными оценки диапазонов реакций растений на фактор теплообеспеченности. До сих пор во многих случаях требовательность к теплу оценивают среднегодовыми температурами района обитания. Между тем при одной и той же средней температуре разных районов тепловой режим по сезонам может существенно различаться. В одном районе при этом наблюдается небольшая амплитуда температур, в другом будет проявляться выраженная континентальность.

Оценка показателей тепловых условий, выполненная с применением упрощенных критериев функционирования древесных пород в течение вегетационного периода, позволила установить взаимосвязь распространения многих пород за вегетационный период с изотермами – линиями, соединяющими одинаковые тепловые условия вегетации. Напомним, начало было положено еще в XVIII веке А. Гумбольдом.

Требовательность древесных пород к теплу

Во взаимоотношениях тепла и функционировании леса различают несколько сторон. Прежде всего, представляет интерес районирование древесных пород по требовательности к теплу. Установлением отношения древесных пород к теплу занимались многие лесоводы. Этой проблемой в свое время занимался Г.Ф. Морозов. Основные породы европейской России ученый расставил в следующий ряд снижения теплолюбия: каштан, дуб, ясень, ильмовые, граб, сосна приморская, сосна обыкновенная, рябина, ольха, береза, пихта, ель, кедр сибирский, лиственница. В наше время большой вклад в этот вопрос внес П.С. Погребняк. Последним разработана шкала требовательности древесных пород к теплу. Выделено четыре группы в зависимости от географического распространения, минимальных термохор, сроков распускания и окончания вегетации:

- очень теплолюбивые (эвкалипты, кипарисы, кедровые настоящие, саксаул, дуб пробковый),
- теплолюбивые (каштан съедобный, дуб пушистый, орех грецкий, акация белая, тополь черный),
- среднетребовательные к теплу (дуб черешчатый, граб, клены, ильм, вяз, липа, бархат амурский, бук, ольха черная),

– малотребовательные к теплу (осина, береза, сосна обыкновенная, тополь бальзамический, пихта сибирская, ольха серая). Все древесные породы, произрастающие в бореальной зоне, являются малотребовательными к теплу. Шкала Погребняка послужила серьезным шагом в деле изучения тепловых факторов в жизни леса, в выявлении взаимоотношений древесных пород с разной требовательностью к теплообеспеченности. Вместе с этим шкала, являясь типично региональной, имеет ограниченную разрешающую способность. Этой шкалой нельзя пользоваться без риска серьезных ошибок уже в районах южной тайги, в лесах Сибири, в лесах Прибалтики.

Остановимся на оценке влияния на лес постоянного дефицита тепла, на рассмотрении роли низких температур разных значений в лесоводственной практике. На первое место по значимости очевидно выходит перманентный дефицит тепла на огромных пространствах Севера России (более 60 % территории). Около 20 % лесного фонда страны приходится на так называемые притундровые леса, где среднегодовые температуры имеют минусовые значения, сумма эффективных температур не превышает 900°.

Тепловой режим в околороговой области низких t очень важен для леса. Увеличение пребывания растений в этой области резко снижает активность всех жизненных процессов. Резко снижается прирост, масса годовой продукции. Средние запасы стволовой массы в притундровых лесах колеблются в пределах 40–90 м³, запасы фитомассы – изменяются в пределах от 30 до 110 т/га. Среди лесных формаций широко представлены мелколесья, редколесья, криволесья, кустарники. Средний прирост фитомассы 2,0–2,2 т/га, средний прирост древесной массы – 0,26–0,40 м³/га. У сообществ лесной растительности собственно лесного типа формаций средние классы бонитета V_a , – V_b .

Почти 25 % лесов европейского Севера России – северотаежные леса, на пространствах которых сумма эффективных температур 910–1320°. Продуктивность лесов здесь оценивается V_a – V бонитета, с запасами стволовой древесины 80–120 м³, с запасами фитомассы 60–120 т/га. Средний прирост стволовой массы колеблется в пределах 0,65–0,85 м³/га – в пределах 3,1–4,0 т/га. Различия в продуктивности лесов между притундровыми и северотаежными лесами, с одной стороны, и продуктивностью лесов, расположенных на границе между южной подзоной тайги и зоной смешанных лесов (приняты за средние по лесной зоне северного полушария), с другой стороны, достигают 70–80 и 40–50 %, соответственно. Эти различия в приближенном виде адекватны различиям в суммах эффективных темпе-

ратур по рассматриваемым подзонам: 480–750 и 250–300 градусо-дней сумм эффективных температур, соответственно. Таковы масштабы влияния на продукционный потенциал северных лесов перманентного дефицита теплообеспеченности.

Особое место при рассмотрении теплообеспеченности лесных сообществ занимает оценка влияния на лесорастительные условия таежных местообитаний мерзлотности почв. Как известно, доля пространств с проявлением вековой мерзлоты на пространствах лесного фонда России превышает 40 %. Недостаток тепла в ризосфере на территориях с вечной мерзлотой является одним из самых распространенных негативных факторов произрастания лесов в бореальной зоне.

Обстоятельные исследования в этой области в условиях Сибири (цитируется по «Лесные экосистемы...», 2002») показывают на существенное влияние явления мерзлотности на минеральное питание древесных растений. Единодушно отмечается негативное воздействие как отрицательных так и низких положительных температур на состав почвенного гумуса и состав катионов почвенно-поглощающего комплекса, на подвижность ионов, кислотность почвенных растворов и на физические свойства почвенных растворов. Кроме того указывается на появление на криогенных почвах морозобойных трещин, по которым происходит перемещение почвенной массы, проявляются сланцеватость, усыхание субстрата и возникновение термокарста.

Одной из особенностей проявления криогенных процессов по данным С. Г. Прокушкина и А. С. Прокушкина, (2002) – специфичность образования, накопления и миграции органических и минеральных веществ. Установлено, что в принципе, миграция веществ в ландшафтах с вековой мерзлотой идет круглый год. Этот процесс не прекращается и в период промораживания грунтов, т.е. продолжается зимой в периоды со «связанной водой». Оказалось, однако, что при замерзании имеет место своеобразное «подтягивание» почвенного раствора, которое способствует накоплению легко подвижных органических веществ на границе с холодным «фронтом». Подобное же явления подтягивания почвенного раствора к поверхностному слою отмечено и в летне-осенний период. Одновременно весной и летом при необычно повышенном увлажнении оттаявших почв наблюдается повышенный вынос веществ из органогенного слоя в нижележащие горизонты или вообще – за пределы экосистемы.

Вследствие низких температур вегетационного периода отмечаемая повышенная подвижность алюминия и железа сопровождается резким

снижением доступности форм калия, аммиачного азота, а также нитритов. Даже обычно подвижный фосфор в этой обстановке теряет подвижность вследствие связывания его полуторными окислами. То есть криогенные почвы демонстрируют отчетливую выраженную олиготрофность. Основные запасы азота находятся в составе органики подстилок. Через недостаток тепла проявляется низкая обеспеченность растений элементами питания.

Серьезный ущерб лесам наносят заморозки. Этот вопрос требует рассмотрения весьма неоднозначно оцениваемого специалистами явления разной устойчивости против невысоких отрицательных температур древесных растений. К сожалению, понятия теплолюбия или холодостойкости, как и другие из факторов, не всегда точно отражают существо дела. Это обстоятельство вслед за Е.М. Ткаченко отмечал И.С. Мелехов, (1980), показавший на примере ели и осины сложную и неоднозначную природу толерантности этих пород к низким температурам. По мнению И.С. Мелехова, (1980) необходимо также учитывать, что явление разной чувствительности к низким минусовым температурам в общегеографическом смысле. (в смысле географического ареала древесных пород) имеет две стороны:

- 1) в смысле реакции древесной породы на низкие t в пределах ареала;
- 2) сравнение ее холодостойкости с холодоустойчивостью других пород в границах общего ареала.

Все определяет географическое положение района, сроки и даже цели оценок. Чувствительность к теплу всех пород в т.ч. осины изменяется в географическом разрезе. Примером неоднозначности холодостойкости древесных пород могут служить осина, ель и даже дуб. В тайге холодостойкие осина и ель часто страдают от заморозков. Но с другой стороны, ель – порода холодного климата. Эта порода часто образует северную и верхнюю границы лесов. Вместе с тем, эта порода чувствительна к заморозкам в течении вегетационного периода. Меняется в зависимости от условий местообитания требовательность к тепловому фактору у дуба черешчатого. Необходимо учитывать, что понятие низкие температуры не всегда означает абсолютные минимумы и максимумы в погодно-синоптическом смысле.

У экологов-агров (в отношении низких показателей теплообеспеченности местообитаний) есть понятие «физиологический нуль», означающее пороговое значение низких температур для растительности. Зна-

чения физиологического нуля оказывается неодинаковым для разных видов, для растений одного вида в разных пунктах ареала и в разном возрасте. Различия эти не столь ощутимы, но оказываются весьма значимыми для устойчивости древесных пород к низким температурам околопорогового уровня (Коровин, 1969).

Древесные породы разной устойчивости к низким температурам отличаются рядом морфо-физиологических признаков. Согласно распространенным мнениям, в жизненном годичном цикле древесных растений отмечают два периода вегетации (период явного роста побегов и период скрытого роста), а также два периода покоя (глубокого или органического и вынужденного). В средней полосе России большинство древесных растений завершают период глубокого покоя в ноябре декабре, с переходом температур через рубеж, близкий к -10° . У зимостойких пород этот переход отмечается повсеместно несколько раньше и всегда более отчетливо, чем у нестойких к заморозкам. Древесные растения с неодинаковой степенью морозостойкости отличаются как по срокам начала и завершения, так и по продолжительности периодов годичного развития. Различия между периодами связаны с различиями в составе и структуре сложных органических веществ (нуклеиновых кислот, липидов, белков).

Среди биохимических признаков приспособительных способностей древесных растений к низким температурам важное место по мнению Л.И. Сергеева, (1964) занимает более высокая энергия обмена веществ: преобладание ассимиляции над диссимиляцией. Поэтому одним из отчетливых признаков морозоустойчивых древесных пород является пониженная интенсивность дыхания. Пониженная интенсивность дыхания у морозоустойчивых пород проявляется не только в период активной вегетации, но особенно рельефно – в период покоя.

Совокупность биохимических процессов, проходящих при завершении периода глубокого покоя в почках и в живых тканях древесных растений, обеспечивает повышение потенциала физиологической активности. У более зимостойких пород создаются предпосылки, обеспечивающие более раннее и более интенсивное вегетирование. И суть морозостойкости этих пород в том, что они, в отличие от неустойчивых к низким температурам, не реагируют на оттепели, на резкие суточные перепады температур.

Низкие температуры и заморозки в теплое время года, как правило, возникают при адвекции (вторжения в ландшафт холодного воздуха). При поступлении волны холода погода изменяется. Началу адвекции предшествует изменение направления и силы ветра. Отмечается высокая облач-

ность, часто – выпадение осадков. Фаза собственно заморозка протекает при проявлении, снижении скорости ветра, прекращении осадков. Усиливается радиационное излучение, понижается относительная влажность воздуха. На начальной стадии заморозка температура почвы и растительного покрова выше температуры воздуха. На второй стадии температура почвы ниже температуры воздуха. Иногда заморозок протекает в динамичном режиме: волна холода перемещается в пространстве. В таких ситуациях ущерб от заморозка неодинаков в рельефе. Наиболее «морозобойными» оказываются открытые склоны, в особенности в их верхних частях.

Различают ранние осенние и поздние весенние заморозки. Первые из них представляют собой преждевременные похолодания, вызванные обычно прорывами холодных масс воздуха с севера при циклоническом типе погоды. Древесная растительность оказывается не готова к быстрому выхолаживанию. Происходит побивание морозом не успевших одревеснеть побегов. Чаще всего страдают от таких заморозков лиственные породы: дуб, бук, ильм.

Нередко истинной причиной побивания древесной растительности ранними заморозками является загрязнение атмосферу, в силу чего происходит задержка одревеснения побегов. Повреждению побегов древесных пород ранними заморозками может способствовать недостаточная обеспеченность почв элементами-биофилами (калий, фосфор), также приводящая к запаздыванию подготовки растений к зиме. Особенно сильно повреждаются молодняки вегетативного происхождения интродуцированных пород.

Большие повреждения, хотя и в меньших масштабах, могут наносить поздние весенние заморозки – возвраты холодов. От возврата холода страдают сосна, ель, а особенности – молодые растения. Поздние заморозки являются настоящим «бичом» для культур ели, создаваемых на сплошных вырубках. Вследствие того, что температура воздуха иногда в конце мая – начале июня опускается до $-5-6^{\circ}$, в массе побиваются тронувшиеся в рост побеги ели.

Большой урон поздние заморозки наносят при цветении древесных пород. Поздними весенними заморозками повреждается даже самая холодостойкая порода – лиственница. Хотя влияние поздних заморозков, в принципе, регулируемо, они наносят пока серьезный ущерб. Лесоводы пока не имеют возможностей управлять этим явлением.

В горных районах могут иметь место летние заморозки. При радиационном выстывании отмечается сток холодного воздуха по склонам замкнутых котловин. Идет образование «озер холода». Происходит застой

и дальнейшее выстывание волны воздуха. Именно в депрессиях отмечают самые низкие температуры ландшафта. Отмечается разная повреждаемость растительности на склонах разной экспозиции. Больше всего выражены повреждения на склонах южной и восточной экспозиции, где больше выражены амплитуды температур.

Ощутимый ущерб лесоводству наносит явление «выжимания корней», природа которого также связана с низкими температурами. В результате промерзания насыщенных осенними осадками почв в них растут кристаллы льда, разрушающие монолитность почвенной толщи. Корни молодых растений не выдерживают нагрузок разрываются. Часто молодые растения целиком оказываются «выжатыми» из почвы и погибают. В особенности сильно страдают посевы и посадки древесных пород на таежных глинистых почвах. Предотвращать перечисленные негативные явления можно, но в определенной мере. Наиболее результативно регулирование способов рубок и правильный выбор способов лесовосстановления.

Вредны для лесной растительности низкие и высокие температуры, выходящие за пределы средних многолетних значений. В условиях средних широт от низких температур сильно страдает дуб, ясень, клены. Особенно сильно страдает дуб по северной части своего ареала (Ярославль, Кострома, Вологда). Именно здесь сильные морозы сочетаются с оттепелями. Опасность возрастает при больших перепадах температур. Морозобоинные трещины часто являются местами развития грибных заболеваний.

Низкие температуры могут дать морозные повреждения молодых деревьев таких холодостойких пород, как сосна, ель и пихта. В Финляндии, на боровых почвах при длительных похолоданиях повреждаются корни сосны и ели (устное сообщение Risto Jalkanen, 1993).

Лесам наносят ущерб экстремально низкие и высокие температуры. Экстремально низкие температуры оказываются фактором, ограничивающим географическое распространение. В подобных ситуациях повреждаются побеги, повреждаются луб, камбий и даже заболонная часть древесины. На стволах появляются морозобоины – продольные трещины. Иногда возникают зоны повреждения камбия, охватывающие часть образующей ствола. Абсолютно низкие температуры в таежной зоне достигают – 60° и ниже. Такие ситуации способны выдержать не все древесные породы. Принято считать, что к числу пород, выдерживающих экстремально низкие температуры, относятся: сосна обыкновенная, лиственница, кедр сибирский, ель, береза, кедровый стланик.

Реакция древесных пород на зимние морозы зависит от предшествующего вегетационного периода. Известно, что в годы с сухим, летом, в особенности в южных районах, может происходить ослабление жизненности насаждений. Зимой, даже при умеренных морозах, такой древесиной может сильно пострадать от обмерзания побегов.

На Севере большой ущерб лесной растительности наносят зимние оттепели, причем не только выше 0° , но и в преднулевой области. Известно, что у древесных растений транспирация начинается с повышением t до -4 $-(-2)^{\circ}\text{C}$. В это время может произойти потеря значительной части влаги, содержащейся в хвое и в молодых побегах лиственных. Корни деревьев в это время находятся в промороженном грунте и не могут восполнить потерю влаги в кронах. Хвоя и побеги в таких случаях повреждаются, погибают. Это явление называется «физиологическая сухость». Заметим, что явление «физиологической сухости», как причина повреждения древесных пород пока учеными дискутируется. Тем не менее, повреждения морозом через иссушение побегов и вследствие глубокого промерзания все-таки имеет место. Повреждаются не только лиственные: осина, ольха, но также сосна.

Причиной повреждений леса могут быть также высокие температуры. Температуру $+50^{\circ}$ выдерживают все аборигены таежных лесов. Однако, в отдельных случаях на подстилающей поверхности открытых участков может отмечаться температура $+60^{\circ}$. В таких случаях гибнут всходы и даже самосев ели. Происходят такие явления, как ожог коры (повреждение камбия), опал шейки корня. Особенно страдают деревца с тонкой корой (ель, пихта, граб, бук).

Физиологи отмечают удивительную способность некоторых древесных пород выдерживать краткосрочно очень высокие температуры, достигающие 66° (Спурр, Барнес, 1984). Отмечена способность молодых древесных растений спастись от высоких температур посредством временного увеличения транспирации. Опасность теплового повреждения растений возрастает с увеличением дефицита влажности. Известны и другие «приспособления природы» для адаптации древесной растительности к высоким температурам.

Отдельные виды в порядке снижения стресса излишнего нагревания способны поворачивать лист ребром к потоку тепловых лучей, другие приобрели приспособления для большего его отражения. Эффективными приспособлениями в этом ключе могут быть особая структура кутикулы, спе-

цифическая окраска, опушенность листа, изменение сроков вызревания тканей, возможность менять степень гидратации белка паренхимы.

Сдвиги в жизнедеятельности древостоев вызывают длительные периоды с необычайно высокими или повышенными температурами. Деревья увеличивают транспирационный расход воды, отмирают генеративные органы. Происходит натуральное «физиологическое иссушение» опасность повреждения высокими температурами возрастает на открытых участках, в особенности паловых (горелых) вырубках, где поверхность темная и отсутствует защита в виде мохово-лишайникового и травянистого ярусов.

Огромный ущерб лесам наносят лесные пожары, частота, интенсивность которых тесно связана с тепловыми характеристиками погоды. При высоких температурах летнего периода вероятности загорания леса резко возрастает. Особое место занимает повреждение деревьев высокими температурами антропогенного происхождения, создающимися при лесных пожарах. Огневые повреждения деревьев проявляются в виде ожогов ствола, ожогов и перегорания корней, ожогов кроны. Воздействие низового пожара в результате которого сгорает напочвенный покров, может быть различным для разных пород, так как опасность ожогового ранения камбия зависит от толщины коры, высоты до начала живой кроны, глубины корней. Такие породы как сосна, лиственница, дуб наиболее огнестойкие, пихта, ель, бук – наименее огнестойкие. В молодом возрасте различия по огнестойкости не существенны. Высокие температуры могут действовать на лес и косвенным путем – через ослабление некоторых физиологических процессов, особенно связанных с фотосинтезом и транспирацией.

Во взаимоотношении леса с тепловым экологическим фактором имеет место и обратное явление (обратная связь). Лесная растительность существенно влияет на температурные условия и на тепловой режим местобитаний. Это влияние леса проявляется через перераспределение лучистой энергии. Последнее определяет и существенное влияние на тепловые характеристики территории, на климатические их условия. Наиболее ощутимо влияние лесов на местный климат.

7. ВЕДУЩИЙ ФАКТОР

«...Вода, у тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха,
тобой наслаждаются, не ведая, что ты такое!
Нельзя сказать, что ты необходима
для жизни, ты - сама жизнь...»

Сент-Экзюпери

Проблема воды – глобальный уровень

Вода действительно олицетворяет саму жизнь, первородную ее сущность, на всех уровнях организации идущих в биосфере биотических и абиотических процессов. Совершенно не случайно внимание науки и широкой общественности уже давно привлекают специфическая природа и комплекс интересных ее свойств, вездесущность и многообразность материального проявления. И при рассмотрении активнейшего участия воды в лесных экосистемах функции ее и свойства далеко выходят за круг интересов лесохозяйственного производства и существования леса.

Особую весомость присутствию воды в биосфере, как важнейшему фактору жизнеобеспечения, придают возрастающие темпы глобального сокращения запасов пригодной для человека питьевой пресной воды, растущие темпы загрязнения всех сфер, в том числе гидросферы. Хотя количество воды на планете в принципе остается постоянным (резервные фонды ее в ледниках не увеличиваются), в ряде регионов дефицит пресной воды остается острой экологической проблемой. Между тем экологи убеждены, что сегодня нет более эффективного пути регенерации вод, очистки загрязненных водотоков, как «пропускание» их через эффективные физико-механические и фильтры лесных почво-грунтов, через биохимические звенья биологических круговоротов с участием физиологических процессов фотосинтеза и транспирации. Эти фильтры надежно работают уже миллионы лет. Однако многие другие пути миграции вод в биосфере сегодня идут помимо лесных экосистем и потому их самоочищение становится все более затруднительным.

Круговорот воды в биосфере – важнейшее условие существования не только человека, а всего живого на планете. Организмы любого из царств природы: растения, животные, микроорганизмы, простейшие не могут жить без воды. Все биологические виды под лунным миром, сообразно особенностей своей биологии, экологических требований и жизненных

стратегий имеют своеобразную «приписку» к разнообразным звеньям, сферам, физическим фазам, уровням круговорота, потоков и превращений влаги.

Детерминированность большинства статей круговорота и водного баланса территорий присутствием лесов и их свойствами открывает возможности для управления водными режимами земель лесоводственными методами. Это направление деятельности должны возглавить лесоводы-экологи вместе с геологами-гидрологами. Однако для овладения искусством управлять водным режимом ландшафтов необходим запас знаний, накопленный лесоведческими и эколого-гидрологическими исследованиями, лесоводственным опытом.

Влага в лесных экосистемах

Роль влаги в функционировании лесных экосистем весьма разнообразна. Во многих случаях оценка ее требует выхода за рамки экологии насаждений. Нормальное влагообеспечение является одним из главных условий функционирования древесных растений и лесных сообществ. Влага также необходима для леса, как сложные биохимические процессы, составляющие главную сущность его жизни. Дело в том, что, во-первых, каждая из важнейших биологических функций организмов не может быть реализована без влаги, во вторых - в естественных условиях растение само на 60–85 % (исходя из его сырого веса) состоит из воды. В активно растущих тканях древесных растений на воду приходится 80–90 % их живого (сырого) веса. Особенно много воды содержат органы, находящиеся в активной физиологической активности (корневые окончания – меристема верхушечных побегов). Сложные взаимоотношения между лесной растительностью и условиями увлажнения требуют рассмотрения проблемы в разных аспектах и по нескольким направлениям, в соответствии с разнообразием функций влаги в жизни лесных экосистем.

Влага является важнейшей составляющей живых организмов – неотъемлемой частью вещественного состава растений. Вода – первый строительный материал при синтезе органического вещества. H_2O – самый активный участник фотосинтеза. Запас влаги обеспечивает терморегуляцию тканей и органов, а также необходимую теплоемкость организмов как физических тел, открыто сообщающихся с ОС.

Испарение влаги помогает при необходимости снижать температуру тканей, поглощение – предотвращает снижение тургора при потере орга-

низмом влаги. Являясь активным теплоносителем, вода обеспечивает круговорот энергии, создает необходимые энергетические условия для всех метаболических процессов растений леса.

Важным фактором водного режима древесных растений является поддержание в клетках и тканях достаточно высокого содержания влаги для обеспечения тургора. Состояние тургора нужно для поддержания естественного течения метаболических процессов. Влага – неперенный участник процесса дыхания. Без влаги невозможен обмен организма со средой, невозможен круговорот вещества и энергии. Только с участием воды протекают процессы роста и накопления фитомассы. Без участия воды не может проходить развитие древесных растений (формирование генеративных органов, цветение, плодоношение и др.).

Физиологи, специализирующиеся на вопросах лесоведения и лесной экологии, при рассмотрении экологической обусловленности функционирования древесных пород, различают несколько групп функций воды или важнейших направлений участия влаги в их жизни. Различают разделы: фотосинтез, механизм и экологию поступления влаги в растения; механизм перемещения воды по тканям растений; экологию транспирационной функции дерева, тургор и водный обмен клетки и тканей, водный баланс организма, экологию и водный баланс лесных экосистем.

Иных подходов требует оценка роли воды в функционировании биологических систем. Здесь важны оценки влияния леса на водный баланс БГЦ, оценки роли воды в биологических круговоротах ценозов разной структуры, роли в разных лесорастительных условиях, в т.ч. обусловленных географически.

Важную составляющую образует влияние лесных экосистем на осадки, на перераспределение влаги в пространстве на водный баланс ландшафтов, разнообразные климатозащитные и средообразующие функции лесных земель в биосфере. Отдельную сторону вопроса для лесоводов представляет оценка позитивных и негативных сторон влияния осадков на лес. Имеет смысл на компиляционной основе кратко рассмотреть эти стороны взаимоотношения леса с влагой.

Физиологические функции

Участие воды в физиологических процессах – самая существенная часть обусловленности жизни влагой. Многие аспекты этого участия остаются не познанными человеком и сегодня. Много тайн скрывается как в

биологической, в чисто физической и, в особенности – в биохимической и энергетической природе явлений активного участия воды в физиологических процессах.

Поступление воды в растения и ее транспорт. Для нормального функционирования древесных растений и сообществ лесной растительности необходимо постоянное поступление влаги в ткани и в органы растений. Обеспечивается это поступление в основном за счет деятельности корневых систем. Быстрому капиллярному передвижению воды и поступлению влаги в корни древесных растений препятствуют значительные силы сцепления воды с частицами почвы. При этом не вся почвенная влага доступна для усвоения ее корнями. Определенная часть влаги почвы находится в связанном состоянии (в песках – 1 %, в глине – 3–6, в иле 10–12, в гумусе – 18–26 % (в весовом отношении) Действуют гидроскопические и гидратационные силы почвенных коллоидов. Связывающая эту часть влаги сила по данным американских ученых (цитируется по Х Лир и др., (1974) оценивается 40–50 атмосферами.

Корень дерева, благодаря своему гидро- и хемотропизму, может опускаться в толще почвы слои, богатые водой и химическими соединениями – элементами питания. Но корням доступна, главным образом, лишь капиллярная влага, которая удерживается субстратом лишь силами до 0,33 атм. Доступной для корневых систем оказывается также так называемая «медленно просачивающаяся влага», которая удерживается в почво-грунтах силами всего в 0,05–0,33 атм.

Так или иначе, для поступления влаги в древесные растения в достаточном количестве нужны развитая корневая и, вообще, эффективная водопроводящая система. Другие пути поступления влаги, в частности, через листовой аппарат, для лесообразующих древесных пород не имеют существенного значения. И все же часть запасов почвенной воды оказывается практически недоступной корневым системам деревьев. Доля этой влаги также зависит от многих факторов, в т.ч. как от гидрогеологических свойств местообитания, так и от биологии древесной породы.

Потребность поглощения влаги из почвы диктуется интенсивностью транспирации, которую, в свою очередь, контролирует задача обеспечения оптимума или необходимого минимума поставки минеральных веществ, а также обеспечения тургора в развивающихся тканях молодых органов древесных пород. То есть имеет место тесная сбалансированность механизма регулирования процессов поступления влаги в корневые системы деревьев, обеспечением тургора и интенсивности транспирации (рис. 47).

При проявлении переувлажнения застойного типа, при затрудненном дренаже традиционно тормозится поглощение влаги корневыми окончаниями и сдерживается образование на всасывающей части корневых систем микоризы. Сложную по биолого-физиологической природе систему образует тесная взаимосвязь между корнем и надземной частью дерева. Эта система ответственна за гармонизацию баланса влаги между надземной и подземной частями биогеоценоза.. Установлены различия по участию в водообеспечении лесных сообществ разных морфологических элементов древесных растений. В корневых системах старых деревьев центрами своеобразного поглощения веществ и влаги по мнению микологов служат не скелетные части корневых систем, а короткие корневые окончания всасывающей части, постоянно превращающиеся в микоризные образования.

Протяженность перемещения воды в тканях древесных растений может превышать десятки метров. Стало быть, подача воды возможна лишь при действии исключительно эффективной, надежно функционирующей проводящей системы. Известна «загадка подъема соков», обнаруживаемая при попытках установить механизм подъема влаги и соков в кроны деревьев. Расчеты показывают, что атмосферного давления для этого подъема явно недостаточно. Не решает вопрос выдвинутая рядом ученых XIX века теория, согласно которой в растениях имеются «связанные друг с другом силами молекулярного сцепления водные нити от транспирирующих органов к поглощающим воду корням».

Движение воды в растениях вдоль градиента уменьшающейся свободной энергии, вдоль так называемого градиента диффузного давления, точнее - против дефицита диффузного давления, происходит под действием так называемой «сосущей силы» (сосущего напряжения). Значения этого показателя (разницы в градиентах давления, выраженной в атмосферах) поддерживающего сосущую силу на нескольких уровнях приводят Крамер и Козловский, (1963):

- влажность почвы близ уровня полевой влагоемкости – 0,1 атм;
- корни при нулевом тургоре – 5,0–6,0;
- листья при нулевом тургоре – 10,0–50,0;
- воздух при относительной влажности 90 % – 140,5 атм.

Основными элементами водопроводящей системы в древесных растениях являются сильно растянутые в продольном направлении мертвые одревесневшие клетки. У голосеменных они представлены 1–5 миллиметровыми трахеидами, обычно соединенными на концах многочисленными перегородками с окаймленными порами. Покрытосеменные кроме того имеют сосуды, т.е. длинные системы трубок, связанные простыми круглы-

ми перфорациями. Длина таких сложных трубок 1–10 м. У 5–20 метровых дубов, ясенеи длина сосудов, согласно Greenidge (1952; цитируется по Х. Лир и др., 1974) может составлять до 95 % высоты деревьев. Ученые отмечают, что обычно сосуды-трубки располагаются не строго по вертикали. У многих хвойных сосуды собраны в спиральные жгуты.

Исследования М.И. Колосовой, (1967) позволили построить классификацию видов древесных пород по свойствам водопроницаемости. Предложено вслед за А.А. Яценко-Хмелевским выделять 10 типов строения проводящих воду систем, различающихся элементами строения и структуры. Породы различаются типами перфораций сосудов (*лестничные и боковые*), сосудистой порозностью, формами поперечных сечений и группировкой сосудов, типами трахеид (*сосудистые или волокнистые*), типами паренхим, типами сердцевинных лучей.

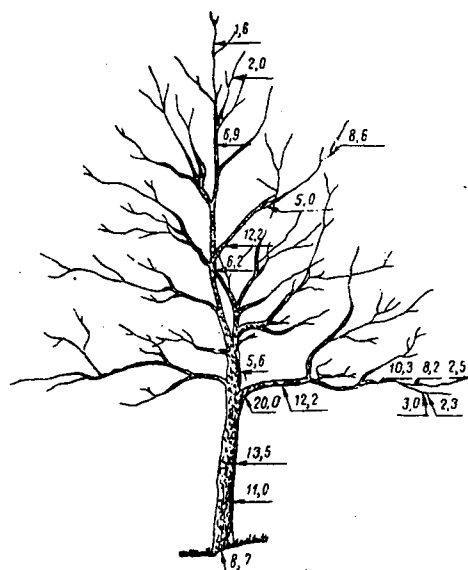


Рис. 48. Изменение скорости передвижения воды (м/час) в стволе дуба в полдень

Виды II–IV типов характеризуются четкими лестничными перфорациями сосудов. Древесные породы с такими типами сосудов – обитатели условий высокой почвенной влажности. Самыми высоко специализированными видами оказываются древесные породы с IX и X типами организации проводящей системы. Это растения аридного климата, ксерофиты. Они характеризуются выраженной засухоустойчивостью.

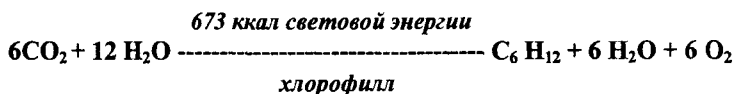
Древесные породы с простыми типами проводящих систем – это растения обладающие достаточной пластичной природой водо-

проводимости. Одним из показателей водопроницающей функции и, стало быть, транспирации, является свойственная биологическим видам относительная поперечная поверхность проводящей системы. Оказывается относительная проводящая поверхность увеличивается по направлению к вершине (рис. 48).

Важным показателем водного тока является скорость передвижения. Древесные породы оказываются по этому показателю очень разнообразными. Наименьшая скорость транспирационного тока отмечается у хвойных пород. Самой высокой скоростью водного тока характеризуются листовые кольцепоровые виды. Породы рассеянно поровой структуры занимают место между предыдущими группами, смещаясь ближе к хвойным.

Скорость водотока не остается постоянной не только по группам видов, не только в разных географических условиях в пределах ареала, но также в разных почвенно-лесорастительных условиях. Она изменяется в сезонном и суточном ритмах функционирования древесных растений, по высоте ствола (рис 47). Экологическая детерминированность водного тока в древесных растениях тесно связана с транспирацией, давно изучаемой лесоведами.

Фотосинтез. Под фотосинтезом понимают процесс получения углеводов из углекислого газа и воды в хлорофиллоносных тканях под влиянием световой энергии солнца. В сущности это комплекс окислительно-восстановительных реакций синтеза органических веществ из неорганических с помощью световой энергии, улавливаемой хлорофиллом. Как все физиологические процессы в живых организмах, фотосинтез протекает в несколько этапов. В упрощенном виде физиологи (Крамер, Козловский, 1963) обозначают фотосинтез как окисление воды и восстановление углекислоты. Самыми активными участниками фотосинтеза выступают вода и углекислота. В образовании молекулы гексозного сахара участвуют 12 молекул воды и 6 молекул CO_2 .



Вода при фотосинтезе вступает в сложные биохимические процессы. Поскольку при дыхании выделяется такое же количество воды, это уже совершенно другая субстанция. По мнению американских ученых (Риклефс, 1979) образующаяся при фотосинтезе молекула кислорода (O_2) получает один свой атом от углекислоты, другой - от воды. При дыхании же потребляемая молекула кислорода отдает один свой атом углекислоте, другой - воде. Эти сложные превращения отображает рис. 49.

Представленная Р.Риклефсом схема не является единственной версией. Немецкие физиологи (Х.Лир, Г. Польстер, Г.-И. Фидлер, 1974) считают, что выделяемый при фотосинтезе кислород образуется только, из молекулы воды. Прежде всего, вода - это тот материал, из которого синтези-

руется новое живое вещество. Хотя в самом синтезе органики вода участвует лишь в небольших количествах, при дефиците влаги этот процесс блокируется вообще. Ток воды в ассимиляционных органах является необходимым условием процесса поставки «строительного материала» к месту синтеза.

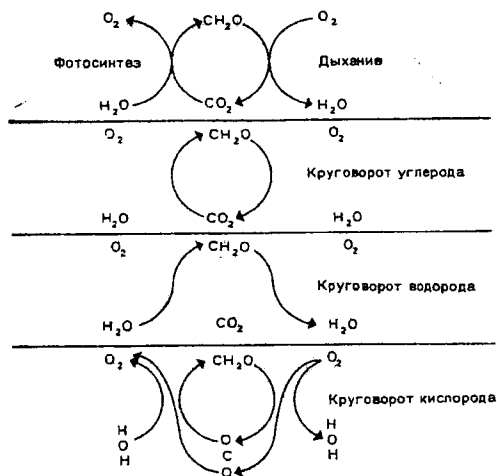


Рис. 49 . Схема круговорота углерода, водорода и кислорода при фотосинтезе (по Р. Риклефсу, 1979). Стрелками показаны пути отдельных атомов. В круговороте кислорода приведены структурные формулы двуокиси углерода и воды (HOH и OSO соответственно).

Интенсивность фотосинтеза древесных растений колеблется в очень широких пределах. Прежде всего, это видовой показатель, т.е. зависящий от биологии вида. Связанный с интенсивностью освещенности, фотосинтез характеризуется четко выраженной ритмикой в сезонном и суточном ритмах.

Ход фотосинтеза при прочих равных четко связан с концентрацией CO_2 в воздухе, с температурными условиями, а также с условиями увлажнения. Интенсивность фотосинтеза во многом определяется освещенностью. Отмечено, что при высокой освещенности ход процесса мало зависит от температуры. Но в области умеренной освещенности увеличение температуры приводит к значимому повышению фотосинтеза (Риклефс, 1979). При недостатке влаги в почве интенсивность фотосинтеза снижается. Избыток влаги в почве также сказывается неблагоприятно. Оптимальной для

фотосинтеза для большинства древесных пород бореальной зоны принято считать такую влажность, когда содержание влаги в почве несколько ниже полевой влагоемкости.

Ассимиляция и дыхание. Ассимиляцией большинство физиологов называют превращение поступивших в растения питательных веществ в элементы протоплазмы и клеточные стенки. Этот процесс, как известно, «работает» на рост анатомических элементов растений. В связи с этим ассимиляция наиболее интенсивно протекает в меристемных тканях, в апикальных окончаниях побегов, в камбиальном кольце деревьев. Простые сахара, переместившиеся к этому времени в область ассимиляции превращаются в целлюлозу, лигнин, пектины. Происходит образование белков, аминокислот, входящих в протоплазму.

П. Крамкр и Т. Козловский, (1963) называют процесс ассимиляции «перекрестком» всего обмена веществ растения. В рамках ассимиляции протекают сложнейшие биохимические превращения самых разнообразных веществ. Имеющаяся протоплазма создает новые свои элементы и новые клеточные стенки. Образуется много других веществ (алкалоиды, каротины, хлорофиллы, эфирные масла, смолы и др.). Многие из них принимают в последующем в важнейших жизненных процессах. Процесс ассимиляции невозможен без участия воды.

Обеспечение энергией ассимиляции, синтеза белков, жиров, поглощения минеральных элементов из почвы обеспечивается в древесных растениях за счет процесса дыхания. Процесс дыхания представляет собой окисление питательных веществ в живых клетках. При этом происходит высвобождение энергии, накопленной в протоплазме в виде биохимических связей, главным образом, в макроэнергетических связях фосфорных соединений.

Часть высвобождающейся энергии превращается в механическую энергию протоплазматических потоков, часть – в тепловую. Определенное количество энергии используется для поддержания структуры протоплазмы. Дыхание прослеживается во всех органах и тканях растения. Обычно этот процесс сопровождается поглощением кислорода, освобождением CO_2 и уменьшением сухой массы растения. Наиболее интенсивно дыхание протекает в меристемных тканях. Дыхание протекает в двух формах аэробной и анаэробной. Формы различаются выделением тепловой энергии. Наибольшее высвобождение энергии происходит при аэробной форме процесса (65 %).

В отличие от фотосинтеза, идущем только на свету, дыхание протекает во всех тканях и непрерывно, хотя и с разной интенсивностью. По результирующему эффекту преобладающим оказывается фотосинтез. При аэробном дыхании идет активное окисление окиси углерода в двуокись. При окислении элементов питания атомы водорода окисляются парами влаги при содействии специальных энзимов. По данным физиологов при аэробном окислении из молекулы глюкозы образуется пять молекул воды.

Процесс дыхания, как все метаболические процессы многостадийен. В обобщенном виде можно выделить две группы процессов: гликолиз и цикл Кребса. В процессе гликолиза образуется две молекулы пировиноградной кислоты и две молекулы воды. В рамках цикла Кребса каждая молекула пировиноградной кислоты дает три молекулы углекислоты и три молекулы воды. Дыхание обычно измеряют или по поглощению кислорода или по «выдоху» углекислоты на единицу массы органического вещества в единицу времени.

Как и другие метаболические процессы, дыхание – глубоко видообразующий признак. Установлено, что лиственные породы расходуют на дыхание больше питательных веществ, чем хвойные. Деревья растущие на свободе отличаются более выраженным преобладанием фотосинтеза над дыханием, чем деревья в сомкнутом пологе. В интенсивности дыхания древесных пород четко прослеживается сезонная ритмика. Дыхание связано тесно с температурным режимом среды. Тесная связь прослеживается с влажностью воздуха и почвы.

Транспирация. Наиболее масштабны взаимоотношения с влагой и с условиями увлажнения при транспирации. Этот физиологический процесс имеет важное значение в жизнедеятельности лесных экосистем. Установлено, что в листьях явление испарения воды происходит в две стадии: 1 – испарение с влажных стенок клеток в межклеточные пространства и 2 – диффузия водяного пара из межклетников в воздух внешней среды. Водяные пары могут выходить из растений тремя путями: через поры ветвей, через покровную ткань и через устьица.

В общем расходе влаги древесными растениями на эту статью приходится 70 % и более (71–77), а доля ее от суммы осадков исчисляется 40–60 %. По мнению П. Крамера и Т. Козловского, (1963) при транспирации древесные растения способны испарять до 95 % всей поглощаемой деревом воды. Транспирация – явление, обеспечивающее постоянный восходящий ток вещества и энергии в растениях. Количество расходуемой при этом влаги может изменяться в очень широких пределах, в зависимости от многих факторов. Оно изменяется географически и в зависимости от конкретных условий местообитания, определяемых локальной природной об-

становкой. В южных районах при частом дефиците влаги интенсивность транспирации выше, чем на севере, при ее избытке. Величина физиологического испарения сильно варьирует по сезонам года, по периодам суток и в зависимости от погодных условий.

Принято различать транспирацию *устычную* и *кутикулярную* (*эпидермальную*). Соотношение между ними неодинаково у разных древесных пород, в силу различий их биологических и экологических свойств. Это соотношение оказывается неодинаковым в разном возрасте древесной породы, а также в разных пунктах ареала. В среднем на кутикулярную транспирацию приходится не более 10 % от общей. Обычно последняя возрастает во время повышенной влажности атмосферы, а при прочих равных – в ночное время. В одинаковых условиях местопроизрастания транспирация увеличивается при ясной сухой погоде, в особенности, в засушливые периоды. Резко снижается она в холодные периоды и в условиях высокой влажности.

Расход влаги на транспирацию в течение года в бореальных лесах оценивается 2–4 тысячами тонн на гектар. Наглядность этой массы в известной шуточной формуле: «ведро в минуту на шестой этаж». Учитывая этот потенциал и высокую представленность лесного покрова на планете, становится понятной огромная роль лесов, как наиболее действенного и эффективного фактора регулятора влаги в биосфере. Среди древесных пород теневыносливые испаряют влаги меньше, чем светолюбивые. Летнезеленые лиственные занимают среднее положение между вечнозелеными хвойными и лиственными породами. Абсолютными чемпионами по интенсивности транспирации по литературным данным являются североамериканская сосна скипидарная, тюльпановое дерево и дуб красный.

Прямая и активная связь транспирации растений с окружающей средой обуславливает тесную детерминированность его экологическими абиотическими факторами. При прочих равных наибольших значений транспирация достигает в периоды активного роста. В условиях тайги это отмечается в июне – июле. В такой период лесные насаждения проходят своеобразный критический период.

Поскольку транспирация, хотя и осуществляется через полостное насаждение, но она больше связана с физиологией поглощения влаги корневыми системами. Поэтому Н.А. Воронков, (1988) предлагает гидрологическую роль этой функции, связь ее с экологическими факторами среды обитания рассматривать в разделе, посвященном физиологическим аспектам влагообеспечения лесной растительности.

Обзор многочисленных публикаций позволяет представить следующий список групп древесных пород в порядке снижения величин дневной транспирации (в граммах на грамм сырой массы растения):

– тополя белый узколистный, берлинский, гибрид черного	–9–15 г/г;
– осина (тополь дрожащий)	–8,0–9,2;
– береза пушистая, повислая, бумажная	–7,0–8,6;
– дуб черешчатый	–5,3–6,5;
– дуб горный, зеленый	–4,4–6,0;
– бук лесной	–3,8–4,2;
– сосна обыкновенная, европейская, кедровая	–2,0–2,4;
– лиственница европейская, сибирская, Гмелини	–1,8–2,1;
– ель обыкновенная, сибирская, гибридная	–1,3–1,6.

Установлено, что тополя, например, в среднем испаряют ежедневно такое количество воды, которое в 9–15 раз превышает величину сырого веса листьев. Среди древесных пород теневыносливые испаряют влаги меньше, чем светолюбивые. Летнезеленые лиственницы занимают среднее положение между вечнозелеными хвойными и лиственными породами. Абсолютными чемпионами по интенсивности транспирации по литературным данным являются североамериканская сосна скипидарная, тюльпано-во дерево и дуб красный.

Известно, что механизм диффузии влаги через устьичный аппарат складывается из раскрытия устьиц с повышением тургора в замыкающих клетках устьичных щелей. Его связывают с изменением соотношения крахмала и сахаров в клетках. Это соотношение изменяется с увеличением освещенности, влажности и температуры воздуха. Прямая и активная связь органов транспирации растений с окружающей средой обуславливает тесную детерминированность его экологическими абиотическими факторами (рис. 50).

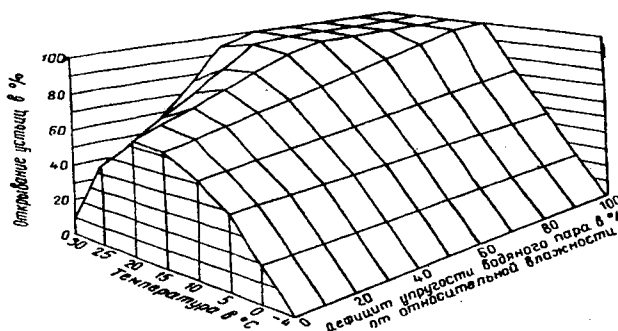


Рис. 50. Влияние температуры воздуха и дефицита упругости водяного пара на деятельность устьиц бирючины (по Крамеру и Козловскому, 1963)

Роль относительной влажности воздуха в процессе транспирации просматривается через сбалансирование жидкого и парообразного состояний в тканях листа. Растения транспирируют тогда, когда давление пара в листьях превышает давление его в окружающей среде. Процесс испарения будет происходить до тех пор, пока количество молекул воды, переходящее в пар, не сравняется с количеством возвращающихся в воду. С повышением температуры, с ростом освещенности давление водяного пара возрастает, повышается интенсивность транспирации. О влиянии температуры окружающей среды на главные показатели транспирации свидетельствуют данные табл. 27.

Таблица 27. Влияние изменений температуры на градиент упругости пара между листьями деревьев и воздухом (по Крамеру и Козловскому, 1963)

Показатели	Температура листа и воздуха в °C		
	10,0	20,0	30,0
Относительная влажность воздуха (без изменения абсолютной влажности) в %	80,0	44,0	25,0
Упругость пара на испаряющейся поверхности листа, в мм ртутного столба	9,21	17,54	31,82
Упругость пара в воздухе при данных температурах, в мм ртутного столба	7,37	7,74	7,88
Градиент упругости пара между листом и воздухом, в мм ртутного столба	1,84	9,80	23,94

Тесно связана интенсивность транспирации с влажностью почвы. Процесс транспирации нормально протекает только при необходимом содержании воды в листьях. А это условие соблюдается только при нормальной влажности почвенного субстрата. Отрицательное влияние на функционирование древесных растений транспирация может оказывать в периоды метеорологических экстремумов. Иногда быстрая потеря листьями влаги не успевает быть компенсированной ее поступлением. Ветви, побеги деревьев теряют тургор и могут отмирать. Отмечают и противоположную по слагаемым баланса влаги ситуацию. В силу неких причин устьица листьев закрываются и лист прекращает испарение влаги. Чрезмерный тургор может привести к разрыву тканей. Это явление нередко отмечают на плодах растений.

С появлением дефицита почвенной влаги поглощение ее растением все больше отстает от испарения. В результате возникает недостаток поступления воды к листовому аппарату, вследствие чего происходит закры-

тие устьиц и транспирация снижается. О тесной связи интенсивности транспирации с почвенной влагой и температурой почв свидетельствуют рис. 51 и 52. Согласно рис. 51, близкой к оптимальной по увлажнению для транспирации обеих пород на серых лесных почвах является влажность 7–10 % (по физическому содержанию воды в корнеобитаемом слое).

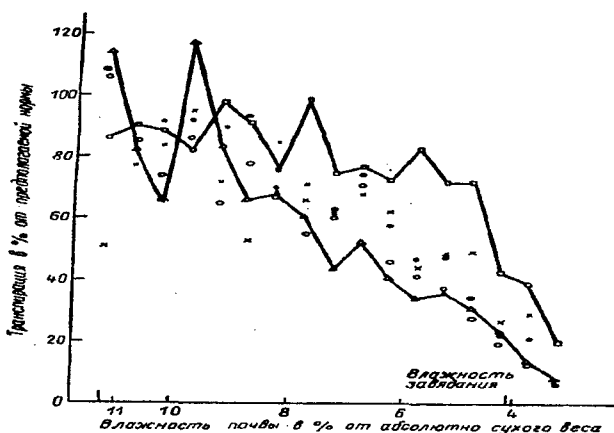


Рис. 51. Связь транспирации двух разновидностей дуба с влажностью почвы (по Крамеру и Козловскому, 1963)

Согласно рис. 51 ограничивающим интенсивность транспирации фактором для разных видов семян дуба выступает снижение влажности почвы. Однако реакция эта у разных видов неодинакова. Подобное явление американскими лесоведами отмечено и в отношении других древесных пород (сосны ладанной, какао, клена калинолистного).

Как следует из рис. 52 транспирация семян четырех видов сосны тесно связана с температурой почвы. Связь эта линейна и пропорциональна более отчетлива связь с температурой у южных видов (сосна эллиота, сосна ладанная).

Представляют интерес данные американских коллег (цитируется по Х. Лир и др., 1974) о сравнительной оценке связей интенсивности транспирации трех пород (березы, бука и дуба) с четырьмя основными экологическими факторами (рис. 53). Наиболее тесной связью выглядит у обеих пород с температурой воздуха и с интенсивностью солнечной радиации. Наиболее тесной связью с этими показателями характеризуются южные виды (сосна эллиота, сосна ладанная).

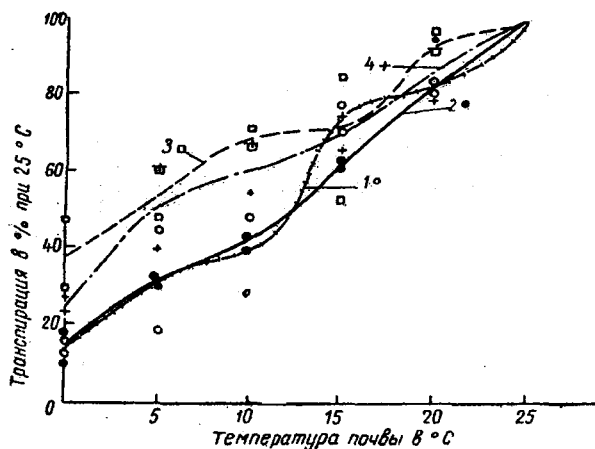
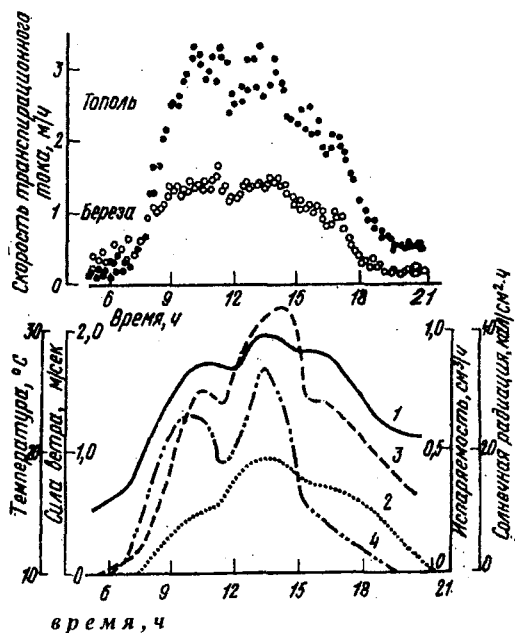


Рис. 52. Влияние температуры почвы на поглощение из нее воды четырьмя видами сосны, измеряемое интенсивностью транспирации (по Крамеру и Козловскому, 1963)

Рис. 53. Ход изменения дневной скорости транспирации тополя и березы, в зависимости от метеорологических факторов (по М. Klemm):

- 1 — температуры воздуха;
- 2 — силы ветра;
- 3 — испаряемости,
- 4 — солнечной радиации.



С утра, с увеличением освещенности и повышением температур воздуха транспирация увеличивается. Затем наступает более-менее широкая область максимальных значений, приуроченная вершиной к полудню (к оптимуму температур). После полудня величина транспирации снижается. В ночные часы движение воды в стволах хвойных деревьев останавливается. Однако это правило распространяется однозначно лишь на районы средних широт, с выраженным суточным ритмом изменения освещенности. В притундровых лесах и в северной тайге в период «белых ночей» ток воды в древесных породах только замедляется, но не останавливается.

Имеет значение проявляющееся в древесных растениях положительное давление (*корневое давление*). Возникает это явление в период отсутствия листвы и стало быть при отсутствии устьичной транспирации, отмечаемое в период ранневесеннего «просыпания» древесных растений. Известно явление «плача» березы ранней весной. Крупное дерево березы в аналогичных условиях за 2–3 недели может дать до 40 литров сока. Итак, прослеживаются четкие закономерности в связи транспирации с суточным ходом освещенности, температуры воздуха и суммарной солнечной радиации.

Представленная упрощенная схема связи транспирации с абиотическими факторами среды местообитаний достаточно упрощена. В действительности эти связи выглядят значительно сложнее. Имеют место явления накладывания факторов с усилением или ослаблением результирующего эффекта. Схема существенно усложняется когда в дело включаются еще множественные факторы так называемых «внутренних свойств» древесных растений.

Хотя в транспирации отдельных древесных растений и насаждений данной породы имеется много общего, неизбежные различия в фитоклимате индивидуумов и сообщества деревьев обуславливают определенные различия в течение процессов. Так в насаждениях совершенно по-другому выглядит вертикальный профиль температур воздуха, причем он очень разнообразен. В частности, в насаждениях обычно снизу в верх увеличивается освещенность и температура воздуха, в результате чего профиль интенсивности транспирации меняется.

Одновременно с увеличением скорости ветра может усиливаться проветриваемость кронового пространства и одновременно снижаться влажность воздуха, что вызывает в древостое более быстрое, чем у отдельно взятых деревьев, возрастание транспирации. И все же, по мнению физиологов, каждое дерево в лесу испаряет в течении вегетации всю полу-

ченную им влагу, независимо от условий местообитания. При этом лесорастительный эффект чаще состоит в прямой зависимости от количества потребленной воды.

В районах теплого климата осадки используются лесом практически полностью. В лесах таежной зоны на преобладающей части лесных земель при избытке влаги и недостаточной теплообеспеченности транспирационные возможности насаждений полностью не реализуются, что приводит к снижению их производительности. Без учета отдельных тонкостей во влиянии метеорологических факторов, рассчитанная величина транспирации древостоями листопадных пород в США оценивается 2–3 кратной массой сырой листва насаждений. (Х. Лир и др., 1974). По расчетам А.А. Молчанова, (1952) транспирационные расходы воды 40–50 летними насаждениями разных пород под Обозерской оцениваются следующими величинами (табл. 28).

Таблица 28. Транспирация сосновых и березовых насаждений

Порода	Возраст, лет	Листовая масса, т/га	Расчетная величина транспирации			
			термовесовым методом		балансовым методом	
			абсолютная, мм/г	относительная, %	абсолютная, мм/г	относительная, %
сосна	10	11,5	260	22,6	—	—
	33	16,0	361	22,6	371	23,2
	65	12,0	272	22,7	245	20,4
	150	9,0	203	22,6	181	20,1
береза	35	6,5	335	51,5	350	54,0
	60	6,3	323	51,3	—	—
	77	5,6	286	51,1	—	—

Расчеты показали, что березовые насаждения в близких условиях расходуют на транспирацию влаги больше, чем сосновые. В том и другом случае величина транспирации является функцией от листовой массы. Исследования А.А. Молчанова показали, что низкополнотные сосняки испаряют влаги за вегетацию по меньшей мере на $\frac{1}{4}$ меньше, чем высокополнотные.

Исследования А.А. Молчанова в Северной ЛОС (Обозерская) позволяют сравнить транспирационный потенциал насаждений разных типов леса. Наибольшая масса испаряемой воды (276 мм) отмечена в сосняке брусничном, в соответствии с большей листовой массой. Относительная же величина самой высокой оказалась в сосняке долгомошном (20,4 % от суммы годовых осадков). Х. Лир и др., (1974) приводят интересные данные

по сравнительным величинам транспирации насаждений Скандинавии. Оказалось, что еловые насаждения Швеции в сухих местообитаниях транспирируют ежегодно 211 мм, а в местообитаниях, где в балансе влаги участвуют грунтовые воды (местообитания с частичным ли сезонным переувлажнением) – 378 мм. При температуре 20° эти насаждения транспирируют в 5 раз больше, чем при температуре 10°. Известный финский лесовод Сирен, подсчитал, что многое в Скандинавии решает географическое положение района. Ученый считал, что с увеличением среднегодовой температуры на 1°С вызывает возрастание транспирации на 60 мм.

Потенциал устьичного испарения насаждений в общих чертах наиболее тесно связан с объемом их фитомассы. Это убедительно подтверждены исследования в Подмоскowie, в Восточной Сибири (рис. 54). Отмечают и противоположную по слагаемым баланса влаги ситуацию. В силу неких причин физиологического дисбаланса устьица листьев могут закрываться и лист прекращает испарение влаги. Величина транспирации по графику-номограмме определяется в зависимости от числа часов транспирации за расчетный период и запаса зеленой фитомассы. Пересчет полученных по графику условных значений транспирации осуществляется умножением их на коэффициент $0,01j$, где j – интенсивность транспирации соответствующей растительной формации (сосняки, лиственничники).

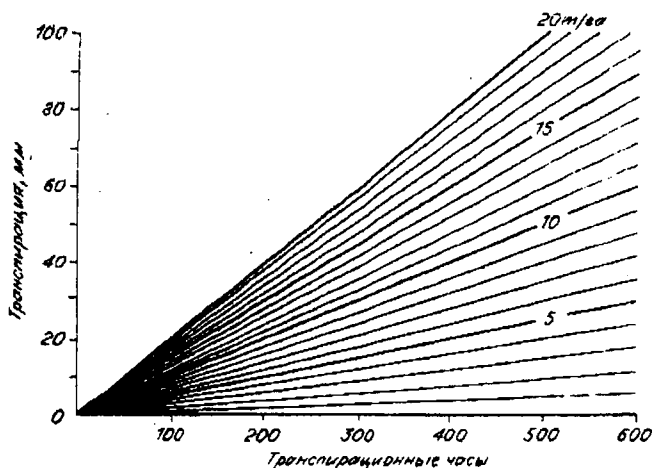


Рис. 54. Зависимость расхода влаги на транспирацию от продолжительности наблюдения (времени) и фитомассы насаждения (по Горбатенко, 1979)

Почвенная влага

Особое значение имеет для леса почвенная влага. Влага почвы здесь выступает прежде всего в роли важнейшего фактора почвообразования. Она активный участник всех типов выветривания горных пород, участник деструкции минералов, как первичных, так и вторичных. Известно, что почвообразующими оказываются лишь те фракции рухляка коренных горных пород, которые приобретают при выветривании влагоудерживающую способность. Вода выполняет важную функцию транспортера минеральных веществ. С потоками ее в организм в растворенном виде поступают элементы – биофилы, жизненно необходимые микро- и макро-элементы. Влага обеспечивает миграцию элементов минерального питания в ландшафте. При рассмотрении коллоидной теории питания растений также не обойтись без анализа разной роли воды.

Влага, содержащаяся в лесной подстилке и в почве, является важнейшим элементов экологической обстановки в лесу. С увлажнением этих биогоризонтов лесных БГЦ связаны процессы функционирования нижних ярусов растительности, возобновительных процессов, в особенности первые его этапы. Роль влаги здесь может проявляться как прямо, так и опосредованно. Прямое влияние – через посредство значения избытка и дефицита в жизненных процессах; опосредованно - через состав и структуру нижних ярусов, через определение элементов микроклимата БГЦ.

Для познания роли почвенного увлажнения и для его регулирования важно знать закономерные для определенных ТЛУ сезонные колебания влажности и меру ее доступности для корневых систем древесной растительности. При оценке изменчивости влаги уместно использовать предложенные А.А. Роде, (1960) интервалы влажности, имеющих разное значение для растений:

- влажность, соответствующая влаге завядания (V_3) и меньше;
- интервал от V_3 до $V_3 + 1/3$ диапазона активной влаги (ДАВ);
- интервал влаги от $V_3 + 1/3$ ДАВ до $2/3$ ДАВ;
- интервал от $V_3 + 2/3$ ДАВ до наименьшей влажности (НВ);
- интервал от НВ до полной влагоемкости (ПВ);
- влажность, соответствующая ПВ и более.

В лесных экосистемах республики Коми, характеризующихся высоким разнообразием режимов увлажнения (от автоморфного до гидроморфного), по свидетельствам лесоведов можно наблюдать в сезонных циклах самые разные комбинации представленных выше интервалов. Влажность

корнеобитаемого слоя торфянисто-подзолисто-глеевой почвы насаждений самого распространенного черничного типа местообитаний может варьировать от труднодоступной до избыточной.

В весеннее время имеет место переувлажнение: влажность колеблется в интервале от НВ до ПВ. Летом запасы влаги чаще располагаются в диапазоне от ВЗ + 2/3 ДАВ до НВ. В отдельные засушливые годы летом содержание влаги в верхнем корнеобитаемом слое может оцениваться значениями трудно доступной влаги. В слое подстилки сосново-еловых насаждений черничного типа содержание влаги может падать до значений, близких к ВЗ.

С.И. Долгов (цитируется по Ремезову и Погребняку, 1965) во влиянии иссушения почвы на развитие растений предлагает различать три фазы.

I – при изменении влажности почвы от наибольшей (или полной) влагоемкости до наименьшей (или полевой) имеет место повышенный расход влаги на транспирацию.

II – при изменении влажности почвы от наименьшей влагоемкости до влажности устойчивого завядания происходит быстрое снижение транспирации, сопровождающееся снижением прироста.

III – при влажности завядания и ниже ее расходы влаги на транспирацию доходят до чрезвычайно малых величин вследствие прочного удержания почвой остающейся влаги.

В зависимости от режима увлажнения складываются различия в характере биохимических круговоротов веществ. В одних случаях (см. разд. 10) определяющими являются процессы элювиального типа (с промывным режимом), в других – делювиальные (с отчетливым сносом вещества по склону), аллювиальные (с привносом вещества по склону в режиме точного увлажнения) или аккумулятивные (накопительного типа). С влагой осадков в лес поступает космическая пыль (усредненно 70 г на га в год), а также в значительно большем количестве – антропогенная пыль. Эти поставки являются очень важными источниками привноса редких жизненно важных микроэлементов в лесные сообщества.

Влага, режим увлажнения почв – один из главных составляющих зонально-географических показателей лесорастительных условий. Показатели влажности и атмосферных осадков входят в главные критерии зональной естественной продуктивности леса. Они используются при различного рода районировании лесорастительных условий. Показатели увлажнения – один из главных критериев при оценке лесорастительного потенциала местообитаний в локальных условиях.

В условиях тайги по уровню и режимам увлажнения различают обычно три типа местообитаний (типов ландшафтов): *автоморфный, полу-гидроморфный, гидроморфный*. В локальных условиях первичных ландшафтов имеют значение, не только общая обводненность, но и режим увлажнения, характер дренированности почвы. С учетом сезонных режимов увлажнения различают ландшафты *устойчиво сухие, сухие, периодически сухие, дренированные, слабо дренированные* или *со слабо проточным режимом, с проточным режимом, с застойным увлажнением* (Цветков, 2000: см. матрицу дифференциации почво-геологических условий, табл. 46 в разд. 9).

В определенной мере условия увлажнения в насаждениях поддаются регулированию. Основной путь оптимизации почвенного увлажнения - на Европейском Севере осушение избыточно увлажненных земель. Осушительная гидролесомелиорация может осуществляться на разных уровнях: на уровне ландшафтов (урочищ, местностей), на уровне лесных массивов, а также на локальном уровне - в порядке упрощенных осушительных мероприятий в пределах отдельных лесных делянок.

В последнем случае имеется в виду устранение создаваемого часто при лесозаготовках техногенного подтопления фрагментов вырубок вследствие нарушения стока (чаще прокладка волоков или лесных дорог перпендикулярно уклону местности). Последнее П.Н. Львов, (1969) совершенно справедливо рассматривал в условиях Европейского Севера как один из эффективных способов содействия лесовозобновительным мероприятиям. По расчетам автора на такие участки, где провоцируется активное заболачивание со всеми вытекающими последствиями в средней подзоне тайги Архангельской области и Республики Карелия приходится 10–14 % площади лесосеки. В условиях северотаежных территорий этот показатель выше.

Требовательность древесных растений к влаге

Древесные породы эволюционно приспособились к большому диапазону условий увлажнения. Они заселяют местообитания от крайне сухих пустынных до аквальных (с уровнем грунтовых вод выше уровня почвы.). Оптимальной величиной показателя относительной влажности в обобщенном виде является 60–80 %. Именно такая насыщенность воздуха водяными парами обеспечивает оптимальное течение всех физиологических процессов. Минимальным значением относительной влажности воздуха, кото-

рое проявляется при довольно высоких температурах (20–25°) принято считать величину 30–35 %. Вместе с тем древесные породы отличаются разной требовательностью к условиям увлажнения П.С. Погребняк применительно к условиям Украинского Полесья предложил различать шесть групп древесных пород:

Ультраксерофиты (саксаул, фисташка, дуб пушистый, арга);

Ксерофиты (сосна крымская, сосна обыкновенная, лещина, вяз мелколистный (карагач), шелюга);

Ксеромезофиты (дуб черешчатый, клен полевой и остролистный, яблоня лесная);

Мезофиты (липа, граб, лиственница, бук, каштан, береза повислая, осина, кедр сибирский, пихта, ильм);

Мезогидрофиты (береза пушистая, ольха серая, осянковая, ива козья, ива серебристая, черемуха);

Гидрофиты (ольха черная, ива серая, кипарис болотный).

Поскольку шкала носит региональный характер, применение ее ограничено условиями зоны лесостепи. Как и в отношении других экологических факторов, связь древесных пород с влагой в пределах ареала изменяется с их возрастом, а также в географическом плане. По мнению ученых в бореальной зоне при определении требовательности древесных пород к влаге нужен иной подход. В частности предлагается определять для каждой породы своеобразные «квоты» (необходимые минимумы) на влагу; Н.П. Поликарпов, 1975.

Установлено, что в условиях Средней Сибири для успешного произрастания сосны и лиственницы даурской требуется не менее 200 мм влаги осадков; для лиственницы сибирской – минимум 300 мм; для кедра — 450 мм, для пихты сибирской – 500 мм. В условиях Сибири для древесных пород имеют значение особенности водного режима местообитаний. Кедр сибирский, пихта сибирская, и ель сибирская очень чувствительны к влажности почвы и воздуха. Ель обыкновенная не переносит застойного увлажнения.

К сожалению наукой пока не установлены диапазоны условий благоприятного увлажнения по разным пунктам ареала древесных пород. В силу географической изменчивости свойств древесной растительности, в т.ч. в требовательности к влаге, установить эти рамки не очень просто. По мнению И.С. Мелехова, (1980) в условиях Центральной и Восточной Европы леса способны произрастать в диапазоне сумм осадков от 150 до 700 мм. Однако есть сведения, что верхний предел сумм осадков для ряда древесных пород выше, чем 700 мм. В частности на склоне Большого Кавказа верхняя

граница леса находится в зоне с суммами осадков почти 900 мм. Дело в том, что роль суммы осадков зависит от комплекса влияния других климатических факторов и излишек этого показателя может быть в известной мере сгубительным смягчающим (или гасящим) влиянием других факторов.

Важна не просто сумма осадков, но ее распределение по сезонам года. При этом большое значение имеют состояние (показатели) других климатических факторов, в частности показатели теплообеспеченности. Выше отмечалось, что сложный и неоднозначный характер проявления для древесной растительности приобретают взаимосвязи увлажнения и температуры. Очень показательными критериями в частности являются различного рода гидротермические показатели метеорологических условий.

Приходная часть баланса влаги в лесу

Влияние леса на условия увлажнения ландшафтов может быть оценено только через наблюдения за водным балансом конкретных типов местообитаний или других территорий. Водный баланс территорий, как всякий другой, складывается из прихода и расхода. Приходная часть складывается в основном из осадков, в некоторых случаях пополняясь «грунтовым подпором» с возвышенностей или грунтовыми водами.

Количество осадков сильно изменяется в географическом плане и по годам. По различным источникам в таежной зоне в многолетнем режиме суммы осадков могут колебаться от 220 до 950 мм. Колебания годовых сумм этого показателя по некоторым метеостанциям в Карелии, например, по ориентировочным данным с 1970 по 1980 год оценивалась интервалом 460–840 мм, с 1980 по 1990 год – 500–800 мм (Климат Карелии, 2004). Нередко колебания между отдельными годами достигали 50 % сумм средних годовых значений.

Таким образом, сумма осадков – важнейший показатель климата, однако не всегда корректный во влиянии на экосистемы леса. Существенно, что осадки зимнего периода могут служить своеобразным резервом влагообеспеченности в периоды дефицита влаги летом. И все же для леса важна не сама сумма годовых осадков, а ее сезонное распределение. Среднегодовой показатель, как нередко бывает, обезличивает их роль. Важно также не просто сезонное распределение приходящим миллиметрам влаги, но также их интенсивность и видовая структура по сезонам года.

В формуле водного баланса территорий присутствует всегда показатель (Γ) – «грунтовые воды». Обычно в формулах баланса он подается с плюсом и минусом одновременно. Имеется в виду, что он может как увеличивать собой сумму осадков в местообитании, так и уменьшать ее. В годы, когда реальной суммы осадков недостаточно для водного питания лесного сообщества, подключаются грунтовые воды, а при избытке – часть вод просачивается вглубь почвы. Обычно влияние леса на грунтовые воды сводится к следующему: при глубоком (не доступном для корней деревьев) залегании грунтовых вод уровень их под лесами повышается, при доступном уровне – этот уровень понижается.

В ландшафтах, где почвообразующими породами выступают ледниковые отложения легких по механическому составу пород (песков, песчано-гравийных, щебнистых, песчано-валунных), где четко проявляется промывной режим увлажнения, производительность и долговечность лесных насаждений во многом определяет доступность как раз грунтовых вод. Однако доступность грунтовых вод для леса далеко неодинакова. На нее оказывают влияние глубина залегания, сезонная изменчивость уровня, механический состав водоносных отложений и подвижность вод, обусловленная уклоном водоупорного горизонта

Исследования в Кировской области (Тимофеев, 1969), в Белоруссии (Смоляк, Петров, 1978); в Карелии (Казимиров и др., 1986; Преснухин, Смелягина, 1986) показали, что сосняки на песчаных почвах могут использовать грунтовые воды, если они залегают не глубже 2,0–2,5 м. Большое значение имеет сезонная неустойчивость уровня грунтовых вод (УГВ). Этот уровень чаще всего снижается в течение всего года, начиная с самого высокого во время весеннего снеготаяния. Иногда отмечается второй – позднесенний повышенный уровень. Имеют место различия в насаждениях разных классов бонитета, обусловленные различиями либо в глубине залегания вод, либо в механическом составе грунтов. Большое влияние оказывает продолжительность сохранения доступного уровня залегания вод.

Исследования в Карелии (Казимиров и др, 1986; Казимиров, 1995) показывают, что роль грунтовых вод в питании сосновых древостоев зависит во многом от проточности вод, определяемой уклоном водоупора. Установлена тесная зависимость роста сосняков от этого показателя. Интенсивность роста сосняков тем выше, чем больше уклон грунтовых вод, т.е. чем выше их проточность. С увеличением проточности максимум производительности сосняков Карелии постепенно смещается в сторону более близкого к поверхности залегания грунтовых вод. Проточность почвенно-

грунтовой влаги в таких районах, как Кольско-Карельская лесорастительная провинция, оказывает большое влияние на формирование типологической структуры насаждений.

В районах с горным и пересеченным рельефом приходную часть водного баланса может пополнять подпор почвенных вод с возвышенных элементов рельефа. Эта статья прихода влаги наибольшее значение имеют на участках с выраженным рельефом. Доля этой статьи в приходе водного баланса лесных БГЦ может достигать 20–30 %. В принципе, подпор почвенных вод с возвышенных участков в ландшафте может проявляться и на равнинных территориях, с самыми небольшими уклонами. Однако роль его в этих условиях ничтожна, чисто символична.

Разновидности осадков

По физической консистенции и фазовому состоянию все осадки разделяются на жидкие и твердые, а по форме поступления в ландшафт на **метеорные (вертикальные)** и **конденсационные (горизонтальные)**. К категории метеорных относят дождь, снег, град, крупа. Компенсационными осадками считаются роса, изморозь, иней, ожеледь, туман. Как бы промежуточное положение занимает морось. По мнению специалистов в гидрометеорологии (Ведь, Поляков, 1971), значение осадков компенсационного типа в лесоведении часто не дооценивается, вследствие несовершенства методик их оценки. Ученые, работавшие в Крыму, предлагают совершенно иную классификацию этих осадков и более совершенные методы их измерения. Используются стандартные ведра осадкомеров системы Третьякова, расставляемые в больших количествах на строго определенных расстояниях друг от друга. Измеряются осадки, «осыпавшиеся» (пролихшие) под полог леса. Основными видами осадков горизонтального типа предложены следующие:

Зернистая изморозь. Это покров снеговидного рыхлого льда, нарастающего в туманную, преимущественно ветреную погоду и главным образом на нитевидных предметах с их наветренной стороны. Образуется от налипания замерзающих от соприкосновения с предметом переохлажденных капель тумана, неразличимых простым глазом. Плотность $0,1-0,4 \text{ г/см}^3$. Отмечается при температуре $-1-(-12)^\circ$.

Кристаллическая изморозь. Покров кристалликов льда, чаще всего листовидной формы, нарастающих преимущественно на тонких предметах в туманную морозную погоду при затишье или слабом ветре. Образуется

путем непосредственной сублимации пара воды и перегонки пара с капель тумана, неразличимых визуально. Кристаллы нарастают главным образом на наветренной стороне предметов. Явление возникает при температуре ниже -15° . Плотность кристаллической изморози весьма мала – менее $0,1 \text{ г/см}^3$.

Гололед. Отмечается в горных условиях. На равнине это явление называют ожеледью. Слой плотного льда (матового или прозрачного), нарастающего на любых предметах при морозе от намерзания капель переохлажденного дождя или мороси. При ветреной погоде слой льда нарастает обычно с наветренной стороны предметов. Наблюдается при слабых морозах. Корка намерзшего льда может достичь толщины нескольких сантиметров и вызвать поломку деревьев.

Отмечены явления сложного оледенения предметов при наложении трех перечисленных явлений (зернистой изморози, кристаллической изморози и гололеда). Возникают катастрофические ситуации. В сентябре 1983 года подобное явление автором этих строк отмечено в районе Минеральных вод (г. Шелудивая). В результате необычайно высокого оледенения крон средневозрастного дубово-ясеневых с кленами насаждения, древостой на площади более 2 га был разрушен. Сплошь обломанными оказались ветви дубов и ясеней, занимавших верхнюю часть полога леса. Часть ветвей разорванных у основания повисла вдоль стволов. Диаметр отломанных под грузом льда ветвей и оказавшихся на земле достигал 20 см. У многих дубов и ясеней оказались сломанными на разной высоте вершины. Можно только предполагать какой массы достигал лед на кронах деревьев.

Наморось. Водяной налет на предметах, оседающий из тумана при соприкосновении капель тумана с поверхностью предметов, обладающих способностью смачиваться. Наморось представляет собой водяной аналог изморози, т.е. возникает тем же путем и при той же погоде, но только при температуре выше 0° . Этот тип осадков в горных условиях может вносить наибольший вклад в сумму осадков конденсационного типа.

На равнине роль компенсационных осадков обычно невелика (2–10 %). Доля их возрастает в горных условиях, где леса склонов как бы «прочесывают» насыщенные влагой облака, проходящие сквозь их. Происходит довольно существенное их намачивание. За счет намороси доля осадков может увеличиваться до 25 % от общей суммы осадков.

Лес существенно изменяет все составляющие водного баланса, свойственных безлесным территориям. Каждая из частей этих функций (приходная и расходная) имеет большое народнохозяйственное значение и по-

тому представляет большой интерес не только для лесоводства, но и для многих других областей жизни и деятельности человека.

Расходная часть баланса воды в лесу более разнообразна, поскольку детерминирована множеством факторов биосферы как абиогенных, так и биогенных. В упрощенном виде расходная часть водного баланса описывается формулой:

$$N=V+A$$

где V – суммарное испарение, A – суммарный сток. В развернутом виде формула водного баланса приобретает следующий вид.

$$O_c = O_{кр} + T + I_{ф.и.} + C_n + C_r + C_{и} \Phi_1 + \Phi_2 \pm Г$$

где O_c – сумма осадков, $O_{кр}$ – количество осадков, задержанных кронами лесного полога, T – транспирация или устьично-кутикулярное испарение растительности, $I_{ф.и.}$ – физическое испарение с травы, мхов с поверхности почвы, C_n – сток поверхностный, C_r – сток грунтовый (внутрипочвенный), $C_{и}$ – инфильтрация – глубинное просачивание воды в толщи горных пород, Φ – расход воды на создание прироста фитомассы (Φ_1 – на фитомассу; Φ_2 – на поддержание ее в живом состоянии).

Как показывают многочисленные исследования (обзоры А.А. Молчанова, В.В. Протопопова, А.И. Субботина, С.Ф. Федорова, В.В. Рахманова, А.В. Лебедева Н.А. Воронкова, А.Г. Булавко и др.), основными статьями расхода влаги в фитоценозе являются: транспирация (устьично-кутикулярное испарение растительным покровом); испарение перехваченных растительным покровом леса осадков, испарение с поверхности почвы а также суммарный сток. Именно соотношение этих составляющих и выражает сущность трансформирующего влияния леса на водный баланс территорий и конкретных биогеоценозов.

Перехват осадков кронами

Большую роль в водном балансе леса имеет способность лесной растительности перехватывать осадки и возвращать влагу в атмосферу в порядке простого физического испарения с крон. В итоге фактическая сумма осадков на участках насаждений оказывается ниже номинальной. Существуют разные мнения относительно полезности для лесного хозяйства этого явления. Однозначно положительным в таежных условиях его можно рассматривать только в местообитаниях избыточного увлажнения. На боль-

шей же части территорий, в особенности на территориях с дефицитом осадков, перехват осадков пологом леса - явление негативное.

Идея снижения лесом суммы осадков за счет перехвата их кронами вступает в противоречие с утвердившимися в середине XX века представлениями о лесе, как о факторе, обеспечивающем повышение сумм выпадающих осадков. Предполагалось, что этот эффект обеспечивается за счет повышенной шероховатости лесного покрова, обеспечивающей снижение скорости движения их охлаждения над лесом воздушных масс и повышением турбулентности в пологе леса и над ним.

Современными исследованиями этого явления (Федоров, 1977; Субботин, 1979; Воронков, 1988) не подтверждаются приведенных выше предположений. Результаты некоторых исследований, если и дают повод для рассуждений о повышении осадков с помощью леса, но оказывается, что эти осадки выпадают на других территориях. Следовательно, делает заключение Н.А. Воронков: «...имеющиеся свидетельства либо в действительности не подтверждаются, либо обусловлены влиянием других факторов». Известно, что полог леса трансформирует осадки как во времени, так в пространстве, благодаря явлению перехвата осадков.

Задержание осадков пологом леса с последующим испарением напрямую связано с размерами и свойствами поверхности смачивания. Листья и хвоя разных пород, ветви и сучья деревьев разных размеров и развития характеризуются разными удельными значениями этого показателя. Эксперименты с дождеванием показали, что наибольшей емкостью смачивания обладают листья сложной формы с волосистой, шероховатой поверхностью. Наибольшее количество воды осадков расходуется на смачивание ветвей и стволов ветвей. Вода на смоченной поверхности удерживается благодаря силам поверхностного натяжения.

Известно, что большая часть активной (с позиций смачивания и удерживания воды) фитомассы насаждений представлена массой ассимиляционных органов, обладающей преобладающей частью поверхности. Поэтому при прочих равных наибольшим расходом на смачиваемость будут отличаться насаждения ильмовых, тополевики. Расход осадков, затрачиваемый на разовое смачивание общей поверхности насаждения называют емкостью задержания (осадков). По обзору данных, выполненных Н.А. Воронковым, емкость смачивания хвойных (ели пихты) оценивается

2–4 мм, бука, березы, осины – 1–3 мм. Только в редких случаях этот показатель может достигать величин 6–8 мм.

Исследования Н.П. Коваля и Н.А. Битюкова (2001) в буковых лесах Северного Кавказа показывают, что величина перехвата за счет смачивания активной поверхности полога возрастает до величины 2 мм, обычно при дожде слоем до 10 мм. Дальнейшее увеличение обеспечивается уже за счет образования капель на листьях и ветвях, которые могут падать на почву («осыпаться»). Часть осадков перехваченных кронами затем стекает по стволу. То есть во всех случаях имеют место явления своеобразной трансформации осадков. Перераспределение их происходит и в пространстве и во времени. Исследования в Калифорнии (Спурр, Барнет, 1984) показали, что пространственная трансформация пологом букового леса выше, чем елового. На сток по стволам в первом случае приходится 16,5, во втором только – 0,7 %

Оказалось, что емкость перехвата и степень трансформации осадков в большой мере зависят от сезона года, от степени облиствения древостоя. Безусловно, сказывается также влияние сумм осадков за один дождь. При прочих равных емкость перехвата возрастает, если дожди часто повторяются. Выявлена эмпирическую связь емкости перехвата с этими факторами. Установлено, что связь суммарного перехвата с интенсивностью дождя достаточно тесна: коэффициент корреляции равен 0,604 + (–0,065). Выявлена тесная связь суммарного перехвата с количеством воды, стекающей по стволам деревьев. В среднем за вегетацию в буковых лесах Северного Кавказа перехват осадков составляет 138,7 мм (14,2 %). Из них 40 мм (4,1 %) – вода стекающая по стволам. Наименьший перехват отмечен при наименьшей сумме осадков, максимальный – в самые засушливые годы.

При рассмотрении перехвата доли осадков пологом леса нельзя сбрасывать со счетов также явление биологической составляющей лесного полога (Протопопов, 1977). Имеется в виду, что часть влаги поглощается листьями и ветвями физиологически. Обзор литературы, выполненный А.А. Молчановым (1960) позволяет представить обобщенные и выравненные данные по перехвату осадков насаждениями разных формаций преобладающих пород. Еловыми насаждениями перехватывается 37–46 %, сосняками – 24–27, березовыми – 24, дубовыми – 22 %. По широкому обобщению данных для обширных территорий плакоров ученый в 1961 году в книге «Лес и климат» приводит несколько иные материалы (табл. 30).

Таблица 30. Эффект перехвата осадками насаждениями разных формаций преобладающих пород (компиляция)

Насаждения	Возраст, лет	Осадки за безморозный период, мм	Задержено пологом леса	
			%	мм
1	2	3	4	5
Ельники	40–110	450–500	27–35	115–160
Сосняки	40–110	450–500	20–25	80–105
Лиственничники	40–110	400–450	13–17	60–80
Дубняки	40–120	400–450	14–18	70–80
Березняки и осинники	30–70	450–500	11–16	60–80
Букняки Карпат	60–140	2000	9–11	180–210

Подчеркивается, что показанные различия между формациями преобладающих пород в величине задерживаемой части лесом осадков связаны с различиями в структуре полога древостоев и всех других ярусов растительности насаждений, в т.ч. подроста, подлеска. Лидером по объему перехвата осадков оказались буковые леса Карпат. Это соображение согласуется с результатами исследований на Северном Кавказе (Коваль, Битюков, 2001). Данные А.А. Молчанова существенно отличаются от выводов других исследователей. На это обращает внимание Н.А. Воронков (1988) в своем обзоре рассматриваемой темы. Не исключено, что сказался очень широкий географический охват ученым первоисточников.

Среди многих свидетельств исследователей-гидрологов, пользующихся наибольшим авторитетом известны интересные данные О.И. Крестовского, основанные на обобщении многочисленных литературных данных и на собственных наблюдениях (табл. 31). Ученым предпринята попытка построить модели задержания осадков, в связи с возрастом, породным составом и других показателей структуры древостоев.

Таблица 31. Перехват осадков насаждениями разного породного состава (по О.И. Крестовскому)

Показатель	Возраст, число лет после рубки										
	5	10	20	30	40	50	60	80	100	120	140
Участие хвойных	–	80	70	70	75	75	75	75	70	70	70
Перехват, мм %	40 6	50 7	100 14	150 20	200 28	225 30	190 27	163 23	140 19	125 17	125 17

Убедительные данные о перехвате осадков насаждениями формаций (лиственного, смешанного по составу и елового) на основе обстоятельных наблюдений на Истринском опорном пункте в Подмоскowie за 13 лет (1962–1975 гг.) приводит Н.А. Воронков (1988). Результаты исследований сводятся к следующему. В среднем за 13 лет в еловом лесу (средний возраст 90 лет, I класс бонитета, полнота 0,7–0,8) перехват составил 38 % от суммы осадков, в лиственном – 13, в смешанном по составу – 18 %. Колебания по годам составляли, соответственно: в лиственном 42–107 мм (8–18 %), в смешанном – 59–184 мм (14–25 %), в еловом – 169–304 мм (34–46 %).

Сезонный режим задерживающего осадки эффекта можно рассмотреть на результатах исследований в Карпатах (Дьяков, 1976; табл. 32). В среднем за 4 гидрологических года осадки в чистом буковом насаждении в Карпатах составили 83,5 % от годовой суммы, в елово-буковом – 75,2, в буковом с подростом ели – 75,9 %. То есть перехват увеличивается с добавлением в состав букового насаждения ели.

Степень удержания осадков кронами насаждений значительно меняется по сезону года. В зимнее время еловое и елово-буковое насаждения задерживают наибольшее количество влаги (50,4 и 34,3 %). К концу зимы запасы снеговой влаги в насаждениях снижаются. В буковом насаждении, например, воды оставалось только 76,2 % от запасов на вырубке, в еловом – 30,8, в буково-еловом – 48,3, а в буковом с еловым подростом – 91,2 %. Такое резкое снижение влагозапасов под пологом связано, с одной стороны, с перехватом осадков кронами насаждений, с другой – вследствие начавшейся инфильтрации под пологом насаждений при слабом промерзании почвы.

Таблица 32. Осадки в насаждениях разных структуры и на вырубке по В.Н. Дьякову, 1976, (мм / %)

Сезон, месяцы	10 Бк	10Е	6Бк4Е	10Бк, подрост пихты	Вырубки
Зима (XII–II)	93,5	54,8	72,6	92,6	110,5
	84,6	49,6	65,7	83,8	100,0
Весна (III–V)	193,2	138,5	171,3	192,6	244,8
	78,9	56,6	70,0	78,7	100,0
Лето (VI–VIII)	400,1	272,8	385,8	342,4	136,4
	85,3	58,2	82,3	73,0	100,0
Осень	115,4	60,5	93,2	101,1	100,1
	84,6	44,4	68,3	74,1	74,1
Год	802,2	526,6	722,9	728,7	960,7
	83,5	54,8	75,2	75,9	100,0

Емкость перехвата осадков – показатель, подчиняющийся географическим закономерностям. Обзор источников показывает: в средних широ-

тах, при сравнительно высоких суммах осадков и при мощном развитии лесной растительности этот эффект выражен заметно больше, чем в средней или северной тайге. Абсолютное количество влаги, не доходящее до поверхности (снижающее сумму осадков по сравнению с открытым местом), оценивается многими десятками и даже сотнями тонн на га. Чем дальше на юг и на север от средних широт (условно от подзоны южной тайги), тем меньше будут абсолютные значения перехватываемых осадков. К северу будет сказываться снижение полноты насаждений (увеличение их пропускной по отношению к осадкам способности) к югу – снижение сумм осадков.

В условиях республики Коми по наблюдениям Э.П. Галенко, (1993), эта закономерность в 1982–1983 гг. выражалась следующими значениями. Если в средней тайге сосновые и сосново-еловые спелые насаждения перехватывали 28–30 %, то в северной – только 14–15 % суммы осадков.

Количество влаги, проникающее под полог, зависит от их интенсивности, вида, продолжительности дождей, от структуры полога. Слабый дождь в густом насаждении почти полностью перехватывается насаждением. В случае затяжных дождей задерживающая способность полога леса снижается. Насаждения листопадных пород в основном удерживают влагу осадков в летнее время. Зимние осадки в березняках перехватываются всего на 4–5 %. По наблюдениям Э.П. Галенко, (1993) при дожде интенсивностью 2 мм/сутки сосняк черничный в средней тайге задерживал 50–60 %, при интенсивности 14 мм/сутки только 30–40 %. Зависимость проникновения осадков сквозь полог от суммы осадков за сутки в двух типах сосняков представлена на рис. 55.

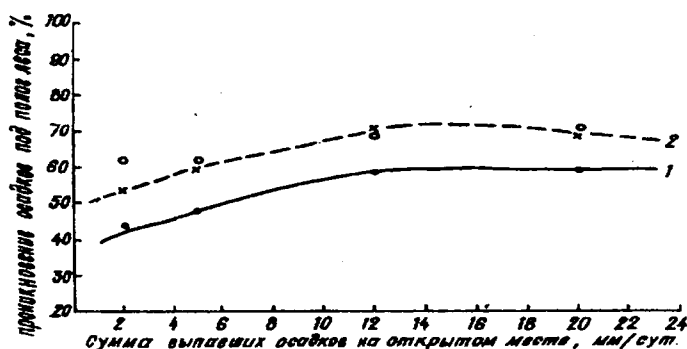


Рис. 55 Зависимость проникновения осадков под полог сосняка черничного (1) и сосняка чернично-сфагнового (2) от суммы выпавших осадков на открытом месте

Задержанная кронами влага не является потерянной для растений, т.к. при ее испарении охлаждается поверхность листьев и хвои. Увлажнение листьев повышает альбедо (отражающую способность), что приводит к снижению транспирации.

По обобщающим данным относительная величина перехвата осадков лесом изменяется от 12–15 до 55–80 %. Эти колебания больше связаны с различиями в структуре в породном составе леса, чем с разными возрастом и полнотой древостоев. Наибольшей величиной перехвата отличаются темнохвойные насаждения - ельники и пихтачи, а также сомкнутые букняки (60–80 %). Значительно меньше задерживают осадки мягколиственные насаждения – березняки и осинники. Самым низким задерживающим эффектом отличаются черноольшанники.

При прочих равных молодняки задерживают влагу меньше, чем средневозрастные и высоковозрастные насаждения. Максимальное количество воды (в мм), которое полог насаждения способен удержать, называют *емкостью влагозадержания*. В лесах бореальной зоны наивысшей емкостью обладает пихта сибирская (около 200 мм). Ель уступает пихте (180 мм). Осадки задерживаются не только древесным пологом. Установлено (данные ЛЕННИИЛХ), что в Ленинградской области, например, подлесок перехватывает 5–7 %, подрост 6 %, травянистый и моховой покров – 5–6 %.

Исследования В.В. Осипова в Ярославской области показали, что величина задерживаемой кронами осадков во многом определяется величиной листовой поверхности насаждения. Оказалось, что 1 га средневозрастного березняка обладает листовой поверхностью в 8–10 га. 1,2–1,5 га дополнительно дает поверхность ветвей и 1,0 га – поверхность стволов. При полном промачивании крона березы удерживает 1,0 мм осадков.

Имеет значение продолжительность и интенсивность дождя: по мере смачивания кроны и ствола процесс проникновения влаги под полог со временем усиливается. Сток по стволам в березняке начинает активизироваться при дожде интенсивностью 2,5 мм. Сток по стволам березы составляет в среднем 4 %, по стволам ели - 0,3–0,5 % выпавших осадков. Задержание осадков березняками ольшаниками в районе исследований оценивается 12–14 %, различия по годам составляют 1,0–1,5 %.

Важное место в структуре задерживаемых пологом леса осадков имеет фракция так называемых смешанных, регистрируемых в переходные периоды года. Представление об усредненном по высокобонитетным лесам Подмосковья соотношении между разными типами осадков, задержанных кронами насаждений разного породного состава представлен на рис. 56).

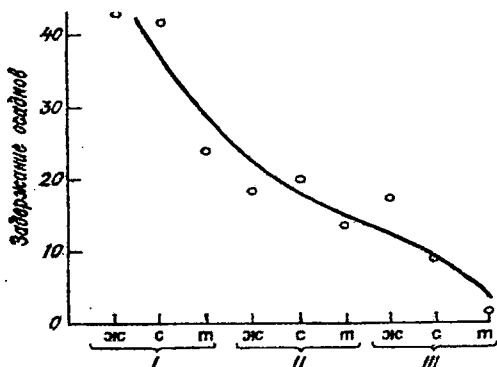


Рис. 56. Задержание осадков пологом елового (I), смешанного (II) и лиственного (III) насаждений с полнотой 0,8–0,9. Истринский пункт Подмоскowie (по А.Н. Воронкову, 1988).
Осадки: ж – жидкие, см – смешанные, т – твердые

Общая масса осадков и соотношение между их разновидностями в рассматриваемом ряду насаждений последовательно снижается. При исследованиях задержания осадков пологом леса в Прибайкалье (Горбатенко, 1979) использовался показатель максимальной влагоудерживающей способности (МВС), определяемый обычно путем достаточно скрупулезных экспериментов с дождеванием объектов. Максимальные значения коэффициентов МВС отмечены у молодых деревьев с густым охвоением. С увеличением массы кроны коэффициент МВС снижается, поскольку в кроне падает доля хвои (табл. 33).

Согласно данным ученого, величины задержанной хвоей влаги в кронах у молодых деревьев рассматриваемых пород выражается 0,174–0,285 кг/кг или 75–89 % суммарной величины задержанной кронами влаги. Хвоя высоковозрастных деревьев удерживает 0,088–0,102 кг/кг. Коэффициент МВС рассматриваемых пород у молодых деревьев 0,196–0,380, у высоковозрастных – 0,112–0,156.

В целом характер изменения коэффициенты МВС лесных сообществ аналогичен изменению участию в фитоценозе листовой массы. Обнаружена специфика МВС у ели. У этой породы, в связи с повышенной шероховатостью ее коры и высокого присутствия на ветвях эпифитов (главным образом, *Hypogymnium pissodes* L.) коэффициент МВС оказывается повышенным.

Таблица 33. Коэффициенты МВС по основным элементам крон деревьев
(по В.М. Горбатенко, 1979)

Порода	Коэффициент МВС	Сырой вес крон 10 кг			Коэффициент МВС	Сырой вес крон 120 кг			
		хвоя	ветви в мутотках	неохлажденные сучья		хвоя	в мутотках	неохлажденные сучья	лишайники
Кедр	0,196	0,174 89	0,012 6	0,010 5	0,112	0,088 78	0,011 10	0,011 10	0,002 2
Пихта	0,290	0,241 83	0,029 10	0,020 7	0,130	0,102 79	0,016 12	0,012 9	—
Ель	0,380	0,285 75	0,053 14	0,042 11	0,156	0,100 64	0,027 17	0,023 15	0,006 4

Примечание. В числителе кг воды/кг веса дерева при дожде; в знаменателе – %.

С увеличением возраста подроста и подлеска коэффициент МВС у этих компонентов насаждений снижается. Величины его у кедра, пихты, ели и можжевельника близки к 0,500–600, у представителей живого напочвенного покрова (у мхов и лишайников) – 1,2–1,4.

Закономерности влияния лесных насаждений на летние осадки в целом сохраняются и при рассмотрении зимних осадков. Это касается как роли породного состава, возраста древостоев, так и их густоты и продуктивности. Перехват твердых осадков пологом увеличивается с увеличением в составе эдификаторного яруса темнохвойных пород и кедра. Ельники и пихтарники во всех районах оказываются лидерами по проявлению перехвата твердых осадков. Влияния разного участия в составе сосны не установлено. Насаждения лиственницы в этом отношении работают летом в режиме лиственных, т.е. листопадных пород, зимой – по типу сосняков.

Лиственные насаждения отличаются наименьшим перехватом твердых осадков. Причем с возрастом и с увеличением продуктивности это влияние мало меняется, хотя максимальной емкостью перехвата отличаются все же молодняки. С увеличением возраста в темнохвойных лесах и в кедровниках сначала отмечается увеличение перехвата, а затем – медленное его снижение. Со снижением густоты или сомкнутости полога перехват снижается.

При рассмотрении перехвата осадков лесом Н.А. Воронков, (1988) предлагает не упускать из внимания осадки переходных периодов – весенние и осенние осадки смешанного типа. Ученый указывает, что для выявления истины имеют значение, как специфика полога леса, так и особенности осадков – смешанная их консистенция. В частности имеет место уве-

ние и осенние осадки смешанного типа. Ученый указывает, что для выявления истины имеют значение, как специфика полога леса, так и особенно-сти осадков – смешанная их консистенция. В частности имеет место увеличение вязкости жидких осадков или жидкой их составляющей, возрастание доли конденсационного явления. Доля смешанных осадков по наблюдениям на Истринском стационаре за 12 лет составила 18 % (113 мм).

При рассмотрении влияния леса на перехват осадков нельзя не учитывать трансформирующего эффекта этого явления, в частности отложения части влаги, затрачиваемой на смачивание поверхности полога леса и механически задержанной пологом на почву с определенной задержкой. К сожалению этому вопросу часто не уделяется внимания.

Взаимоотношения леса с осадками

Отношения леса и осадков в аспекте благоприятности – неблагоприятности неоднозначны. Прежде всего, любые осадки несут необходимую для лесной растительности влагу. Осадки – основная, а часто единственная статья прихода влаги в лесные экосистемы. Дождь обеспечивает кроме того обмыв ассимиляционных органов от накапливающейся на листьях и хвое пыли, очищает («промывает») устьичный аппарат. Умеренный дождь в лесу при умеренных температурах воздуха расценивается экологами как весьма благоприятный фактор среды. С дождем, как уже отмечалось, поступают в ризосферу деревьев микрэлементы, содержащимися в пыли.

Но обложные сильные (особенно затяжные) дожди могут причинять вред древесной растительности, иногда весьма существенный. Главным при этом, в северотаежных, прежде всего, районах оказывается блокирование важнейших жизненных функций древесных растений, часто почти полное (транспирация, ассимиляция и дыхание, ростовые процессы, нормальный ход репродуктивных процессов). Приостановка на неделю, иногда более, всех жизненных процессов биогеоценоза в условиях короткого лета не может остаться без последствий. Главные из них - снижение продуктивности, риск незавершенности важнейших явлений (не вызревание семян, неподготовленность молодых побегов к морозам и т.п.).

Наносят вред леса также ливневые дожди, в особенности с градом или с порывистым штормовым ветром. Напоры дождевой воды, в особенности при сильном ветре – это довольно существенная механическая нагрузка на хрупкий ассимиляционный аппарат деревьев. При таких ситуациях может происходить обрыв массы листьев и слом молодых побегов.

Особенно опасен сильный ливневый дождь в конце лета – ранней осенью, когда молодые побеги еще не одревеснели и не способны выдерживать сильных ударных нагрузок. Увы, не приносят пользы лесу обложные (продолжительные) дожди, повсеместно свойственные для северо-таежных и среднетаежных районов. Чаще всего в этот период оказывается низкой температура и высокой относительная влажность воздуха. Высокая представленность таких ситуаций в таежной зоне является по-видимому одной из причин невысокой продуктивности таежных лесов.

Довольно неоднозначно влияние на лесные экосистемы снега. При оценке роли этого вида осадков необходимо учитывать мощность снежного покрова, сроки и интенсивность его выпадения, изменение его физических параметров в особенности зимой и весной.

Снег в лесу создает особый микроклимат, с которым связаны многие происходящие в лесу процессы. Прежде всего, под его покровом создаются специфические гидротермические условия. Разница в температурах на поверхности снега и на поверхности почвы при глубине его слоя 40–50 см достигает 15–20 градусов. При большой мощности снега в отдельные периоды эта разница может достигать 40 градусов. Обычно под слоем снега температура поверхности почвы не опускается ниже – 5° С. Ковер снега – надежное укрытие от морозов для растительности напочвенного покрова, для корней всей растительности. Под прикрытием снега значительно снижается глубина промерзания почво-грунтов. Роль этого важного обстоятельства трудно переоценить при рассмотрении водного баланса лесных участков.

Известны явления позитивного влияния зимних осадков. Выпавший осенью на талую землю снег предотвращает или снижает выжимание корней морозом. Снежный наст способствует распространению семян древесных пород. Снег служит надежным буфером по отношению к механическим нагрузкам при лесозаготовках. Благодаря снежному покрову сохраняется или меньше повреждается подрост древесных пород, являющийся опорой для лесовозобновления после рубки. В районах с высокими уровнями аэротехногенного загрязнения снег выполняет роль укрытия для наземной растительности, для подроста, подлеска, для нижних ветвей деревьев.

Не менее существенно негативное влияние твердых осадков. Мягкий и пушистый снег оказывается может наносить ощутимый вред лесным сообществам. Выпадающий ранней осенью снег может оказаться причиной повреждения хрупких генеративных органов деревьев. Ранний осенний

снег может задержать подготовку органов деревьев к зимним холодам. Глубокий снег может существенно осложнить жизнь многим видам животных: птицам, копытным, мелким грызунам. Особенно опасен для лесных копытных наст.

Большой вред наносит лесу неумеренный снеговал. Являясь одной из важных составляющих естественной замены старых деревьев молодыми при естественной динамике лесных экосистем, в сильной форме, в масштабном проявлении снеговал вместе с ветровалом могут выступать разрушающими факторами древостоя. После сильных снегопадов и снежных бурь, в особенности при оттепелях масса снега в кроне дерева может достигать многих десятков килограммов. Достаточно подуть ветру и срабатывают мощные рычаги опрокидывающего момента. Корни в непромерзших грунтах не выдерживают: дерево вываливается со скелетными частями корневых систем.

Под влиянием снега происходит также снеголом – слом стволов на любой высоте дерева, обламывание верхушек, обламывание ветвей. Особенно опасно такое явление при «мокрых снегопадах». В условиях тайги большой вред снеголом наносит сосне, лиственнице. Ветви деревьев этих пород очень хрупки и первыми не выдерживают нагрузок. В 2002 году сильнейший снеголом обрушился на массивы старых еловых лесов в некоторых районах Березниковского лесхоза Архангельской области. Под влиянием массивного налипания снега на верхушках и на верхних частях крон в апреле обломились верхушки и верхние части крон у 30–55 % деревьев. Налипанию снега в верхних частях крон способствовал обильный урожай шишек в 2001 году (гроздь неопавших шишек создали дополнительную поверхность аккумуляции снега). Обламывание верхних частей деревьев происходило на высоте от 1,5 до 20 метров. Обламывались фрагменты 1,5–20 метровых размеров (от верхушек до стволов целиком).

От сильного навала снега иногда страдает молодое поколение древесной растительности (самосев и подрост). На участках молодых лесных культур, снег может работать как мощная физическая нагрузка. Под влиянием этой нагрузки формируются уродливые или поврежденные кроны деревьев, происходит слом стволиков, обламывание ветвей. Нередко под покровом снега в молодых сосняках создаются благоприятные условия для вспышки фалцидоза (снежного шютте) – опасной болезни, вызываемой некоторыми видами несовершенных грибов. Под влиянием снега на вырубках нередко происходит «заваливание» молодых сеянцев и саженцев, а также естественного самосева ветошью трав.

В некоторых районах, чаще на юге, древесная растительность может страдать от ожеледи и изморози. В условиях резких перепадов температур и влажности воздуха деревья оказываются своеобразными конденсаторами, принимающими своими ветвями десятки и даже сотни килограммов быстро образующегося льда. Обламываются мощные ветви деревьев. Иногда дерево разрушается полностью. Происходит это за считанные часы. В течение суток – двух полностью разрушаются насаждения на многих гектарах.

Иногда снег может повреждать лесную растительность в процессе переотложения под влиянием ветров. Снежная крупа при сильном ветре на открытых местах «работает как настоящий наждак. «Снежной эрозии» наиболее подвержены лесные группировки на верхнем пределе лесной растительности в горах. Кстати на гонных склонах при постоянных подвижках снежного покрова (сползание снега по склону) формируются специфические стланиковые и плакучие формы крон деревьев и кустарников.

Негативное воздействие осадков на лес в определенной мере поддается регулированию. Самый эффективный путь - управление структурой насаждений. Имеется в виду не только управление составом, возрастной структурой насаждений, но также (при лесоразведении) - управление размещением и конструированием полос и рядов древесных пород.

Влияние леса на снегонакопление

Лесной полог оказывает большое влияние на снегонакопление. Специфической ролью снега в формировании водного баланса территорий заключается в том, что твердые осадки определяют ту их часть, которая в круговороте воды выходит за пределы водосборов. Обзор источников, выполненный Н.А. Воронковым, (1988) убеждает, что испарение снега не превышает 32 мм, при усредненных колебаниях от 6 до 26 мм., что составляет 1–5 % от суммы осадков. Причем основное испарение происходит либо при метелях либо при снеготаянии.

Определенная часть твердых осадков, перехваченных пологом леса оказывается в конечном счете на почве. Эффект повышенного накопления снега в лесу по сравнению с открытыми пространствами как раз объясняется поступлением его с крон. В лиственных лесах снегонакопление выражено больше, чем в смешанных и еще больше чем в хвойных. Если учесть, что в снежный период становится реальной добавление осадков за счет инея и изморози, то говорить о роли снега, как о факторе, отрицательно

влияющем на водоохранно-защитные функции экосистем, нет оснований. Повышенное накопление снега в лесу, изменение режима расходования осадков посредством эффективного перевода поверхностного стока во внутрисочвенный по-видимому оправдывают снижение суммы осадков за счет перехвата и испарение пологом леса.

Интенсивность накопления тесно связана со структурой полога. Исследования гидрологических условий в лесах Карпат показали, что фактическое поступление снежных осадков, промерзание и оттаивание почв, с которыми тесно связана структура стока, зависят от состава пород насаждений. В насаждениях по сравнению с вырубкой высокую долю в стоке составляет почвенно-грунтовой.

Изучение снеготаяния и запасов влаги на стационаре «Усьва» (Средний Урал; Мельчанов, 1973) показало, что среди метеорологических факторов, оказывающих влияние на накопление снега в лесу большую роль играют температура воздуха, режим выпадения твердых осадков и ветер. При сильных снегопадах сквозь полог осадков проникает больше (94,2–98,5 %). При низких температурах в темнохвойных среднеполнотных насаждениях типа 7Е2П1Б на кронах в результате «осыпания снега» оставалось в среднем 9,7 %, а в березняках с елью только 5,7 %. Резко возрастает перехват осадков кронами даже в лиственных лесах, когда снегопад идет при температурах близких к нулю (вследствие прилипания снега). В ветренную погоду перехват осадков пологом леса снижается. Во-первых снег сдувается с крон, во-вторых усиливается его испарение. Поскольку часть, сдуваемая с крон больше испаряющейся, ветер все же увеличивает долю снега, поступающего на почву.

Снеготаяния в лесу изменяются с изменением полноты древостоев. Так в изреженных насаждениях с полнотой 0,5 на стационаре «Усьва» он составлял 94,7 %, в насаждениях с полнотой 0,7–89,8 % от снеготаяния редины. В березняках, несмотря на более высокую полноту, запасы снега оказались на 6–19 % выше, чем в ельниках. Наибольшая высота снега отмечается в молодняках, самые низкие – в высоковозрастных насаждениях. Вырубка по этому показателю занимает промежуточное положение. По снеготаянию же на первое место выходят вырубки, поскольку снег здесь ложится плотней, чем под пологом леса. Затем идут молодняки и замыкают ряд темнохвойные высокополнотные ельники.

Процесс снеготаяния повсеместно тесно обусловлен метеорологическими условиями. Имеет значение суммарная солнечная радиация, антициклонический тип погоды, выпадение осадков в виде дождя. Некоторые

ученые указывают в числе благоприятствующих факторов также на выделение скрытой теплоты плавления в процессе конденсации водяных паров на поверхности снега и поступление тепла от почвы, которые имеют место в районах неустойчивого климата.

Снеготаяние в лесу начинается с наступлением положительных температур. Характер дневного хода снеготаяния в связи с изменениями температур воздуха в лесах Прибайкалья показан на рис. 57. Как видно из рис. 57, ход снеготаяния в большой мере зависит от характера поверхности почвы и присутствия древостоя. В обоих случаях (при разных типах погоды) снеготаяние раньше всего начинается и протекает более интенсивно на участках гари, лишенных напочвенного покрова, медленней всего - под пологом леса с сохранным напочвенным покровом.

Образующаяся в начале вода пропитывает верхние слои, постепенно углубляясь. Структура слоя снега изменяется. Из рыхлого он превращается в зернистый. Предполагается, что при приобретении зернистой структуры вода уже проникает до поверхности почвы.

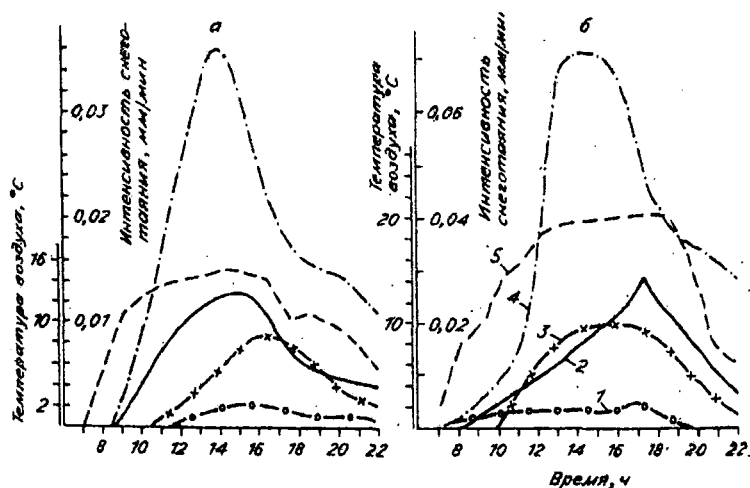


Рис 57. Дневной ход температуры воздуха и интенсивности снеготаяния при циклональном (а) и радиационном (б) типах погоды 1 – лес (контроль), 2 – гарь (контроль), 3 – лес с удаленным напочвенным покровом, 4 – гарь с удаленным напочвенным покровом, 5 – температура воздуха (по М.В. Горбатенко, 1979)

Продолжительность снеготаяния очень изменчива. Быстрее всего, понятно, снег сходит на полях, на вырубках, в лиственных молодняках. Затем с задержкой на неделю – десять дней он сходит в высоковозрастных лиственных насаждениях. Наибольшая задержка (в среднем на две недели относительно вырубки) отмечается в темнохвойных лесах. В горных условиях снеготаяние наступает с некоторой задержкой и общая его продолжительность увеличивается относительно равнины примерно на неделю. Естественно в горах имеет значение экспозиция склона. Первыми освобождаются от снега склоны южной экспозиции. По наблюдениям В.А. Мельчанова, (1973) общая продолжительность снеготаяния на лесных землях Среднего Урала на равнине 10–26, в горах – 26–30 дней.

Влияние горного рельефа на снегонакопление и его сход, однако, не всегда так однозначно. Исследования в лесах Тянь-Шаня (Матвеев, 1968) показали, что вследствие большого перехвата снега кронами в высокополнотных ельниках снегозапасы могут быть в 4 и более раз ниже, чем в изреженных (с полнотой 0,3). Запасы снега в сравниваемых насаждениях оценивались, соответственно, в 22 и 89,7 мм. Остановливаясь на различиях в величине перехвата снега ельниками в Подмоскowie и на Тянь-шане, автор основной причиной считает различия в строении крон елей обыкновенной и таньшанской.

В силу приведенных различий в снегозапасах в насаждениях разной полноты при радиационном типе погоды снег на Тянь-Шане в высокополнотных насаждениях сходит быстрее, чем на открытых пространствах. Ученым выявлена четкая зависимость снегонакопления под пологом ельников от их возраста. При прочих равных снегонакопление на поверхности почвы с увеличением возраста с 80 до 160 лет в среднеполнотных насаждениях уменьшался с 61,1 до 39,9 мм, в полных – с 26 до 13 мм.

Общее испарение

Расходную часть водного баланса лесных земель образуют сток и испарение. Обе эти статьи в свою очередь образованы несколькими составными частями. Испарение влаги под пологом насаждений обычно представлено физическим испарением с почвы, с живого напочвенного покрова, а также транспирацией кустарниковой растительности и подроста. Если в поле и на вырубке физическое испарение по обобщенным данным составляет 40–55 % от суммы осадков, то в лесу – в среднем лишь 2–14 %. Изменения в соотношениях между различными статьями испарения с возрастом в таежных сосняках брусничных показано на рис. 58.

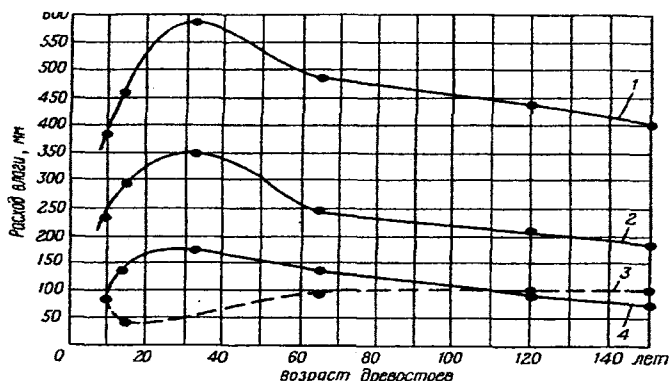


Рис. 58. Общий расход влаги на транспирацию и испарение с крон и почвенного покрова в сосняках брусничных разного возраста (по Молчанову, 1973): 1 — суммарное испарение» 2 — транспирация, 3 — испарение с покрова, 4 — задержание кронами осадков

В отличие от испарения с крон (перехваченной доли осадков) физическое испарение других элементов леса меньше подвержено изменениям, в связи с температурными условиями и влажностью воздуха. По мнению Н.А. Воронкова подпологовое испарение тесно коррелирует с суммой осадков текущего периода в ландшафте.

Повсеместно физическое испарение под пологом леса ниже, чем с открытых пространств. Принято считать, что малое испарение под пологом — типичное проявление защитной роли полога леса. Вместе с тем, как отмечает Н.А. Воронков, (1984), малое испарение в нижней части полога как раз является следствием высоких потерь влаги верхними ярусами насаждения.

Невозможно определить расход влаги на испарение под пологом при балансовом способе расчетов без расчетов одновременно транспирационных расходов и стока. Необходимо учитывать, что лес, благодаря большей способности поглощать солнечную радиацию, испаряет воду с большей интенсивностью, чем другие типы растительности. Представление о расходной части водного баланса в лесах Подмосковья и Телермановского лесничества (Воронежская область) дают данные табл. 34 и 35.

Общий расход проникшей под полог древостоя влаги колеблется от 20 до 39 %, расход на инфильтрацию — от 12 до 30 % от суммы осадков. Наибольшие затраты на инфильтрацию отмечены в сосняке мшистом, самые низкие — в сосняке сфагновом и в ельнике черничном. Транспирационные

расходы составили 21–51 % от суммы осадков. Самый высокий расход в ельнике черничном (53 %), самый низкий – в сосняке сфагновом: 21 % от суммы осадков. Поверхностный сток значимых величин достигает только в сосняках сфагновых и долгомошных. Здесь он четко носит локальный характер.

Таблица 34. Расход влаги насаждениями разных типов леса в пункте «Прокудин бор», рассчитанных балансовым методом, мм. год (по Молчанову, 1961)

Тип леса	Транспирация	Испарение покров	Испарение с крон	Итого	Поверхностный сток	Инфильтрация
С. мшистый	173	79	80	332	4	220
С.брусничный	195	83	86	364	4	188
С. черничный	217	121	90	428	6	122
С.долгомошный	165	190	86	441	35	80
С. сфагновый	119	227	80	426	60	70
Е.брусничный	225	86	70	381	4	171
Е.черничный	297	55	121	473	7	75
Березняк черничный	200	55	100	355	8	193

Таблица 35. Годовой расход влаги в дубовых лесах в возрасте 225 лет Телермановского лесничества, установленный балансовым методом при средних осадках за 7 лет, 523 мм

Статьи водного баланса	Осоково-снытьевая дубрава плакор	Снытьевая дубрава (северн. склон)	Липово-осоковая дубрава (с.-з. склон)	Полево-кленовая дубрава (восточн. склон)	Бересклетовая дубрава (ю.-в. склон)	Солонцовая дубрава (южный склон)
Поверхностный сток	20	26	30	55	78	126
Испарение с покров	94	89	93	83	79	81
Испарение с крон	69	69	67	65	63	57
Транспирация	255	294	281	266	232	171
Суммарное испарение	418	452	447	414	374	309
Инфильтрация	85	45	52	54	71	88

Соотношение между испарением и стоком весьма изменчиво, как в пространстве, так и во времени. Наиболее наглядна пространственная его вариабельность в районах с гористым рельефом. Так по данным сибирских ученых (Горбатенко, 1979), в Прибайкалье складывается следующие соотношения между основными статьями расхода влаги лесными экосистемами. В наиболее увлажненных районах темнохвойного пояса (на уровне 1000–1400 м) на сток уходит 50–55 % влаги, на суммарное испарение – 45–50. В бедных осадками лесах светлохвойного пояса на сток расходуется 15–25 %, на испарение 75–85. В хорошо увлажненных лесах темнохвойного пояса на транспирацию затрачивается 44–45 %, на испарение перехваченных растительным покровом 45–50 %, на испарение с почвы и снега – 8–10. В засушливых районах светлохвойного пояса в общем расходе транспирация составляет 50–57 %, испарение перехваченных осадков – 30–40, испарение с почвы и снега – 10–12 %. В остепненном поясе региона, в местообитаниях, приуроченных к днищам котловин при сумме осадков 300–400 мм, на испарение уходит 290–360 мм, на сток – 10–40 мм (90–97 и 3–10%, соответственно).

Высокой изменчивостью показателей испарения выделяются леса Средней Сибири (Буренина, и др., 2002). Суммарное испарение в лесных экосистемах Енисейского меридиана, характеризующегося сложной орографией и наличием горных массивов, изменяется от 184 в Анабарской лесорастительной провинции до 387 мм в Приангарье. Наибольшая изменчивость по региону по транспирационным расходам наблюдается при сопоставлении тех же районов, где они составляли интервал от 157 до 283 мм. Доля суммарного испарения от сумм осадков составляла 48 и 83 %, транспирационных расходов – 48 и 60 %, соответственно.

Сезонная динамика суммарного испарения в лесах разных формаций преобладающих пород Енисейского меридиана показана на рис. 59.

Как следует из рисунка, ход сезонных изменений в представленных лесах идентичен. Имеет место нарастание суммарного испарения от северогаежных к южнотаежным экосистемам. Разумеется, при этом имеет место разница в формировании всех статей суммарного испарения, обусловленная различиями в морфоструктуре насаждений разных формаций, но наличие четкой связи с географической широтой отрицать нельзя.

О высокой изменчивости статей расхода влаги на местном (локальном) уровне свидетельствуют данные по Телермановскому лесничеству, где расход влаги учитывался дифференцированно по типам дубрав, расположенных в разных элементах рельефа (см. табл. 35). Наибольшей ста-

бильностью значений характеризуются показатели испарения с напочвенного покрова, испарения с крон и инфильтрации, а наибольшей изменчивостью величины транспирации и поверхностного стока.

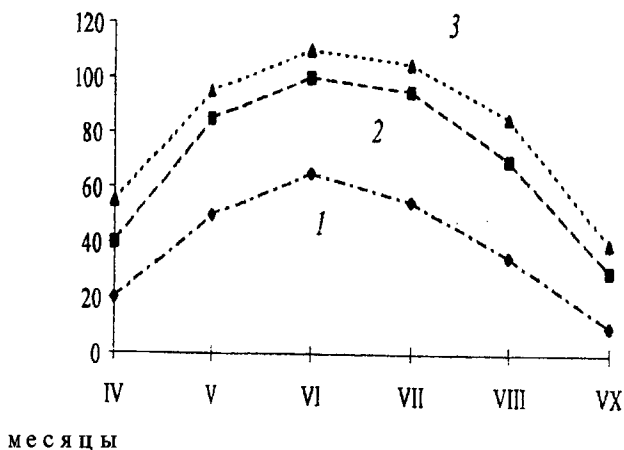


Рис. 59. Сезонная изменчивость суммарного испарения в лесах разных формаций и подзон тайги Енисейского меридиана: 1 — ельник 120 лет северная тайга; 2 — кедровник 10 лет, средняя тайга; 3 — сосняк 120 лет южная тайга (Экосистемы..., 2002)

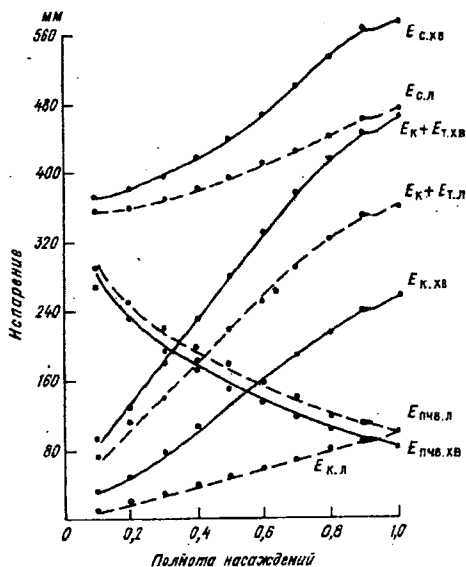
Невысокие значения испарения под пологом отмечены В.В. Протопоповым (1975) в Вологодской области (ельник травяно-зеленомошный), а также в кедровых лесах Сибири (щитовниково-зеленомошный тип леса). Обзор данных выполненный Н.А. Воронковым, (1984) убеждает, что подпологовое испарение не должно превышать 20 % от общего, лишь в отдельные годы возможно повышение этой статьи до 25–30 %. Значения этой статьи могут превышать величину испарения с крон только в лиственных лесах.

Физическое испарение влаги осадков в лесу усиливается в ранневесенний и осенний периоды, когда до предела понижена транспирация. По данным Н.А. Воронкова с коллегами, (1976) решающее значение имеет повышенное количество солнечной радиации, достигающее поверхности почвы и напочвенного покрова. Исследования в Истринском пункте (ВНИИЛМ) показали, что под полог ельников весной проникает 5–7 %, смешанного елово-березового леса — 14 %, лиственного насаждения — 32 % суммарной радиации. Летом в период полного облиствения эти показатели

в разы меньше: 3,7; 4,6; 5,7 %. Такая крутая трансформация радиационного режима приводит к усилению испарения.

Выявлены существенные различия в величинах испарения между хвойными и лиственными насаждениями разной полноты. В Подмосковье по данным Н.А. Воронкова (1988) различия в транспирации и в структуре физического испарения и с разных частей еловых и лиственных насаждений прослеживаются очень отчетливо (рис. 60).

Рис. 60. Зависимость испарения в хвойных (ель) и лиственных (береза, осина) насаждениях от полноты: $E_{с,хв}$, $E_{с,л}$ – суммарное испарение в хвойном и лиственном насаждениях; E_k – испарение задержанной кронами влаги; E_t – транспирация; $E_{пчв}$ – испарение с почвы и напочвенного покрова (по Н.А. Воронкову)



Средняя за лето испаряемость под пологом лесов в Подмосковье достигала 23–28 % от испаряемости в поле. В абсолютном выражении весной испаряемость под пологом леса не превышала 1,2, на открытом участке – достигала 2,5–3,0 мм. Физическое испарение влаги осадков в лесу усиливается в ранневесенний и осенний периоды, когда до предела понижена транспирация. В Прибайкалье по наблюдениям В.М. Горбатенко, (1979) испарение под пологом в 2–4 раза ниже, чем на открытых участках..

В средней подзоне тайги на испарение с почвы и травяного покрова расходуется 10–15% от суммы осадков. Средняя за лето испаряемость под пологом в Подмосковье достигала 23–28 % от испаряемости в поле. В абсолютном выражении весной испаряемость под пологом леса не превышала 1,2, на открытом участке – достигала 2,5–3,0 мм

В значительной степени испарение с поверхности почвы и растительности напочвенного покрова зависит от характера этой поверхности. Исследованиями О.В. Шаховой, А.А. Молчанов, С.В. Федорова, Н.Ф. Со-зыкина В.В. Осипова в разных районах южной тайги показали, что имеет значение характер и мощность лесной подстилки, высота и состав мохового и травяного ярусов, а также характер нарушенности почвы. Больше всего испаряет покров из разнотравья, меньше всего – ковер из сфагновых мхов. Зеленые мхи испаряют больше, чем гипновые и сфагнумы. Лесная подстилка типа «модер» испарят 20–30 мм. С поверхности подстилки испарение оказалось меньше, чем с обнаженной почвы, различия колебались в пределах 20–30 %. Резко увеличивается испарение с поверхности взрыхленной поверхности почвы. Имеет значение мощность и состав подстилки. Мертвопокровная поверхность испаряет меньше, нежели имеющая растительность. Относительно небольшое испарение с поверхности мохового покрова 35–80 мм.

На испарение с напочвенного покрова под пологом мало влияет структура древесного яруса. Н.А. Воронков считает, что решающее значение при нивелировании различий в этом случае имеет трансформирующая роль верхнего полога.

Исследования в Сибири (Протопопов, 1975, Горбатенко, 1979) показали на наличие различий в подпологовом испарении в связи с экспозицией склонов. Эти различия в величине общего испарения в насаждениях, тяготеющих к склонам южной и северной экспозиции при прочих равных достигают 7–11 %. Однако это соотношение может изменяться под влиянием разницы в количестве транспирационной фитомассы в насаждениях, а также суммарно в связи с разным формационным. Последние наиболее значимы в горных условиях.

Общеизвестна тесная зависимость транспирационного испарения от фитомассы лесных биогеоценозов.. Так, в хвойных лесах среднегорного пояса хребта Хамар-Дабан (бассейн Байкала) на склонах южной экспозиции произрастают редкостойные кедровники, а на северных относительно продуктивные лиственничники. Поэтому на долю в суммарном испарении насаждений приходится: на склонах, обращенных к югу 55–60, на обращенных на север – 62–71 % . При этом доля полога леса в испарении составляет 30–44 и 39–60 %, соответственно. Ученые убеждены, что указанное отклонение от общей орографически обусловленной закономерности может быть объяснено только существенными различиями в активной фитомассе.

Как уже отмечалось, важное значение в жизнедеятельности лесных экосистем играет транспирация – устьичное и кутикулярное испарение воды растениями. Согласно обзору литературных источников (А.А. Молчанов, С.Ф. Федоров, Х.Лир и др., В.В. Протопопов; В. Лархер, Г.Б. Паулюжвичус, Н.А. Воронков, Н.Ф. Созыкин, В. М. Горбатенко, А.И. Субботин, В.В. Осипов и др.), лесами зоны умеренного климата и лесостепи на транспирацию тратится от 40 до 60 % суммы осадков и от 40 до 75 % суммарного испарения (табл. 36).

Таблица 36. Структура испарения в лесных насаждениях, % осадков и суммарного испарения в географическом аспекте (по Н.А. Воронкову, 1988)

Зона	Порода	Задержание пологом, %		Испарение с почвенного покрова и почвы		Транспирация %		Суммарное Испарение мм
		среднее	интервал	среднее	интервал	среднее	интервал	
Средняя тайга	Сосна	19	16–28	12	11–13	29	17–32	255
		35	28–50	21	19–24	44	31–54	
	Ель	23	20–26	15	12–19	30	22–36	400
		40	26–49	18	14–23	42	31–56	
Смешанные леса	Сосна	23	15–31	22	9–34	39	30–51	444
		28	21–38	25	10–42	47	37–56	
Лесостепь	Сосна	22	18–26	11	10–13	40	27–49	371
		30	22–35	17	12–24	53	44–61	
	Дуб, Ясень	11	16–18	15	4–19	56	33–70	414
		15	7–23	18	15–26	67	54–80	

Материалы таблицы построены Н.А. Воронковым по данным обзора обширной литературы и при рассмотрении вопроса в постановочном порядке с приведенными в ней данными можно согласиться.

На расход влаги осадков в лесу оказывает влияние относительная влажность воздуха. Со снижением этого показателя физическое испарение осадков возрастает. Относительная влажность в лесу летом обычно выше в лесу, чем в поле. Различия, обусловленные обычно различиями в температуре воздуха, в разных районах колеблются в пределах 10–20 %. Известно, что они тесно связаны со структурой насаждения, а территориально, на уровне ландшафтов обусловлены в большей мере структурой лесных земель. Например, относительная влажность воздуха под пологом сомкнутых лиственно-хвойных насаждений у поверхности почвы оценивается 20–25 %, в зоне крон – 49–76 %.

На открытых обезлесенных участках относительная влажность воздуха ниже, чем в лесу, под пологом высокополнотных насаждений - выше, чем в низкополнотных, в насаждениях темнохвойных пород - выше, чем в лиственных и светлохвойных. Таким образом, регулирование состава и структуры насаждений может осуществляется по-средством регулирования влажностного режима в лесу. Эффективным инструментом, рычагом улучшения гидрологических условий в переувлажненных лесах может быть осушение. Известно, что в осушенных лесах увеличивается интенсивность всех жизненных процессов.

Итак, потребление воды насаждениями в таежных условиях составляет основную долю расходной части водного баланса. В общей массе расхода воды на долю потребления насаждениями в Европейской части России в Средней Сибири (Молчанов, 1960, 1961), Федоров, 1977; Рахманов, 1984; Воронков, 1984; Протопопов, 1975, 1977; Горбатенко, 1979) приходится почти половина или более. Все исследователи отмечают высокую изменчивость этого значения по участкам насаждений разной структуры и состава и с учетом различий ландшафтного характера. При пересеченном и горном рельефе насаждения южной экспозиции испаряют влаги больше, чем леса на склонах других направлений.

Большая часть испарения в лесу - это устьичная транспирация, на которую приходится, как уже говорилось, 2-4 тысячи тонн на га. В зоне умеренного климата древесные породы в порядке снижения удельной транспирации (в единицу времени) составляют следующий ряд: ясень, береза, дуб черешчатый, клен остролистный, осина, сосна. По абсолютной величине транспирации на первое место выходит береза, за ней следует дуб. Береза в одинаковом возрасте расходует на испарение в 2-3 раза больше, чем сосна.

На покрытых лесом участках максимальная величина транспирации приходится на древостой: 30-60 % расходной части баланса и 60-70 % от общего испарения. В темнохвойных пихтово-кедровых лесах бассейна Байкала поданным сибирских ученых усредненная структура удельных транспирационных расходов характеризуется следующим образом (%):

Кедр - пихта	17-40
Мхи и лишайники	14-31
Подрост - подлесок	2-6
Ель	1-2
Береза	0,5-1,0

Расчеты на основании удельных величин устьичного испарения позволили выявить осредненные расходы транспирации по преобладающим лесобразующим породам (мг/г·час):

Кедр, ель	138
Пихта	220
Сосна	155
Лиственница	210
Береза, осина	400
Разнотравье	244

Оказалось, что суммарное испарение с лесных частей водосборов в бассейне Байкала больше средней величины испарения с площади бассейна. Это показывает на более высокую увлажненность лесных земель по сравнению с другими, не лесными землями.

Древесная растительность, обладая свободным доступом к неограниченным почвенной влаге, при благоприятных температурных условиях и условиях атмосферного увлажнения может транспирировать большие количества влаги, чем другие типы растительности. В черноольшанниках и некоторых разновидностях ветляльников годовой расход транспирации может достигать 7–8 тысяч тонн га гектар. В местообитаниях с непромывным типом увлажнения почво-грунтов древостой сильно транспирирует влагу до тех пор, пока влажность корнеобитаемого слоя не опустится до 50–60% от полной влагоемкости. При этом зона охвата всасыванием корнями постепенно расширяется (рис. 61). Как показывают наблюдения американских лесоводов, пики суммарного поглощения влаги приходятся на время максимальной транспирации (июнь–июль). Далее поглощение идет более равномерно по всему почвенному профилю.

На хорошо дренированных почвах транспирация ограничивается количеством осадков, достигающих почвы и количеством воды, которое способно поступать вверх в корнеобитаемую зону

Н.А.Воронков, рассматривая различия во влиянии на испарение разных формаций преобладающих пород, на основе обстоятельного анализа многочисленных исследований и своих богатых наблюдений приходит к заключению: в летний период при несколько большем расходовании влаги на транспирацию в лиственных лесах, суммарное испарение всегда оказывается меньше, чем в хвойных. Расчеты показали, что общий средний сток с территорий хвойных лесов в Европейской части России составляет 131 мм/год, с территорий лиственных – 235 мм. Различия впечатляющие.

Этот вывод вносит ясность в многие нестыковки, и противоречия, накопившиеся в многочисленных дискуссиях по поводу гидрологической роли лесов.

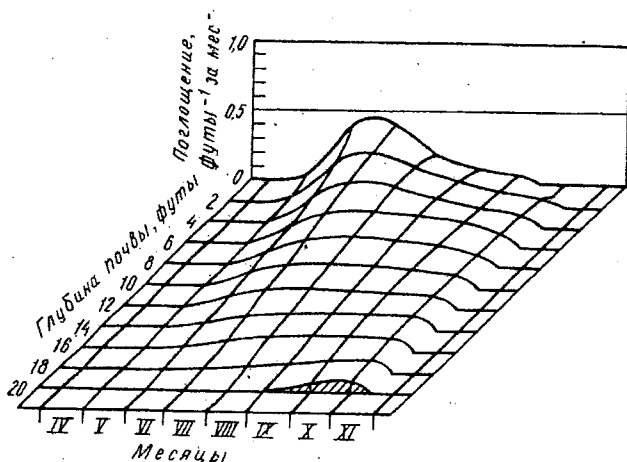


Рис. 61. Характер поглощения воды из 20 футового слоя почвы (6м) на юге Аппалачских гор (по Стурр, Барнет, 1984)

Сток с лесных земель

Часть поступивших в лесной биогеоценоз воды уходит за его пределы в виде стока. Эта статья водного баланса составляет очень важную его составляющую, играющую незаменимую роль в функционировании ландшафта. Сток происходит обычно в виде сочетания нескольких его форм: по поверхности почвы, на разной глубине почвенного профиля и в виде просачивания в подпочвенные толщи, где поверхностная влага соединяется с подземными водами. Функции этих разных статей стока неодинаковы и каждая рассматривается как важнейшая составляющая гидрологического режима территории.

Структура стока (соотношение форм) изменяется во времени: в многолетнем режиме — с изменением структуры насаждений по мере увеличения их возраста, в сезонном — по мере снеготаяния, насыщения почвы влагой, по мере оттаивания почвы и изменением текущих осадков. Общей чертой изменения структуры стока в течение вегетационного периода является сначала интенсивное наращивание и столь же энергичное снижение

поверхностного стока. Затем (с конца паводка) отмечается последовательное увеличение почвенной составляющей, а со середины вегетации – начинается медленное наращивание просачивания в почвогрунтовые толщи – увеличение инфильтрации.

Характер структуры стока иллюстрируют данные по Прибайкалью (Средообразующая роль..., 1979). В гористых районах бассейна Байкала складывается следующая его структура. Склоновый поверхностный сток составляет в среднем 4 %, почвенно-грунтовый – 35 %, сток нижних водонесных горизонтов – 61 %. Общая сумма и структура не остается постоянной в течение года. Поверхностная составляющая изменяется от 7 % весной до 1 % – летом. Доля почвенно-грунтового стока изменяется в пределах 45–31 %, а доля стока нижних водонесных горизонтов – от 48 до 68 %. Величина стока напрямую связана с количеством тепла, поступающего к дневной поверхности. Это хорошо отражает рис. 62, данные для которого получены в Прибайкалье (Горбатенко, 1979). Самый интенсивный сток отмечен на участке гари с удаленным живым напочвенным покровом. Напротив, самое медленное нарастание коэффициента стока имеет место под пологом насаждения с развитым напочвенным покровом. Различия в величинах стока с пунктов, располагающихся на разной высоте над уровнем моря в Прибайкалье показана на рис. 63. Кривые изменения величин среднегодового стока оказываются тем круче, чем ниже положение участка в ландшафте. Наибольшие величины стока дают участки, расположенные на пунктах, с самым высоким положением над уровнем моря.

На величину стока, на его структуру и режим оказывает влияние целый комплекс факторов. Первостепенное значение имеют свойства почвогрунтов, прежде всего механические и водные свойства: гранулометрический состав, мощность и стратификация, влагоемкость, водопроницаемость. Большое влияние оказывают условия рельефа: крутизна и протяженность склонов. Важны климатические факторы (сумма и режим осадков, длительность и глубина промерзания почв, снегозапасы, показатели снеготаяния).

Имеет значение характер растительного покрова. При прочих равных оказывают влияние тип лесной растительности, величина фитомассы, густота и ярусность живого напочвенного покрова, мощность и сложение лесной подстилки, освоенность ризосферы корневыми системами.

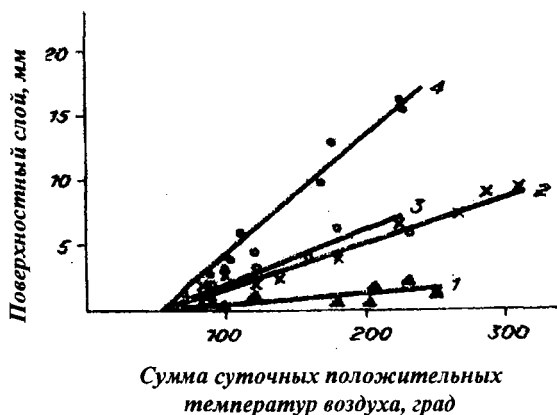


Рис. 62. Связь величины поверхностного стока с суммой положительных температур: 1 – лес с нарушенным напочвенным покровом, 2 – лес с полностью удаленным напочвенным покровом, 3 – гарь с ненарушенным напочвенным покровом, 4 – гарь с полностью удаленным напочвенным покровом

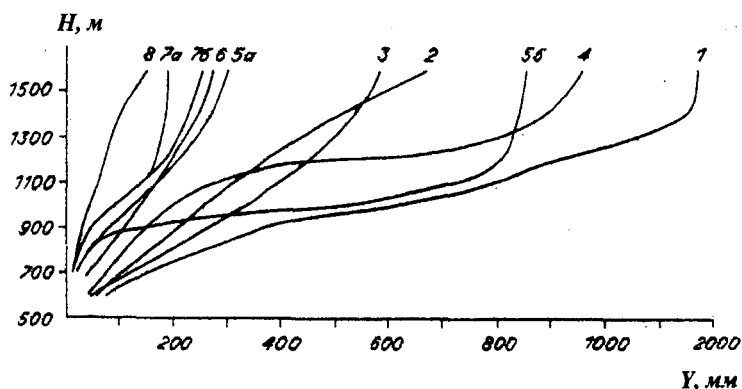


Рис. 63. Зависимость среднего годового стока (Y) от высоты положения местообитания над уровнем моря (H). Цифрами обозначены номера пунктов наблюдения, в представленном ряду (слева направо), представляющие повышение положения над уровнем моря

Появлению стока в лесу предшествует насыщение почв влагой, образование верховодки. В этот период роль растительного напочвенного покрова существенно ослабляется: перемещение воды происходит практически беспрепятственно. В условиях весеннего перенасыщения почвы водой по данным А.И. Субботина, (1970) в южных районах Европейской части России формируется 20–25 % суммарного стока, в средних широтах – 0,35–0,40. В Подмоскowie он оценивается примерно величиной 0,25.

На Севере (в северной и средней подзонах тайги) часто весенний сток связан с образованием верховодки. Этому способствует широкое распространение в лесном фонде почв, формирующихся на двучленных песчано-глинистых отложениях. Водоупором при образовании верховодки выступает тяжелый суглинок иллювиального горизонта. В ряде местообитаний этого горизонт приобретает функции водоупора по свойствам, обусловленным накоплением в нем илистых частиц, выносимых из выше лежащих горизонтов. Нередко в таких условиях сток в лесу целиком представлен почвенной составляющей.

На большей части лесных земель величина поверхностного стока в период снеготаяния напрямую зависит от суточной суммы положительных температур воздуха и от плотности древесного полога. Повышение сомкнутости полога и полноты насаждений приводит торможению стока и повышению в его составе почвенной составляющей. В изреженных насаждениях выше доля радиации, поступающей под полог леса.

Среди факторов, оказывающих влияние на формирование стока, важное место занимает характер насаждений, зависящий от формации преобладающей породы, с составом, возрастом и полнотой (сомкнутостью полога) и связанная с этим структура насаждений. По наблюдениям А.А. Молчанова, (1961) в подзоне хвойно-широколиственных лесов (Московская область) при прочих равных поверхностный сток наиболее высокие значения имел в ельниках. Коэффициент стока здесь при глинистых почвах – 0,32; на суглинистых – 0,26 и на песчаных – 0,09. Заметно выше был коэффициент стока в смешанных (лиственно-хвойных) насаждениях: 0,26, 0,16, 0,09. В сосновых лесах на песчаных он составлял 0,12, 0,07 и 0,01.

Общепризнанным считается закономерное снижение стока с увеличением возраста насаждений. Наиболее убедительны на этот счет данные А. Молчанова по грунтовому стоку на примере дубовых лесов:

Возраст, лет	4–10	15–21	22–28	33–39	42–48	56–62	100–105	135–141	220
Грунтовый сток, мм	145	85	70	53	15	9	79	80	85

Наибольшее значение стока отмечается в самом молодом и самом высоком возрасте. Средне-возрастные, приспевающие, спелые насаждения имеют пониженный сток. Общие колебания величин стока в таежных условиях зависимости от возрастов не превышает 40 мм в год. Это значительно меньше, чем колебания от изменений состава пород.

Лес определяет режим стока. Имеет значение породный состав, преобладающая порода, возраст насаждений. С увеличением возраста увеличивается в суммарном стоке доля внутритпочвенного и подпочвенного (грунтового) стока. С увеличением возраста становится более равномерным по времени как суммарный сток, так и соотношение между поверхностным и грунтовым стоками. Продолжительность стока с облесенных участков больше, чем с открытых участков на 8–31 день. Модуль стока (среднесуточная величина с единицы поверхности) с лесной территории в среднем в 4 раза ниже, чем в с открытого места.

Все исследователи гидрологического режима лесов отмечают довольно тесную связь стока с лесистостью водосборов. На этой основе выстраиваются все известные стратегии регулирования водных балансов территорий. Гидрологи считают, что увеличение лесистости на 1 % приводит к увеличению водного слоя на равнине на 0,8–1,0 мм, в горных районах – на 2–4 мм. Это очень существенное увеличение. В 1960 году А.А. Молчановым опубликована сводка, характеризующая связь на землях суглинистого состава стока с лесистостью, которая составила ряд:

Лесистость, %	10	20	30	40	50	60	70	80
Коэффициент стока	0,25	0,14	0,09	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04

Значение характера растительности для формирования стока в условиях Средней Сибири хорошо показывают экспериментальные данные (Горбатенко, 1979). Четырехлетние наблюдения с использованием системы стоковых площадок на участке кедровника баданово-чернично-зеленомошного и на гари в аналогичных лесорастительных условиях показали существенные различия во всех показателях стока. Были получены уравнения связи величин фактического и потенциально возможного стока с суточными суммами положительных температур. Эти уравнения имели вид:

в кедровнике:

Фактический поверхностный сток – $ПСф = \Sigma t \ 60/62,5$;

Потенциально возможный сток – $ПСп = \Sigma t \ 60/ \ 28,0$.

на гари:

Фактический поверхностный сток – $ПСф = \Sigma t \ 55/22,8$;

Потенциально возможный – $ПСп = \Sigma t \ 55/10,8$.

Фактический сток в лесу в среднем оказался ниже, чем на гари практически в 5 раз. Еще выше различия по потенциальному стоку.

Как показали наблюдения, величина стока, при прочих равных, зависит от протяженности склона. С увеличением протяженности величина стока снижается. В лесу по сравнению с обезлесенными участками с увеличением протяженности склона поверхностный сток снижается более быстрыми темпами (рис. 64).

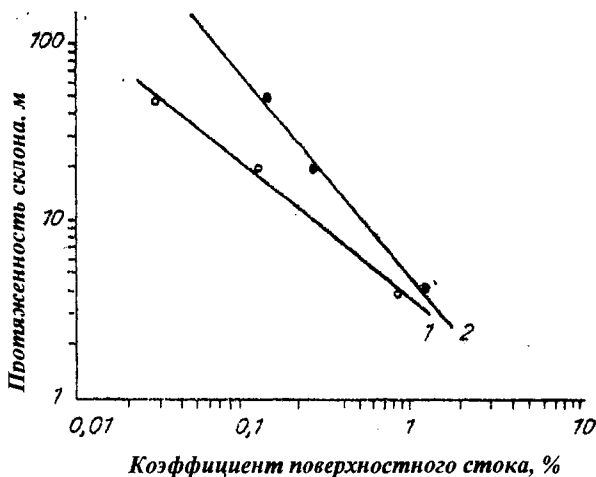


Рис. 64. Связь между коэффициентом стока и протяженностью склона: 1 – лес, 2 – гарь (по В. М. Горбатенко, 1979)

Здесь он значительно быстрее переходит в почвенно-грунтовый тип. Отмеченная закономерность проявляется также и в равнинных условиях. Кстати, подобного же характера зависимость проявляется также в переходе поверхностного стока во внутрипочвенный при снижении интенсивности дождей. Нарастание коэффициента стока с увеличением интенсивности осадков происходит значительно энергичней, чем в кедровнике с сохраненным растительным покровом (рис. 65).

Практически все составляющие водного баланса, в т. ч. стока имеют выраженную цикличность. Колебания величин максимального стока за весенне-летний период главным образом связана с величиной атмосферных осадков, а изменчивость стока за паводок – с термическим режимом воздуха.

Максимальный сток на таежных территориях наблюдается в весенний паводок (май–июнь) и в самые влажные месяцы ранней осени. Сток

весенне-летнего периода, включая паводок, составляет 46–69 %. Минимальный сток отмечен перед началом весеннего паводка.

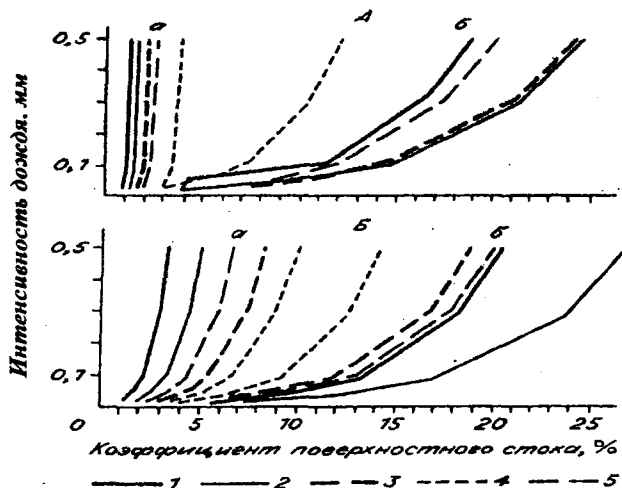


Рис. 65. Изменения величины фактического (а) и потенциала возможного коэффициента стока (б) при различной интенсивности дождей: А – в кедровнике при уклоне: 1 – 7°, 2 – 15°, 3 – 20°, 4 – 22°, 5 – в среднем; Б – на гари при уклоне 1 – 9°, 2 – 11°, 3 – 15°, 4 – 22°, 5 – в среднем

Разные элементы насаждений оказывают разное воздействие на трансформацию стока. Основная роль в трансформации стока принадлежит напочвенному покрову, как лесной подстилке, так растительности. Эта роль мало значима в период снеготаяния, но в дальнейшем она увеличивается. Любопытно, что коэффициент поверхностного стока в период снеготаяния снижается в 2–3 раза против среднего для данного местообитания. Связано это с образованием ледяной достаточно устойчивой корки на поверхности почвы. В теплый период года сток возрастает в 4–6 раз.

В темнохвойных лесах Средней Сибири роль характера древесного полога во влиянии на характер стока не очень велика. Имеет значение сам факт присутствия в местообитании лесной обстановки (древостой и другие ярусы лесной растительности). По свидетельству В.М. Горбатенко, (1979) в Прибайкалье в период весеннего паводка коэффициент поверхностного стока под влиянием полога леса снижается только на 10 %, а в период осенних дождей всего лишь на 30 %.

Заметим, приведенные данные касаются лишь сведений, распространяемых лишь на прямое влияние древесного полога на сток. Не учитывается косвенное в его влияние на экологическую обстановку местообитания (на характер напочвенного покрова и свойства почвы). В действительности, с учетом влияния полога насаждения на всю лесоводственно-экологическую ситуацию местообитания, роль древесного яруса в снижении величины поверхностного стока оказывается значительно выше, чем прямое влияние древостоя.

Таким образом, лесные экосистемы являются, безусловно, очень действенным явлением, оказывающим трансформирующее на структуру, объем и режим стока. Это в сущности генерализованный тезис по оценке влияния лесного покрова на водный сток. В конкретных же ситуациях роль леса на сток проявляется с существенными колебаниями всех показателей, что определяется невероятно разнообразными сочетаниями определяющих это явление факторов. Имеют значение конкретные метеорологические ситуации: колебания текущих температур, в особенности, в периоды паводка, изменчивость интенсивности и величин дождевых осадков, а также различия в инфильтрационной способности почвы, зависящей от многих факторов, в т.ч. от различий в экспозиции склонов, в величине уклонов и протяженности склона и др.

Исследования в Прибайкалье (Горбатенко, 1979) показали тесную зависимость интенсивности снеготаяния от метеорологических условий. Безусловно, метеоусловия конкретных местообитаний определяются во многом их орографией, прежде всего экспозицией склона и высотой участка над уровнем океана. Таким образом, величина и режим стока – явление во многом вероятностное, мало предсказуемое.

В практике исследований режимов стоков с лесных бассейнов используется несколько подходов к дифференциации водотоков. В.В. Протопопов считает, что единственно верным подходом является такой когда речной сток дифференцируется по двум направлениям: по источникам питания (приходная часть): снеговое, дождевое и ледниковое и по путям стекания (расходная часть): поверхностное, почвенно-грунтовое и глубокое подземное.

Лес и водность ландшафта

О благотворном влиянии лесной растительности на водность территорий ландшафта люди догадывались давно. Об этом свидетельствуют рас-

шифрованные записи на глиняных табличках – уникальных памятниках письменности древних аравийских цивилизаций. В период бурного развития естествознания (XVIII–XIX вв.) это осознают уже не только ученые, но и образованные обыватели. В XIX веке зарождается учение о трансгрессивной роли леса. Под этим термином понимается участие лесной растительности в переносе влаги с воздушными течениями вглубь континентов и выпадение большого количества осадков как над лесом так и за его пределами. Изучение этой проблемы во многих странах не дало убедительных доказательств увеличения сумм осадков на лесных территориях. Однако доводы в пользу этого показателя климата для лесовода представляют интерес.

На большей части освоенных человеком земель стоит задача улучшения режима увлажнения. На малолесных территориях южных регионов требуется создание таких условий, которые способствовали бы увеличению прихода влаги и сокращению времени перемещения ее на пути «суша–реки–моря». Сегодня здесь в весеннее время и после ливневых осадков имеют место бурные паводки и наводнения. Вода размывает почву, уходит из ландшафта без пользы для сельского хозяйства и может еще приносить материальный ущерб. Летом здесь обостряется недостаток влаги. Изменение климата пока не подвластно человеку. Остается путь экономии водных ресурсов. На этом пути не обойтись без лесомелиоративных мер – повышения лесистости, упорядочению структуры лесных земель и оптимизации структуры насаждений

Для природы северных территорий короткий режим стока также не выгоден. При паводковых ситуациях нарушаются транспортные, рыбохозяйственные и экологические функции экосистем. Из-за изменений в русловых процессах рек расстраивается гидрологический режим, увеличивается загрязнение вод. На освоенных человеком землях увеличиваются эрозийные явления, увеличивается твердый сток. Вместе с тем в обжитых районах Севера, там где человек испытывает дискомфорт от высокой заболоченности и от дефицита тепла, он вынужден прибегать к мелиоративным мерам. Наиболее эффективным считается осушительная мелиорация, приводящая к повышению стока (объема и интенсивности). В масштабах локальных территорий (пригородные территории, крупные агрокомплексы) последствия нарушения природных режимов нарушение гидрологического режима водотоков и водного баланса территорий перекрываются положительным для человека эффектом: улучшением мезоклимата ландшафта. И

хотя в целом в таких ситуациях человек ничего не выигрывает, с вмешательством его в гидрологический режим ландшафтов приходится мириться.

Убедительными представляются экологические императивы лесомелиораторов:

- нужно заботиться о том, что бы каждая капля воды стекала не быстрее, а медленнее, чем обычно;
- нужно способствовать тому, чтобы потоки, ручьи и реки несли, насколько это можно, всегда одинаковое количество воды;
- не соблюдение этих правил – не ошибка, а преступление.

Леса оказывают большое влияние на водный баланс территорий. С этой его ролью связаны гидрологические режимы водоемов. При всей очевидности связей водного баланса территорий с лесистостью и с характером лесов, выявить это влияние в измеряемых показателях не просто. По результатам многолетних наблюдений сотрудниками Института водных проблем по 88 речным бассейнам в 50 % случаев отмечена связь положительная (водность рек повышалась с увеличением лесистости). В 27 % случаев отмечена обратная связь. Остальные случаи не могут быть интерпретированы логически. Установлено, что связь гидрологических условий с лесистостью снижается на юг. Объясняется это ухудшением условий подземного оттока влаги в лесных экосистемах, а также изменением породного состава насаждений. Связь коэффициента стока с лесистостью по материалам большого обзора, выполненного А.А. Молчановым, (1973) отражает рис. 66.

Н.А. Воронков, много и обстоятельно занимающийся вопросами гидрологии лесных экосистем, после изучения разных акцентов проблемы и анализа накопленной информации приходит к мнению, что почвы лиственных и смешанных лесов обладают заметно большей способностью поглощать влагу, чем почвы хвойных лесов. Ученый убеждается, что в гидрологическом отношении наиболее эффективны лиственные леса или леса со значительным участием лиственных пород. Такие леса обеспечивают значительную прибавку суммарного стока. Основные различия во влагообороте складываются в холодный и переходный периоды года.

Лесные территории характеризуются отличными от не лесных территорий режимами питания рек и их водности. Существенно различаются среднегодовой суммарный сток, сток половодья, средний расход открытого русла, продолжительность половодья, величина и продолжительность летней межени.

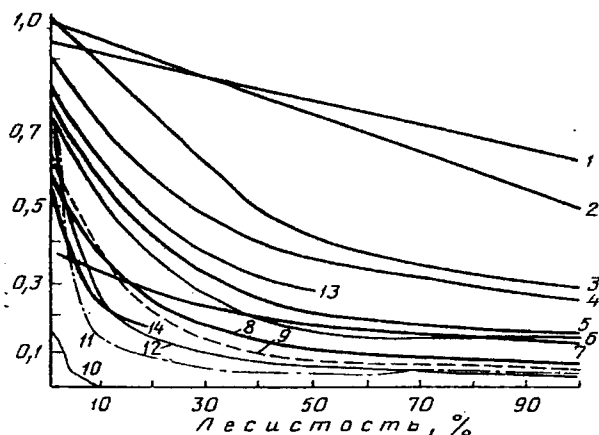


Рис. 66. Влияние лесистости на коэффициент стока атмосферных осадков весной на малых водосборных бассейнах: 1 — ель на суглинистых почвах Рыбинск; 2 — ель на тяжелых суглинистых почвах, Подмосковье; 3 — ель на суглинистых почвах Шуя; 4 — ель на суглинках Московская область; 5 — сосна на суглинках Южный Урал; 6 — ель на суглинках Шуя; 7 — березово-елово-осиновый лес Загорск далее безлесные земли; 8 — черноземы Волгоград; 9 — Киргизия; 10 — сосна на песчаных почвах Подмосковье; 11 — темно-серые лесные почвы Воронеж; 12 — сосна на супесчаных почвах, Подмосковье; 13 — дуб на солончаках, Теллерман; 14 — распаханная черноземы, каменная степь

Ученые отмечают в последние годы (десятилетия) увеличение водности территорий таежной зоны. Объясняют это изменением возрастной структуры и породного состава лесов. Омоложение лесного покрова с изменением породного состава насаждений в процессе лесозэксплуатации изменяет водный баланс ландшафтов. Возможно сказывается изменение климата, особо заметные в первом десятилетии XXI века. Водность территорий таежной зоны тесно связана с заболоченностью. В большинстве случаев болота, как достаточно устойчивые природно-биологические системы, характеризуются высокой стационарностью: режим их мало меняется во времени.

Болота образуют сложные взаимозависимые системы с реками и озерами. Поэтому они через явления своеобразной асимметрии питательных режимов по сезонам года нивелируют, выравнивают колебания стока. В

связи с цикличностью климата отмечается смещение заболачиваемых земель. Они то сокращаются, то надвигаются на суходолы.

Леса определяют режим малых рек – этой своеобразной кровеносной системы последних порядков, питающих большие водотоки. На Севере малые реки одновременно – эффективная дренажная сеть, проявляющаяся на огромных территориях. Сеть малых рек связана с лесистостью. На равнинных территориях тасжной зоны густота ее прямо пропорциональна доле лесов в регионе.

Известно, что примерно 1 % от приходной части баланса влаги уходит в нижние горизонты подпочвы и пополняет резервуары подземных вод. Около 1 % связывается биохимически растительностью, главным образом древесной (идет на синтез живого вещества). На поверхностный сток остаются считанные проценты – 2–7%. По величине поверхностного стока в лесу судят о водоохранной роли насаждения. Чем он ниже, тем полноводнее реки в летний период, тем равномерней уровень вод в годовом цикле. Расход воды на сток подразделяется на несколько частей. Выделяют поверхностный, грунтовый и подземный. Подавляющая масса стока – подземный сток – миграция воды по склону в активных горизонтах почвы.

Баланс влаги на лесных территориях изменяется в географическом плане. При прочих равных (в насаждениях одного состава, полноты и возраста) с продвижением на юг увеличивается доля испарения и снижается доля стока. В направлении на север от умеренных широт отмечается обратная закономерность. Чем дальше на север, тем больше отношение испарения к сумме осадков, тем больше влаги остается на сток. В равнинных условиях при затрудненном стоке часто ощущается избыток влаги, происходит заболачивание земель. Особенно остро эта проблема стоит на тяжелых глинистых почвах, обладающих низкой водопропускной способностью.

Улучшение водного режима рек на лесных землях происходит за счет повышенного (в сравнении с открытым местом) накоплением влаги, замедленного снеготаяния, меньшего испарения, большего перевода поверхностного стока в грунтовый, более равномерно, и более полно отдает воду за свои пределы. Вода в конечном счете стекает в реки и моря. Принято считать, что чем выше лесистость территории, тем больше воды получают реки. Установлено, что чем больше ландшафт теряет лесной покров, тем больше сокращается водность рек, снижается суммарный сток.

Увеличение стока рек сопровождается усыханием болот, как накопителей и хранителей влаги, сокращением числа ручьев, родников. Важное

значение для формирования водного баланса территорий имеют взаимоотношения леса и грунтовых вод. Их резкое понижение, как и повышение грозят лесу ухудшением состояния и даже гибелью. Резкое снижение УГВ означает засуху, повышение – подтоплением или заболачиванием.

Взаимоотношения леса и грунтовых вод отличаются разной динамичностью. Этот динамизм зависит от условий рельефа, от геологических условий, от структуры почвообразующих пород, от механического и химического состава почвы. Очень трудно выявить в большом разнообразии условий, закономерные взаимосвязи между этими явлениями. Эту связь, эти взаимоотношения Г.Н. Высоцкий в свое время выразил афоризмом: «Лес сушит равнины и увлажняет горы». Сегодня справедливость этого тезиса оспаривается. Все согласны, что в горных странах леса увлажняют ландшафт. В равнинных условиях предположение Высоцкого не подтверждается.

Н.А. Воронков, (1988) считает, что во взаимоотношениях леса с грунтовыми водами надо различать четыре концепции: *иссушающей роли леса, иссушающе-увлажняющей, неопределенной и всеобъемлющей*. Каждая из концепций имеет свои достоинства и недостатки. Чаще каждая из идей имеет ту или иную ограниченность по своему распространению. Концепция об иссушающем влиянии лесов (Г.Н. Высоцкого) верна применительно к районам с выраженным дефицитом влаги и неограниченной мощностью корнеобитаемого слоя. Концепция об одностороннем увлажняющем влиянии лесов (В.В. Рахаманов и др.) базируется на недостаточно обоснованных логических посылах. Подтверждение находят лишь некоторые ее положения. Поэтому ее выводы не могут распространяться на общие соображения о гидрологической роли леса.

Идея А.А. Молчанова о неопределенной гидрологической роли лесов исходит из предположения, что эта роль не остается постоянной и изменяется, в зависимости от многих обстоятельств. Идея основывается, к сожалению, не на вскрытии закономерностей влагооборота, а на соображениях эмпирического порядка. Используемые ученым материалы весьма пестры по набору объектов и не всегда корректны в сопоставлении.

Режим влажности в лесу в большей мере связан с режимом замерзания – оттаивания почвы. Снег под пологом леса ложится более рыхло по сравнению с открытым местом. И образует более мощный слой. Под защитой такого слоя почва промерзает медленней и на меньшую глубину. Весной почва в лесу оттаивает медленней, чем на открытом месте. Все это определяет специфический характер стока в лесу.

Леса выполняют важную функцию регулирования химического стока — регулирования загрязнителей, попавших из атмосферы, с полей, лугов, с крон деревьев, от растворяющихся горных пород. До поступления в водотоки, проходя через лес, эти химические вещества претерпевают ряд превращений. Эти превращения идут в сторону упрощения химического состава примесей. Вода выступает как транспортер и как один из реактивных компонентов обмена веществ. Чаще всего лесная растительность играет положительную роль, перехватывая загрязняющее вещество.

Выполнение лесом защитных функций зависит от местоположения участка и характера леса. Обычно защитная роль прямо связана с продуктивностью насаждений, с запасом фитомассы на единице площади.

Давно известна чрезвычайно важная поле- и почвозащитная роль лесов России. По существу, это тема для большого отдельного разговора. Сегодня коснемся ее лишь вкратце Юг и Юго-восток Европейской части России время от времени страдает от неурожая хлеба и гибели садов в следствии периодических засух., знойных суховеев. Неурожайные годы с пыльными бурями со знойным иссушением повторяются все чаще. В первой половине XX века они отмечались каждые 8–10 лет, во второй — уже раз в 6–7 лет. Очаги суховеев — безлесные высоко поднятые над уровнем моря плоскогорья Монголии, Тибета, Предкаспийская области. Суховой и пыльные бури начинаются с весны и могут продолжаться волнами в течение всего года. В такие годы резко на 3–8° возрастает средняя температура летних месяцев. Сумма осадков падает с 500 до 150–200 мм. Снижаются показатели относительной влажности воздуха. Изотерма t° воздуха 40° резко поднимается к Северо-Западу, достигая южных границ лесной зоны. Здесь суховеи теряют силу. И все юго-восточные территории России, лишенные лесов характеризуются неблагоприятным климатом. Наиболее напряженная обстановка обезлесенных территориях Калмыкии, Каракалпаккии, Оренбургской, Астраханской областей. Очень часто уже в весеннее время на эти земли приходит беда. Атмосфера наполняется мглой. Быстро пересыхают водоемы, падает уровень грунтовых вод. Создаются крайне неблагоприятные условия для всего живого.

Сильные ветры, господствующие летом на безлесных степных участках юга России влекут за собой разрушения почв. Почвы полей, не защищенные лесом, выдуваются, теряют перегной. Сведение лесов в юго-восточных и южных районах России влечет ряд существенных негативных явлений — изменение климатических характеристик в неблагоприятную

сторону. Помимо отмеченных и ранее неблагоприятных изменений климата происходит ухудшение ландшафта.

Одно из самых неприятных явлений – образование оврагов, балок. Вода осадков быстро скатывается в понижения, увлекая за собой чернозем и перегной. Пахотные земли на безлесных участках быстро превращаются в бесплодные сыпучие почвы, в овраго-болотные неудобья. В последнее столетие народное хозяйство юга России (Астраханская, Саратовская области, Каракалпакская, Колмыкия) потеряли более 1,5 млн. га пахотных земель. Сегодня на землях этих областей доля деградированных полей (подвижных песков, овражно-болотных комплексов превышает 8 млн.га или 10–12 % от общей площади. Эти территории стремительно превращаются в полупустыни и настоящие пустыни.

Исправить допущенные ошибки хозяйствования на таких землях может только развертывание масштабных многолетних весьма дорогостоящих агролесомелиоративных мероприятий с ориентацией на создание сложных систем лесных полос, на мероприятия по обводнению земель.

8. САМЫЙ НЕОБХОДИМЫЙ

«...Свет – не бестелесный посланник Солнца, а само Солнце, часть его, долетевшая до нас в совершенной, раскрытой в энергетическом смысле, форме, в форме света ...»

С.И. Вавилов

«...И если луч Солнца мы по праву считаем первопричиной жизни (точнее одним из важнейших компонентов причинного комплекса), то зеленый лист, зерно хлорофилла – это связующее звено между Солнцем и жизнью на Земле...»

В.А. Барабой (Луч Света, 1956)

Свет в общераспространенном толковании представляет пожалуй самый необходимый (среди всех других необходимых) для растительности леса экологический фактор. Фактор этот по своей природе имеет двойственную сущность, являясь одновременно явно функционально физиологическим и отчетливо энергетическим – продукционным. Природу эту трудно разделить на составляющие, хотя для познания значимости и масштабности явления его все-таки приходится рассматривать как бы по частям, как две составляющие климата: освещенность и теплообеспеченность. Каждая из этих составляющих характеризуется несколькими показателями и чаще рассматривается дифференцированно.

Преобладающая часть лесных растений не может существовать без света. Это зеленые растения, в т.ч. древесные породы. Эволюционно приобретенные свойства растений адаптироваться к условиям среды обусловили сложную и глубокую дифференциацию многообразия свойств и функций видов зеленых растений по их отношению к различным экологическим факторам и прежде всего по отношению к свету. Потребность в свете – генетически закрепленный комплекс структурных признаков и функциональных особенностей организации вида. Это означает, что взаимоотношения со светом управляются генетически. Потребности в световой энергии, как и в других важнейших экологических факторах, меняется с возрастом, а также в зависимости от географического положения местобитания.

С физиологических позиций первостепенное значение света заключается в обеспечении фотосинтеза. Явление это, представляющее уни-

кальное изобретение природы и еще не познанные человеком в своей глубокой сущности, движет жизнь на Земле. Биологическая его сущность, как известно, заключается в способности вещества хлорофилла, содержащегося в тканях зеленого листа, «связывать» поступающую к листу световую энергию Солнца, превращая ее в энергию молекулярных биохимических структур синтезируемого нового живого вещества. Накапливаемая масса нового органического вещества представляет собой своеобразные «консерв» энергии.

В отечественной литературе явление фотосинтеза нередко отождествляется с процессом получения растениями углеводов из углекислого газа и воды. Явление это происходит непременно в присутствии света. Фотосинтез – самый важный физиологический процесс в древесных растениях. Деревья имеют возможность расти, в основном благодаря органическим веществам, получаемым в процессе фотосинтеза. Есть смысл вслед за многими специалистами (Крамер, Козловский, 1963; Лархер, 1971) разделять эти понятия. Под ассимиляцией следует понимать явление созидания из произведенных в процессе фотосинтеза углеводов протоплазмических структур и стенок клеток. Экологическая обусловленность, механизмы, экосферная значимость и масштабы фотосинтеза рассмотрены ранее (см. разд. 7).

Благодаря солнечному свету, осуществляется воздушное углеродное питание растений и выделение в окружающую среду свободного кислорода, т.е. осуществляется важнейшая биосферная функция зеленых растений – углекислотно-кислородный круговорот атмосферы. Если учесть вселенские размеры ассимилирующей поверхности зеленого лесного моря, можно представить, хотя и с трудом, масштабы происходящего глобального газообмена, постоянно происходящего в условиях солнечного освещения.

Не менее важно, что свет «персонально ответственен» за организационные жизненные формы всего множества биологических видов растений (от формы ствола, до типа жилкования и формы листа, от требовательности к освещенности до жизненной стратегии вида). Исключительная роль «конструкционной» (по отношению к формированию живого) значимости света лежит в основе благополучного, процветающего существования сложнейших по организации многовидовых растительных сообществ. И разнообразие этих образований на Земле воистину необъятно.

Без света невозможно исполнение древесными породами репродуктивных функций, без света блокируются ростовые процессы растительности. Совершенно уникальной (буквально незаменимой) функцией света является его способность обеспечивать все живое биологическими часами

– удивительным и еще не познанным явлением поддержания в живых организмах определенных направленности развития и ритмики жизненных процессов, задаваемой космическими силами. То есть свет, как любой другой климатический фактор, в существовании леса проявляет свои специфические особенности. Исключительность его связана с его принципиальной незаменимостью для поддержания жизни на планете.

Разная требовательность растений к условиям освещения объясняет необычайную сложность структуры лесных сообществ, выраженные многоярусность и мозаичность. Растения – обитатели нижних ярусов леса характеризуются низкой потребностью в свете. Во всяком случае, яркое прямое освещение для них если не губительно, то явно дискомфортно. Напротив древесные растения верхнего яруса все устремлены вверх к солнцу. Обычно это явные светолюбивые. В верхнем ярусе идет борьба за лучшие условия освещенности, за «место под солнцем». И хотя взаимоотношения растений с условиями освещенности могут заметно «преломляться» под влиянием других экологических факторов, связь структуры полога леса с разнообразием требовательности биологических видов к свету – совершенно очевидна.

Недостаток освещенности обуславливает ухудшение развития корневых систем растений. Американские и финские лесоводы указывают на формирование у подростка, произрастающего под сомкнутым пологом, корневых систем отчетливо поверхностного типа.

Энергия Солнца, солнечная радиация поступает к атмосфере планеты в виде потока прямых солнечных лучей высокой интенсивности: При ясном небе этот поток с некоторыми потерями и с определенной трансформацией спектрального состава достигает поверхности земли. Некоторая же часть этого потока доходит до поверхности в виде рассеянного атмосферой света. При облачном небе, в условиях загрязнения тропосферы солнечная энергия достигает поверхности планеты преимущественно в виде рассеянной радиации.

В годовом балансе солнечная радиация, поступающая к внешней границе атмосферы, в значительной мере рассеивается. Облака перехватывают в любой географической точке от 25 до 50 % радиации. В зоне бореальных лесов эта доля оценивается в среднем 33%. Около 42 % всей падающей радиации атмосферой отражается, в т. ч. 33 – облаками, 9 – воздушной массой в разной степени загрязненной. Примерно 15 % поступающей энергии поглощается облаками и затрачивается на нагревание воз-

душной массы. Поверхности планеты достигает примерно 43 % солнечной радиации.

Известно, что солнечная радиация – это электромагнитное излучение в широком диапазоне волн. Спектр солнечного света в диапазоне от инфракрасных лучей с длиной волн 3-4 тысяч нм до ультрафиолетовых с длиной волн 290-380 нм. делится на три сектора (рис. 67). Выделяется участок ультрафиолетовых коротковолновых волн, образующий сектор с длиной волн менее 380 нм. Крайне левая (на рисунке) часть спектра с длиной волн менее 290 нм представляет жесткое излучение, губительное для всего живого).

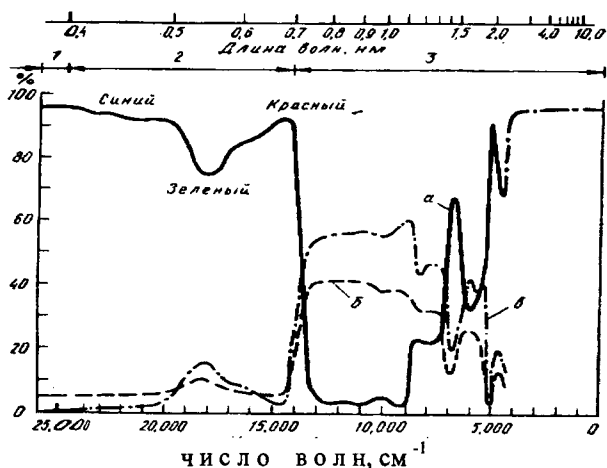


Рис. 67. Распределение спектра поглощенной, отраженной и пропускаемой зелеными листьями тополя частей светового потока (по Гатесу, 1968): 1 — ультрафиолетовые лучи; 2 — видимый спектр волн; 3 — инфракрасные лучи; а — поглощаемая часть; б — отражаемая часть радиации; в — пропускаемая часть.

Поток радиации с длинами волн в пределах 380–750 нм или (0,4–0,7 микрометра) составляет видимую часть спектра, которая как раз ассоциируется с понятием «свет». Третья часть спектра (занимающая больше его половины) — инфракрасная или длинноволновая радиация (длина волн > 750 нм). Наиболее активную часть спектра с диапазоном длин волн от 380 до 710 нм составляет физиологически активная радиация (ФАР). Практически ФАР представлена на 90 и более % видимой частью световой энер-

гии. Роль показанных частей спектра в биосферных процессах неодинакова.

Хотя освещенность не может быть надежным показателем поступления энергии, она широко используется в разнообразных расчетах энергетических характеристик и при рассмотрении экологических вопросов в лесных фитоценозах. Освещенность и суммарная солнечная радиация связаны эквивалентно. Если принять среднюю величину реальной суммарной радиации за $1,42 \text{ ккал см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$ (Одум, 1975), максимальная освещенность (на поверхности моря) будет равна приблизительно 9600 фт-с (фут-свеча), округленно – 10000 фт-с или 108000 лк.

Соотношение их в приходе солнечной радиации к поверхности Земли изменяется в связи с влиянием многих природных факторов. Рис. 65 показывает высокую поглощающую способность ультрафиолетовой и видимой частей спектра. Очень низкой способностью поглощаться пологом леса характеризуются волны близкой инфракрасной части спектра. По мнению американских экологов (Спурр, Барнет, 1984), лесами Калифорнии поглощается 4–5 % суммарной солнечной радиации, т.е. превращается в химическую энергию. Из них только 1–2 % участвует в фотосинтезе. Полог леса больше всего отражает красные и оранжевые лучи. Это наиболее активная в отношении тепловой энергии. Самой высокой поглощаемостью отличается участок дальнего инфракрасного спектра.

Во влиянии на жизненные функции леса важны как количественные, так и качественные показатели поступающего к лесному пологу света. Те и другие в свою очередь имеют разное проявление, в зависимости от географического положения, характера принимающей радиационный поток поверхности. Количественный критерий может оцениваться интенсивностью поступающей в лесное сообщество световой энергии, продолжительностью освещения. Качественную сторону отражают соотношение прямого и рассеянного света, разнообразие его спектрального состава, доля ФАР^у в суточных и сезонных ритмах. Условия освещения в лесу могут оцениваться также балансом световой энергии (соотношением поглощенной, отраженной и отраженной радиации).

Принято считать, что на большей части территорий бореальной зоны в преобладает рассеянная радиация, на долю которой в среднем приходится 16% от общего притока к атмосфере или 37% от прошедшей сквозь атмосферу. Установлено, что прямая радиация обладает большей энергией, чем рассеянная. В ней выше доля коротковолновой радиации при преобладании средневолновой. На долю лучей красной части спектра здесь прихо-

дится около 40 %. В прямой радиации выше доля ФАР в среднем 43 % .В рамках этих обобщенных и усредненных показателей чрезвычайно разнообразны оказываются световые условия обитания лесной растительности

Практический аспект значимости света, как экологического фактора в материально-продукционном аспекте наиболее нагляден в лесоводстве и растениеводстве. Именно в этих отраслях с наибольшей эффективностью может быть реализована способность управления световым режимом в целях повышения продуктивности биологических систем. Условиями освещения обусловлены фотосинтез, дыхание, транспирация, рост и развитие древесных пород. В различных местообитаниях лесной растительности различаются не только интенсивность радиации, ее спектральный состав, продолжительность светового периода, но также пространственное и временное распределение света разной интенсивности.

Множественность отношения биологических видов лесной растительности к условиям освещенности реализуются через исключительное многообразие видового богатства лесных насаждений, через чрезвычайное разнообразие фитоценотической структуры их полога. Весьма важно, что свет является единственным их экологических факторов абиотического порядка, который сравнительно легко трансформируется пологом насаждения, и стало быть без большого труда может поддаваться управлению посредством регулирования структуры лесного сообщества.

Лесные растения не могут существовать без света. Эволюционно приобретенные свойства растений адаптироваться к условиям среды обусловили сложную и глубокую дифференциацию многообразия свойств и функций видов растений по их отношению к различным экологическим факторам и прежде всего по отношению к свету. Потребность в свете – генетически закрепленный комплекс структурных признаков и функциональных особенностей организации вида. Это означает, что взаимоотношения со светом управляются генетически.

Древесные породы существенно отличаются требовательностью к свету. В отечественном лесоведении нет определенности в ранжировании лесообразующих древесных пород по этому экологическому фактору. Лесоводами в разное время предложено несколько рядов биологических видов древесных пород по повышению или снижению требовательности к свету. Одной из причин неопределенности, безусловно, является огромные ареалы распространения главных лесообразующих пород, обитание их в различающихся условиях среды.

Большинство лесоводов исповедуют трехступенной подход, т.е. разделяют всю совокупность древесных пород на три группы. И.С. Мелехов, (1980) представляет этот перечень следующим образом (с сохранением возрастания теневыносливости в пределах группы).

1. *Невыносливые* (маловыносливые тень): лиственница, береза, осина вместе с большинством тополей, сосна обыкновенная, белая акация, арча, ясень.

2. *Умеренно теневыносливые*: дуб, ольха серая, клен остролистный, явор полевой, ольха черная, сосна крымская, ильмовые.

3. *Теневыносливые*: кедр корейский (сосна кедровая корейская), кедр сибирский, (сосна кедровая сибирская), липа, граб, бук, пихта, хемлок (цуга), тис, самшит. По более распространенной общепринятой классификации (Горышина, 1979) перечисленные категории древесных пород относятся к *светолюбивым, теневыносливым и тенелюбивым*.

При рассмотрении вопроса о разных отношениях древесных пород к условиям освещения, подчеркивается обычно неоднозначность широко применяющихся в лесоведении понятий «тенелюбие», «светолюбие». Сущность явления имеет сложную биологическую (физиологическую) природу. По исследованиям Ю.Л. Цельникер, (1978) все сводится к эволюционно обусловленным анатомо-морфологическим различиям во внешнем облике растений и их ассимиляционном аппарате. Типично светолюбивые растения (гелиофиты) характеризуются типично «световым» анатомическим строением листа, для которых свойственны хорошо развитая палисадная ткань. Присутствие мощной палисадной ткани в онтогенезе «световых» листьев физиологи связывают с тем, что в условиях сильного освещения палисадные клетки долго продолжают расти в длину, а в затенении рост в этом направлении рано прекращается. Клетки мезофилла у листьев светолюбивых пород мелкие, расположены компактно, без крупных межклетников. В связи с развитием мощной палисадной ткани толщина листьев светолюбивых пород увеличивается размер листа. На единице площади листьев светового типа приходится значительно большая масса, чем у теневыносливых.

У растений тенелюбивых преобладает листва теневого типа, для которых характерно развитие губчатой паренхимы. Однако в структуре паренхимы здесь есть определенные особенности. Отсутствует четкая дифференциация мезофилла. В одних случаях (у одних пород) в мезофилле нет различий между клетками губчатой и палисадной паренхим. В других случаях клетки верхнего слоя несколько отличаются от клеток нижнего по

форме и расположению, но не являются настоящими палисадными или таких особенностей пластинка листа теневыносливых пород тоньше, оказывается как бы «раскатанной» (Горышина, 1979). Клетки теневых листьев обычно крупнее, сложение мезофилла рыхлое, хорошо развита система межклетников.

Листовой аппарат у многих светолюбивых пород имеет приспособления для отражения «излишнего» света: восковой налет, своеобразную лакированную поверхность. Устьица листьев светолюбивых пород обычно мелкие, но численность их большая. У листьев теневого типа устьица крупные и расположены на нижней стороне листа. У светолюбивых пород в условиях обильной освещенности число хлоропластов, приходящихся на единицу площади листовой пластинки, в несколько раз больше, чем у растений теневыносливых и тенелюбивых. То есть густота наполнения клетки зернами хлорофилла здесь гораздо выше. Сами хлоропласты, в отличие от клеток листьев тенелюбивых пород, более мелкие и более светлые, т.е. содержащие меньше хлорофилла. Хлоропласты в клетках тенелюбивых пород крупнее и интенсивней окрашены. Таким образом, листья тенелюбивых пород всегда окрашены более интенсивно.

У всех древесных растений анатомическая структура листа изменяется в зависимости от его положения в оптической системе кроны, древесного полога. При изменении условий произрастания меняется соотношение между теневыми и световыми листьями. Теневые листья имеют большую площадь на единицу веса, более тонкий эпидермис, большее содержание межклетников и меньшее содержание механических тканей. Соотношение между складчатой и губчатой паренхимой у них значительно меньше, чем у листьев на свету. Теневой лист сформирован так, чтобы продуцировать при минимальной освещенности.

Есть свидетельства того, что различия между светолюбивыми и тенелюбивыми породами прослеживаются и на уровне внутренней структуры хлоропластов. Повышенное содержание хлорофилла в листьях тенелюбивых пород считали свидетельством увеличенной производительной возможности, компенсирующей недостаток света. Однако, интенсивность фотосинтеза оказалась не связанной прямой зависимостью с содержанием хлорофилла. При известном большом упрощении растения теневыносливого типа - это породы занимающие по комплексу признаков промежуточное положение между светолюбивыми и тенелюбивыми.

Основные различия в закономерностях функционирования светолюбивых и тенелюбивых пород сводятся к особенностям прохождения про-

цесса фотосинтеза и к различиям в структуре ассимиляционного аппарата. У светолюбивых пород оптимум фотосинтеза приходится на область полного солнечного освещения. Сильное затенение действует на фотосинтез угнетающе. Это древесные породы открытых местообитаний; преимущественно породы-пионеры.

По Ю.Л. Цельникер, (1978) теневыносливыми оказываются древесные породы, имеющие по требовательности к свету широкую амплитуду. Это породы отличающиеся более высокой пластичностью. Т.К. Горышина, (1979) называет их «свето- и теневыносливыми», что позволяет считать их экологическую нишу по градиенту освещенности самой широкой. То есть это растения с весьма пластичные в приспособлении к условиям освещенности.

Тенелюбивые растения характеризуются положением оптимума интенсивности фотосинтеза в области слабой освещенности, это древесные породы, способные мириться с дефицитом света. В условиях лесных экосистем породы этой группы чаще занимают подчиненное положение.

Дефицит этот обычно создается соседями по местообитанию – древесными породами светолюбивой и теневыносливой групп. То есть типичными местообитаниями растений этой группы является нижние ярусы тропических гилей, высокопродуктивных дубрав и хвойных таежных лесов. Символически различия между этими группами древесных пород отражает рис. 66, показывающий приуроченность интенсивного их фотосинтеза к разным областям освещенности.

Сложности при отнесении древесных пород к охарактеризованным категориям возникают вследствие того, что потребности в световой энергии, как и в других важнейших экологических факторах, у древесных пород меняется с возрастом, а также в зависимости от географического положения местообитания. И те виды, которые обладают определенным консерватизмом режиму освещенности, виды с низкой экологической пластичностью, оказываются неготовыми к новой обстановке. Виды таких растений в стрессовых ситуациях болеют и нередко выпадают из сообществ.

Физиологи при выявлении различий древесных пород по отношению к свету используют понятие *компенсационный пункт фотосинтеза*. Этим пунктом (точкой) на кривой нарастания интенсивности фотосинтеза (поглощения углекислоты) обозначается момент, когда поглощение древесной породой этого вещества при фотосинтезе сравнивается с величиной выделяемой CO_2 при дыхании. У деревьев разных пород, отличающихся

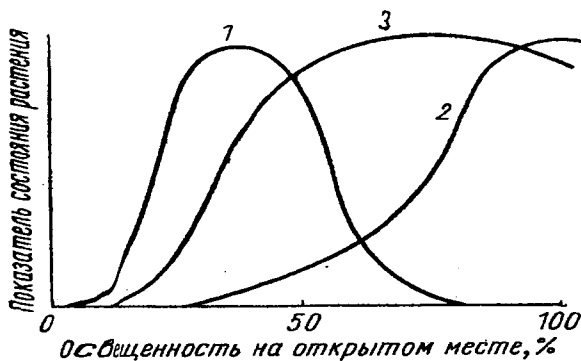


Рис. 68. Экологические оптимумы по отношению к свету у тенелюбивого (1), светолюбивого (2) и теневыносливого (3) видов, схема

светолюбием, этот пункт приходится на разные значения освещенности. Схематически представления о различиях древесных пород по связи насыщения фотосинтеза условиями освещенности можно показать на примере «световой кривой фотосинтеза». Экологическое значение ее параметров в представлении Т.К. Горышиной, (1979) приведено на рис. 69.

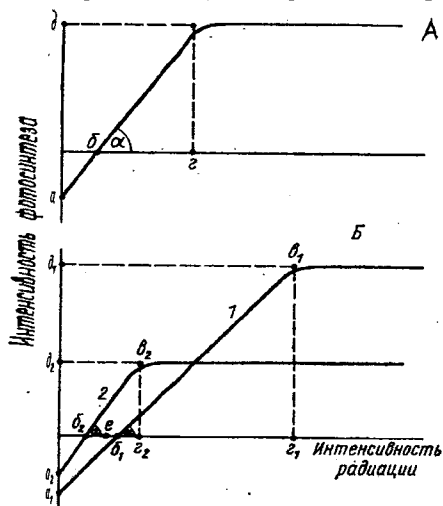


Рис. 69. Световые кривые фотосинтеза: А – общая схема; Б – кривые для светолюбивых (1) и теневыносливых (2) растений. (по Т.К. Горышиной, 1979).

Объяснение в тексте

1. Условия полной темноты. Точка пересечения кривой фотосинтеза с осью ординат (точка *a*) находится ниже оси абсцисс (рис. А) . Фотосинтез отсутствует, т.е. идет не поглощение, а выделение CO_2 .

2. Точка пересечения световой кривой с осью абсцисс (точка *b*; рис Б) характеризует компенсационный пункт, т.е. интенсивность света, при которой фотосинтез (поглощение CO_2) уравнивает дыхание (выделение CO_2).

3. По мере увеличения освещенности от компенсационного пункта интенсивность фотосинтеза пропорционально возрастает. Нарастание интенсивности фотосинтеза будет продолжаться до тех пор, пока сочетание других экологических факторов не создаст препятствия для роста (точка *в* на кривой фотосинтеза). Далее кривая фотосинтеза выходит на «плато насыщения»: увеличение освещенности уже не приводит к увеличению фотосинтеза.

Проекция точки выхода кривой фотосинтеза на плато на ось абсцисс (точка *г*) характеризует «насыщающую» интенсивность света, а проекция ее на ось ординат – (точка *д*) соответствует наибольшей интенсивности фотосинтеза для данного вида. У одних пород (светолюбов) максимальная продуктивность фотосинтеза отмечается при высокой освещенности, у других (тенелюбов) при значительно более низкой.

4. Важная характеристика световой кривой – угол ее наклона (α) к оси абсцисс, отражающий степень возрастания радиации (в области сравнительно низкой интенсивности света).

У многих лесных деревьев тенелюбов компенсационный пункт отмечается при освещенности всего в 1–2 % от полной (50–100 (200) лк. К этой категории относится также большая часть подлесочных кустарников. Низким компенсационным пунктом отличаются многочисленные виды кустарничков и травянистых растений в напочвенном покрове леса. По данным С.Г. Спурр и Б.В. Барнес, (1984) у теневыносливых древесных пород Северной Америки компенсационный пункт отмечается при освещенности 50–160 лк, т.е. при освещенности, составляющей всего 0,5–1,5 % от полной. Немецкие ученые (цитируется по Лир и др., 1974) приводят близкие значения компенсационного пункта для бука лесного в условиях Саксонии. У светолюбивых пород точка компенсации фотосинтеза находится в области 500–1000 лк. У сосен Калифорнии компенсационный пункт приурочен к освещенности 500–1600 лк (Спурр, Барнет, 1984).

Древесные породы крайне высокого светолубия в своих кривых фотосинтеза не имеют плато насыщения, т.е. фотосинтез у них продолжает

нарастать с увеличением освещенности до крайне высоких величин до наступления пессимальных условий по другим факторам (температура воздуха) в экстремальных условиях. Это популяции хвойных в горных местообитаниях.

Известно, что и в таежных лесах Европейской России с увеличением освещенности за порог 25 % от полной теснота связи фотосинтеза с освещенностью у большинства древесных пород начинает снижаться. Явление это связывают с усилением совокупного влияния других факторов, прежде всего температуры, влажности воздуха, ветра и др. Тем не менее рост интенсивности фотосинтеза на кривой освещенности у ели продолжается до достижения освещенности 30–34 % от полной. Некоторые закономерности в связях интенсивности фотосинтеза с условиями освещения, обусловленные различиями в условиях местообитания, в возрастной структуре деревьев лесобразующих пород по данным известных ученых показаны на рис. 70.

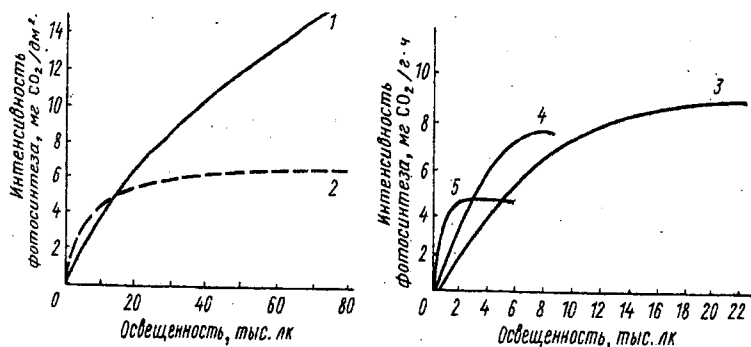


Рис. 70. Различие световых кривых фотосинтеза одного вида в разных условиях освещенности (по И. Малкиной и др., 1969; по В. Алексеева, 1975) А – ель, части кроны: 1 – верхняя, 2 – нижняя; Б – подрост ели, выросший: 3 – на открытом месте, 4 – под редким лесным пологом, 5 – под густым пологом.

Информацию, заключенную в рис. 68–70, можно интерпретировать следующими тезисами:

- светолюбие лесного полога – довольно сложное явление. Верхние части полога, деревья ведущей части древостоя при прочих равных отличаются большим светолубием, чем нижние части;
- различия в светолубии ассимиляционного аппарата верхних (более освещенных) и нижних (менее освещенных) частей полога больше выра-

жены в насаждениях тенелюбивых и теневыносливых пород, нежели светолюбивых.

- световые кривые фотосинтеза древесных растений одного вида будут различаться, в зависимости от фитоциального статуса индивидуумов и их совокупностей в конкретном сообществе.

- тип световых кривых фотосинтеза растений одной древесной породы зависит от сложившихся на данный период конкретных условий освещенности.

Распространено мнение (Лир и др., 1974), что солнце в некоторых районах планеты (в частности в Средней Германии) «излишне щедро» для древесной растительности. В ясные дни интенсивность света может достигать 70–85 тысяч лк. Для лиственных и хвойных пород в средненемецком климате достаточно 20–35 тысяч лк, а для получения 2/3 наибольшего дневного эффекта достаточно даже 7000–15000 лк. Этот вывод вполне распространяем и на пространства Средней и Южной России.

С условиями освещенности связаны многие показатели морфологии растений и анатомического строения листового аппарата. Древесные растения одного вида, выросшие на освещенном месте, сильно отличаются по комплексу морфометрических показателей от растений, выросших под пологом леса. Все объясняется, если это явление рассматривать с экологической точки зрения, с позиций адаптации растений к условиям среды.

«Излишняя» освещенность может вызвать негативные в хозяйственном отношении явления. Известно образование на стволах «Ивановых побегов» – как результат «возбуждения» адвентивных почек на очищенных от ветвей стволах некоторых лиственных пород, вследствие внезапного энергичного осветления стволов. При этом происходит снижение качества древесины и потому явление это расценивается лесоводами негативно. Установлено, что вероятность появления Ивановых побегов возрастает при увеличении доли прямого солнечного облучения стволов.

Закономерности и выраженность роста, развития древесных растений, формирования корневых систем, а также такие явления как покой, прорастание, цветение и образование плодов, находятся под контролем так называемого «светового дня», т.е. определяются закономерностями фотопериодизма. Эти закономерности представляют функциональную физиологическую систему, отвечающую за основу реакций древесных пород на продолжительность дня и ночи и на изменение их соотношения в течение года. Все древесные растения разделяются на растения длинного и короткого светового дня.

Поступающая к земной поверхности солнечная радиация «сообщает» всему живому в местообитании энергию, которая определяет соответствующий энергетический баланс в экосистеме. Баланс поступающей к растительному покрову энергии складывается в результате сложного перераспределения солнечной радиации между растением и средой. Участвуют такие статьи, как затраты на повышение температуры растительного покрова, расход на фотосинтез и дыхание, на транспирацию. В формирование баланса принимают участие земное инфракрасное излучение, вторичное поступление рассеянной радиации от атмосферы, отдача тепла нагреваемыми частями древостоя и др.

Роль освещенности может быть неодинаковой для древесной породы, в зависимости от сочетания света с других факторами. Так на хорошо дренированных почвах молодые растения светолюбивых березы и осины хорошо растут при полной освещенности, в то время как на органических почвах и при ослабленном дренаже для удовлетворительного роста требуется притенение.

Большая практическая значимость отношения древесной породы к свету побуждает интерес у ученых и практиков к распознаванию этого свойства. Широко известны выработанные практикой способы определения светолюбия древесных пород, прежде всего по визуальным признакам. И.С. Мелехов, (1980) приводит достаточно широкий перечень признаков светолюбия-теневыносливости древесных пород. В свободном изложении этот перечень выглядит следующим образом.

1. Плотный, тенистый полог древостоя – признак теневыносливости древесной породы – лесообразователя. Рыхлый полог, пропускающий много света к поверхности почвы – признак светолюбия породы первого яруса.

2. Густые кроны, плотное облиствение, высокая густота ветвления, низко опущенная крона – признак теневыносливой породы. Напротив, ажурность кроны изреженность ветвления, высоко приподнятая крона – признак светолюбивой породы.

3. Быстрое очищение ствола от сучьев – один из достоверных признаков светолюбия лесообразующей древесной породы. Сравним сосну типичного светолюбия и теневыносливую ель.

4. Древостои светолюбивых пород характеризуются более энергичным самоизреживанием. Экспонентная кривая динамики плотности популяции с возрастом у светолюбивых пород обычно более крутая, чем у теневыносливых.

5. Подрост светолюбивых пород размещен под пологом неравномерней, чем теневыносливых, чаще приурочиваясь к окнам в пологе. Критический возраст подроста светолюбивых пород при одинаковой сомкнутости полога оказывается существенно ниже, чем у пород теневыносливых.

Представленный перечень хорошо «работает» в российском лесоводстве. Учеными и практиками в развитие изложенных положений разрабатываются новые признаки. Выстраиваются стандартизованные ряды изменения плотности древостоев, ряды возрастной структуры, полноты и запасов древостоев с разной требовательностью к свету. Много делается в углубление представлений о различиях в требовательности древесных пород к свету специалистами по рубкам ухода. Все чаще в обоснование программ изреживания молодых древостоев закладываются результаты изучения фитолимата, изучение светового режима лесных сообществ.

Проблема выявления требовательности древесной растительности к свету давно занимали также ученых, в т.ч. российских лесоводов, физиологов, экологов. Достаточно полное изложение исследований по этому вопросу дает И.С. Мелехов, (1980). В арсенале известных широкому кругу лесоводов способов, основанных на самых разных методологических и методических подходах, насчитывается около десятка. Имеет смысл перечислить и кратко охарактеризовать эти подходы и их результаты.

Таксационный метод Я.С. Медведева, называемый еще как метод оценки светолюбия по относительной высоте. Автор исходил из того, что при прочих равных светолюбивые породы растут больше в высоту, чем по диаметру. Причем в свободном состоянии более быстрыми темпами у всех пород происходит рост по диаметру, а в составе плотного древостоя – рост в высоту. Ученым установлены предельные величины относительных высот для лесобразующих пород России:

	Сосна	ель	бук
у изолированных деревьев	24,9	39,8	38,4
у угнетенных деревьев	126,0	130,0	157,5

Приняв показатель относительной высоты самой светолюбивой по его мнению породы – березы за 1, Я.С. Медведев выстроил все породы в ряд снижения относительного светолюбия :

береза	1,000	граб	1,889
сосна	1,333	ель	2,000
ясень	1,400	бук	2,058
осина	1,598	пихта кавказская	2,250
дуб	1,645	тисс	5,795
липа	1,747		

Метод М.К. Турского и В.Н. Никольского, основанный на обобщении экспериментов с искусственным затенением семян древесных пород, выращиваемых при одинаковых почвенных условиях. Соотношение потерь в приросте фитомассы при снижении освещенности послужило основанием для выявления ряда снижения светолюбия. Сеянцы светолюбивых пород при одинаковом снижении светового довольствия теряли прирост в большей мере, чем теневыносливые породы. Соотношение этих потерь в многочисленных опытах с разными породами позволило выстроить ряд их светолюбия – теневыносливости в молодости. Этот принцип использовался для выявления светолюбия древесных пород в многих европейских странах. В итоге результаты исследований Турского – Никольского были существенно расширены и удалось выявить ряд интересных закономерностей. В частности было установлено, что чем светолюбнее порода, тем сильнее отенение ее понижает производительный потенциал. Умеренное затенение может сказаться положительно на теневыносливой породе, и наоборот, любое затенение сказывается отрицательно на светолюбивых породах.

Анатомический метод лесовода И. Сурожа. Основан на сопоставлении анатомического строения листового аппарата различных древесных пород. Анализировалось соотношение между представленностью и свойствами хлорофиллосодержащих палисадной (столбчатой) и губчатой паренхимами. Исследователь исходил из известной истины, что чем светолюбнее порода, тем больше в ее листе представлена палисадная ткань с большей концентрацией хлорофилла и с более компактным (плотным) мезофиллом (с малым числом мелких межклетников). В результате был выстроен ряд светолюбия древесных пород, хорошо логически согласующийся с другими шкалами, хотя имелись и курьезные несовпадения с классикой (кедр сибирский оказался светолюбнее березы). Анатомический метод оказался весьма востребованным при изучении структуры не только листовой массы, но строения годичных колец древесных пород в разных экологических условиях.

Фотометрический метод Визнера. Основан на изучении разной пропускной способности света пологом древостоев светолюбивых и теневыносливых древесных пород. Эту способность можно легко установить по интенсивности потемнения фотобумаги, экспонированной под кронами древесных растений. Полог светолюбивых древесных пород пропускает света больше, тем больше, чем выше светолюбие. Ученым после выявления значений относительного минимума освещенности (минимум, при ко-

тором хвоя (листва) могла еще ассимилировать, был выстроен ряд возрастных относительного светолюбия. Этот ряд выглядит следующим образом: бук 1/100, т.е. 1 % от полного освещения; самшит – 1/80 (1,2 %); клен – 1/55 (1,8 %); ель – 1/36 (2,8 %) и так далее. Замыкает ряд лиственница – 1/5 (20,0 % от полного) освещения.

Отдельную группу составляет совокупность физиологических методов. Основаны на оценке темпов и объема поглощения экспонируемыми при разной освещенности побегами древесных пород углекислоты или выделения кислорода. Показатели поглощения единицей листовой массы массы CO_2 (выделения O_2) на каждую единицу освещенности – самые достоверные показатели световых характеристик фотосинтеза древесных пород. Теневыносливые породы начинают продуцировать при более низких значениях освещенности и раньше достигают пункта насыщения фотосинтеза. Чем выше значения освещенности, при которой растение показывает максимальную продуктивность фотосинтеза (чем выше поглощение углекислоты или выделения кислорода), тем выше положение этого вида в ряду светолюбия.

Эта группа методов включает метод В.Н. Любименко основанный на оценке чувствительности к свету вытяжек хлорофилла разных древесных пород через установлении минимальной освещенности, с которой начинается усвоение хлорофиллом углекислоты. Более результативным принято считать метод ассимиляционных колб Л.А.Иванова и И.Л. Коссович. Этот метод также основан на оценке интенсивности фотосинтеза при разной освещенности. Ветвь дерева помещалась в колбу определенной концентрацией CO_2 и экспонировалась при контролируемой освещенности. Различия в концентрации углекислоты до и после эксперимента с разной интенсивностью света определялась продукция фотосинтеза.

При рассмотрении радиационных режимов, условий освещенности в лесных экосистемах рассматриваются количественные и качественные показатели прихода к пологу и под полог насаждений солнечной радиации, анализу слагающих светового баланса, т.е. обусловленность распределения солнечной радиации на отраженную, поглощенную и пропущенную к поверхности почвы световую радиацию.

Известно, что на поступление в полог леса энергии прежде всего влияет географическое положение местообитания. По данным Л.А. Иванова, (1946) доля ФАР в прямой солнечной радиации при высоте солнца 20–50° составляет в среднем 35,5 %. При высоте солнца ниже 20 градусов энергия физиологической радиации быстро падает. Принято считать, что

рассеянный свет содержит 60% физиологически активных лучей, Качество света под пологом леса при прочих равных отличается от такового над пологом.

Интервал пропускаемой пологом насаждений световой энергии оказывается довольно широким. Высокая изменчивость этого показателя определяется как высотой стояния солнца (географическим положением местобитания), так и свойствами насаждения. С высотой солнца связана структура поступающей энергии – соотношении между прямой и рассеянной радиацией и спектральный состав. Многое зависит от оптических свойств крон, определяемых биологическими свойствами древесной породы.

Световой режим под пологом насаждения достаточно сложен. По отношению к энергии Солнца он выступает как лабильная фотоэнергетическая и оптическая система. Свойства этой системы сильно варьируют в зависимости от многих факторов. Режим освещенности весьма динамичен в части баланса отраженной, поглощенной, пропущенной к поверхности почвы радиации, а также в части баланса качественных критериев радиации (разное соотношение частей спектра солнечной радиации).

Большое влияние на уровни освещенности под пологом, в окнах оказывает древесная порода. В условиях подмосковного ельника в двухметровом припочвенном слое величина освещенности зависит от размера «окна». При размерах окон до 10–12 м² освещенность в местах бликов может достигать 60–80 % от полной, при окнах 5 м² и менее – она не превышает 10–20 %. В березняке и осиннике освещенность в окнах всех размеров сильно варьирует. Наряду с участками, где величина освещенности достигает 50–70 % от полной имею место участки с освещенностью 1–5 %.

По наблюдениям М.И. Сахарова больше всего света перехватывает полог ельников. До поверхности почвы здесь достигает всего около 5,5 % от полного. В сосновых насаждениях решающее значение имеет сомкнутость полога, связанная с типом леса и составом пород. Больше всего света проникает под разреженный полог сосняка мшисто-мохового (39,8 %), а замыкает ряд сосняков насаждение зеленомошного типа с участием ели, где до поверхности почвы доходит лишь 6,5 % световой энергии.

Установлено, что в хвойных и лиственных насаждениях значения светового режима резко различаются по многим параметрам. Принято считать, что полог хвойных пород пропускает больше общей радиации, чем кроны лиственных. В насаждениях лиственных пород в части света, проникающего к нижним ярусам растительности, содержится мало голубых и

много желтых и зеленых лучей. По содержанию оранжево-красных лучей эта часть схожа с дневным (естественным) светом, но характеризуется исключительно богатым содержанием инфракрасных лучей.

В хвойных лесах содержание проникающей к напочвенной растительности части света мало отличается от естественного. Это означает, что хвойные способны использовать все части видимого спектра, за исключением голубых и фиолетовых лучей, которые поглощаются несколько больше. Физиологи (Крамер, Козловский, 1963) считают, ⁴⁷ для хвойных и лиственных пород более благоприятен свет с полным спектром.

По наблюдениям В.А. Алексеева (1967, 1975) при равной доле пропускаемой ФАР уровень инфракрасной радиации под пологом березняка в два раза выше, чем под пологом хвойного леса. Отношение пропускания к ближних красных лучей к видимым при высоте стояния солнца в березняке составило 3,0, в ельнике и сосняке – 1,6. То есть полог лиственных пород характеризуются большей избирательностью к световому спектру. Здесь выше доля красных лучей и меньше зеленых и синих.

Пространственные и временные закономерности изменения освещенности под пологом насаждений подчиняются определенным закономерностям. На световой баланс и его динамику под пологом леса оказывают влияние большой комплекс астрономических (климатических), орographicеских почвенно-геологических факторов. Имеет значение физиологическое состояние растительности, особенности погоды, а также условия произрастания, отражаемые типом леса (рис. 71).

Хотя кривые ослабления коэффициента пропускания ФАР в рассматриваемых сосняках в общих чертах сходны, прослеживаются достаточно весомые различия по типам леса, прежде всего в нижних частях полога насаждений. Имеют значение различные параметры морфоструктуры насаждений: полнота или сомкнутость полога, тип сомкнутости (ярусность) состав пород.

В обобщенном виде освещенность в пространстве леса: от вершин деревьев к почве сначала последовательно снижается и тем энергичней, чем выше сомкнутость, чем выше в пологе доля темнохвойных пород. В подкroновом пространстве освещенность несколько увеличивается и тем заметней, чем меньше развит ярус подлеска и подроста, чем проще строение древостоя.

Влияние структуры полога (листового индекса) и высоты стояния солнца на коэффициент снижения радиационного потока по данным Э.П. Галенко, (1983) представлено на рис. 72. Как следует из рис. 70, наиболее

выражено снижение коэффициента ослабления световой энергии под пологом в связи с изменением листового индекса при рассмотрении значений радиационного баланса и меньше всего – при оценке суммарной радиации.

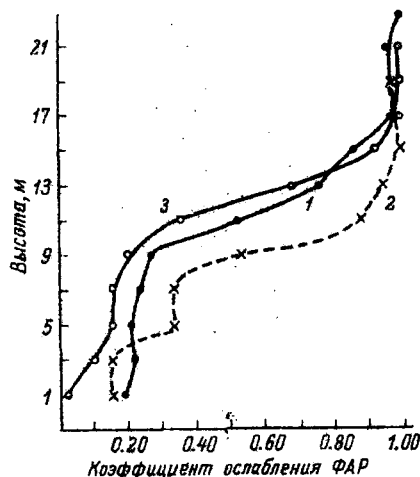


Рис. 71. Вертикальное распределение коэффициентов ослабления ФАР в хвойных насаждениях 1 – сосняк чернично-зеленомошный; 2 – ельник чернично-зеленомошный; 3 – сосняк еловый черничный

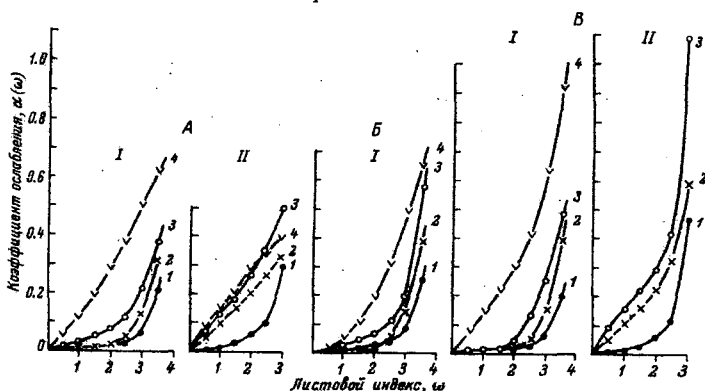


Рис. 72. Зависимость коэффициента ослабления радиационных потоков от листового индекса: А – суммарная радиация; Б – ФАР; В – радиационный баланс. I – ельник чернично-зеленомошный; II – сосняк чернично-зеленомошный. Высота Солнца: 1 – 40–50°, 2 – 30–40°, 3 – 20–30°, 4 – менее 20°

Режим освещенности и количество проникающего света под полог насаждений во многом зависят от сезона. Н.Ф. Созыкин и С.А. Кожевникова, (1965) предлагают различать три периода: облиствения, максимума развития лесного полога, увядания листвы (листопада.) Большое количество света проникает в период облиствения. Это время наибольшего снеготаяния. Доля поступления световой энергии за период листопада и увядания листвы занимает промежуточное положение. Самое низкое проникновение световой энергии под полог в период полного облиствения.

В горных лесах Северного Кавказа по данным ученых (Коваль, Битюков, 2001) максимальная солнечная радиация на поверхности почвы под пологом леса имеет место в марте-апреле ($4,5 \text{ ккал/см}^2$ за месяц), наименьшая радиация – в сентябре ($0,73\text{--}0,98 \text{ ккал/см}^2$ месяц). Ученые специально для условий Северного Кавказа в режиме изменения освещенности предлагают выделять четвертый период: период полной дефолиации (зимой). В целом в течение года количество проникающей к поверхности почвы радиации в лиственных лесах проникает, от 60 до 4–8 %; в двухъярусных лиственно-хвойных – от 26 до 4 %.

В Подмоскowie листопадные деревья в период до распускания почек могут пропускать 20–30 %, а в период облиствения – только 12–18 % света.

Сезонные закономерности изменений пропускной способности полога насаждений показана на рис. 73. Наиболее наглядны сезонные изменения в сокращении по месяцам продолжительности светового дня. Наиболее выраженным сокращение светового дня оказывается в июне-июле. В изреженных насаждениях сокращение в это время составляет 43–46 минут, в то время как в высокополнотных лесах оно достигает 130–140 минут. Самое низкое сокращение продолжительности дня за вегетацию отмечается осенью – в сентябре: в низкосомкнутых насаждениях 24–26, в высокополнотных 86–90 минут.

Пропускание света лесными насаждениями есть функция от их возраста. При прочих равных наибольшее количество света проникает под полог 10–15 летних молодняков. Далее с увеличением возраста, с нарастанием сомкнутости и глубины смыкания полога освещенность поверхности почвы быстро снижается. Меньше всего света в лесу в стадии жердняка. С этого момента с увеличением возраста на несколько десятилетий устанавливается своеобразное плато освещенности. И в возрасте спелости с последовательным снижением сомкнутости и очищением стволов от сучьев пропускная способность полога увеличивается.

Представления о характере изменения режима освещенности под пологом леса в суточном режиме дает рис. 74, показывающим изменения хроноизоплет пространственного распределения значений ФАР под пологом сосняка черничного средней подзоны тайги.

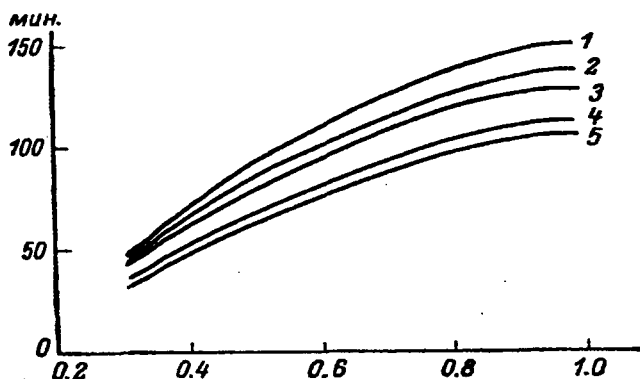


Рис. 73. Сокращение продолжительности дня под пологом 70–80 летних сосняков разной полноты в течении вегетации : по горизонтали – 1 – июнь, 2 – июль, 3 – май; 4 – август; 5 – сентябрь относительная полнота, во вертикали – время сокращения дня в минутах

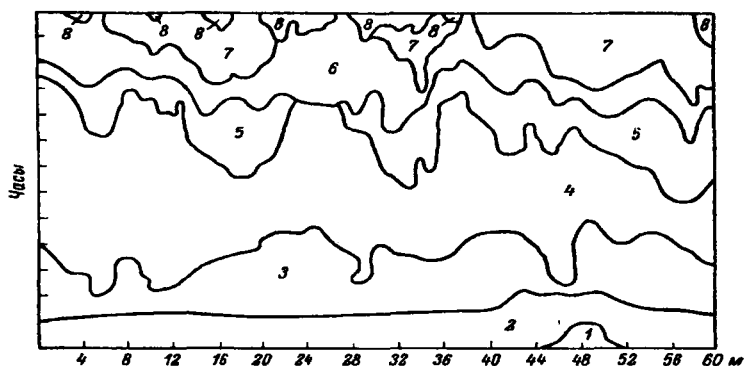


Рис. 74. Пространственно-временное распределение ФАР под пологом сосняка со средней сомкнутостью 0,5 с 6 до 18 часов на трансекте 60 м: по горизонтали расстояние (м), по вертикали – время (час). Хроноизоплеты: 1 – 0,4–0,8; 2 – 0,8–1,6; 3 – 1,6–2,4; 4 – 3,2–6,8; 5 – 6,8–12,5; 6 – 12,5–50; 7 – 25–50; 8 – более 50

Поступающая в полог леса световая энергия оказывается качественно различной по отношению к отдельным деревьям и их совокупностям. По отношению к отдельным деревьям, их группам, а также к частям дерева свет может быть верхним, боковым (горизонтальным), а также нижним (отраженным от напочвенного покрова или почвы). В каждом случае световой поток характеризуется особым спектральным составом и, стало быть, будет обладать неодинаковым ассимиляционным и формообразующим эффектом.

Большое значение для характеристик освещенности под пологом насаждений имеет состояние погоды. В пасмурную погоду освещенность под пологом леса в 3–5 раз меньше и более монотонна по сравнению с освещенностью на открытом месте. Происходит определенное выравнивание экстремальных значений освещенности. Все это свидетельствует о сложности и многообразии радиационных условий для всех ярусов насаждения. Вот почему условия освещенности слабо коррелируют с такими лесоводственными показателями, как сомкнутость полога, полнота древостоя, густота. Установленные по тем или иным источникам связи освещенности под пологом леса со структурой полога можно считать высоко достоверными лишь в частных случаях.

В связи со сложными сочетаниями факторов разного свойства световые условия под пологом леса оказываются достаточно неоднородными. Физиологи предлагают различать четыре типа радиации: 1 – прямые лучи, профильтрованные листвой (хвоей) и поэтому несколько измененные по спектральному составу; 2 – рассеянная радиация, также прошедшая через листву полога; 3 – прямые лучи, прошедшие через просветы полога; 4 – «первичная» рассеянная радиация, проникающая через просветы в полог. В.И. Алексеев, (1978) считает, что для более корректного светового баланса следует применять иные статьи освещенности. Ученый предлагает различать четыре типа радиации: 1 – прямые лучи, прошедшие через просветы в пологе; 2 – прямые лучи, «профильтрованные» сквозь листву; 3 – рассеянная радиация неба, попадающая сквозь просветы в полог; 4 – рассеянная радиация неба, попадающая сквозь листву и отраженная от поверхности растений («боковой свет»).

Прямые лучи через просветы в пологе из-за четко выраженной направленности распределяются по поверхности участка крайне неравномерно и образуют хорошо очерченные пятна – «блики», меняющие положение в течении светового дня. Остальные виды световой радиации распределяются в пространстве более-менее равномерно. В бликах эти виды

освещенности образуют одну из компонент суммарной солнечной радиации – рассеянную. На затененных участках суммарную радиацию образует только рассеянная. Освещенность в бликах многократно (иногда в десятки раз) выше, чем на затененных участках.

Освещенность под пологом леса по праву считают самым переменным и показателем микроклимата насаждений. Большую роль в определении условий освещенности играет режим так называемых «бликов». Весьма существенно, что кривые распределения бликов по площади в разных типах леса в ветряную пору оказываются сходными. Кстати, пульсация света при бликовом режиме, обуславливающая частую смену освещенности, неблагоприятна для фотосинтеза подроста (Цельникер, Князева, 1973). Дополнительным неблагоприятным фактором режима бликовой освещенности является временная неравномерность поступления света к ассимиляционным органам. Периоды контрастного освещения оцениваются колебаниями в каждой точке от 1 до 10 тыс. люксов через каждые 1–10 минут (Цельникер, Князева, 1973). Это неблагоприятно сказывается на течение процессов фотосинтеза.

Древесная растительность бореальной зоны более активно поглощает энергию рассеянного света. Оптимальным считают такой режим освещенности, когда доля рассеянной световой энергии составляет 55–60 % от общей (суммарной). В летнее время в околополуденные часы при ясной погоде в общем потоке света преобладает прямая солнечная радиация. Вечером и утром возрастает доля рассеянной.

Известно, что доля ФАР в суммарной радиации на открытом месте, в зависимости от высоты стояния Солнца и облачности значительно варьирует, составляя в среднем 48–49 % (Молчанов, 1961). В составе радиации, проникающий под полог сосновых насаждений, доля ФАР не превышает 30 %, а под пологом густых насаждений – 17 %.

В спелых темнохвойных насаждениях Средней Сибири интенсивность освещенности может колебаться в 8–10 раз (Протопопов, 1977). Сильно изменяется этот показатель по вертикальному профилю насаждения. Максимальная изменчивость имеет место в области крон, минимальная – в подкрановом пространстве. По наблюдениям ученого в еловых насаждениях общая площадь участков с повышенной освещенностью в 5 раз меньше, чем в кедровниках. В смешанных по составу молодняках освещенность значительно выше, чем в чистых хвойных насаждениях. Причем освещенность здесь в течение вегетации сильно изменяется (от 19 до 80 %

от полной). Максимум отмечается перед началом роста, минимум — в его конце.

Со снижением освещенности вниз по профилю полога, с уменьшением общего дневного количества ФАР, фотосинтетическая деятельность хвои снижается. Связано это по мнению С.Ш. Читашвили, (1971) со снижением вниз по профилю участия в ассимиляционном аппарате ели и пихты хвои светового типа. Показателем ослабления светового режима может служить дневной ход потенциального фотосинтеза этих пород в нижней части кронового пространства и под пологом насаждений. Интересно, что интенсивность фотосинтеза у пихты под пологом насаждений при одинаковой освещенности выше, чем у ели, что еще раз подтверждает более высокую теневыносливость этой породы.

Оказалось, что существует тесная корреляционная связь обратного вида между возрастом хвои и интенсивностью фотосинтеза. В полном соответствии со снижением освещенности вниз по профилю полога снижается площадь ассимиляционной поверхности и снижается продуктивность хвои (табл. 37). Таким образом, своеобразная структура крон ели и пихты, сформированных в различных условиях освещенности, во многом определяет их продуктивность и жизненный потенциал деревьев. Одно-трехлетняя хвоя, на верхних частях крон в среднем ярусе почти в два раза выше величины фотосинтеза хвои в верхней части крон деревьев нижней части полога.

Таблица 37. Фотосинтетическая продуктивность листового аппарата хвои ели и пихты в разных ярусах елово-пихтового древостоя (по Читашвили)

Ярусы	Порода	Ассимиляционная поверхность, м ²		Продуктивность хвои, м ² на м ³ древесины	
		1966 г	1967	1966	1967
Верхний	ель	145,2	156,1	14500	15620
	пихта	228,1	1225,4	11400	11270
Средний	ель	114,5	116,6	16357	19320
	пихта	148,2	150,1	37500	32700
Нижний	ель	47,3	49,8	39100	41500
	пихта	78,5	78,8	98120	112000
Подрост	ель	6,70	7,20	223333	240000
	пихта	5,0	5,0	510000	510000

Рассмотренные материалы свидетельствуют о сложности и многообразии радиационных условий для всех ярусов насаждения. Вот почему условия освещенности плохо коррелируют с такими лесоводственными по-

казателями, как сомкнутость полога, полнота древостоя, густота. Установленные по тем или иным каналам связи со структурой полога можно считать достоверными лишь в частном случае.

Световые условия под пологом леса различают достаточно неоднородны. Физиологи предлагают различать четыре типа радиации: 1 – прямые лучи, профильтрованные листвой (хвоей) и поэтому несколько измененный по спектральному составу; 2 – рассеянная радиация, также прошедшая через листву полога; 3 – прямые лучи, прошедшие через просветы полога; 4 – «первичная» рассеянная радиация, проникающая через просветы в полог. В.И. Алексеев, (1978) считает, что для более корректного светового баланса следует применять иные статьи освещенности. Ученый предлагает различать четыре типа радиации: 1 – прямые лучи, прошедшие через просветы в полог; 2 – прямые лучи, «профильтрованные» сквозь листву; 3 – рассеянная радиация неба, попадающая сквозь просветы в полог; 4 – рассеянная радиация неба, попадающая сквозь листву и отраженная от поверхности растений («боковой свет»).

Прямые лучи через просветы в полог из-за четко выраженной направленности распределяются по поверхности участка крайне неравномерно и образуют хорошо очерченные пятна – «блики», меняющие положение в течение светового дня. Остальные виды световой радиации распределяются в пространстве более-менее равномерно. В бликах эти виды освещенности образуют одну из компонент суммарной солнечной радиации – рассеянную. На затененных участках суммарную радиацию образует только рассеянная. Освещенность в бликах многократно (иногда в десятки раз) выше, чем на затененных участках.

Древесная растительность бореальной зоны более активно поглощает энергию рассеянного света. Оптимальным считают такой режим освещенности, когда доля рассеянной световой энергии составляет 55–60 % от общей (суммарной). В летнее время в околополуденные часы при ясной погоде в общем потоке света преобладает прямая солнечная радиация. Вечером и утром возрастает доля рассеянной.

Количество проникающей к нижней части полога леса физиологически активной радиации В.А. Алексеев, (1973) использовал как надежный показатель теневыносливости популяции сосны в местообитаниях разных районов. Исследования проводились с целью выявления зависимости требовательности к свету этой породы от географического положения местообитаний. Довольно сложные и многотрудные исследования ученого показали, что распространенное мнение о возрастании светолюбия сосны с гео-

графической шириной не подтверждаются. Оказалось напротив, что хвоя северных популяций этой породы способна выдерживать значительно большие (на 30–40 %) ограничения освещенности, чем сосны более южных популяций. Изучение отношения сосны к свету с использованием измерений ФАР дали другие результаты. Оказалось, что теневыносливость северной сосны (на широте 66°30 с.ш. в свете физиологически активной радиации оказывается теневыносливей чем у сосны на широте 50° только на 10 %.

Как не жестки связи лесных растений с режимом освещенности, отношение свету у них может меняться. Условия окружающей среды могут резко изменяться по причинам разнообразных стихийных явлений, под влиянием антропогенных факторов. Резко изменчивыми оказываются условия освещенности. И те виды, которые обладают определенным консерватизмом к режиму освещенности, виды с низкой экологической пластичностью, оказываются неготовыми к новой обстановке. Виды таких растений в стрессовых ситуациях болеют и нередко выпадают из сообществ.

Роль освещенности может быть неодинаковой для древесной породы, в зависимости от сочетания света с другими факторами. Так на хорошо дренированных почвах молодые растения светолюбивых березы и осины хорошо растут при полной освещенности, в то время как на органических почвах и при ослабленном дренаже для удовлетворительного роста требуется притенение.

Закономерности и выраженность роста, развития древесных растений, формирования корневых систем, а также такие явления как покой, прорастание, цветение и образование плодов, находятся под контролем так называемого «светового дня», т.е. определяются закономерностями фотопериодизма. Эти закономерности представляют функциональную физиологическую систему, отвечающую за основу реакций древесных пород на продолжительность дня и ночи и на изменение их соотношения в течении года. Все древесные растения разделяются на растения длинного и короткого светового дня.

Знакомство с приведенными материалами показывает, что влияние условий освещенности оказывается чрезвычайно разнообразным. Действительно свет можно считать самым необходимым среди других необходимых экологических факторов жизни леса.

9. ПОЧВА И ЛЕС

«...Природа сомкнулась для меня в единое целое, которое можно познать, только стоя на исследованиях тех факторов, взаимодействие которых и дает великий синтез окружающей нас природы...

Дело касается преимущественно почвы, но мне кажется, что и нет в природе никакого другого тела или явления, которое бы в данное время так конкретно показало значение географического синтеза...».

Г.Ф. Морозов

Лесопригодность почв

Лес, как известно, невозможен без почвы. Почва – не только экологический (эдафический) фактор окружающей природной среды, не только фактор местообитания лесного сообщества, но одновременно – неотъемлемая его часть, важный компонент лесной биологической системы. Представляя важную часть лесного насаждения (сообщества живых организмов в определенной среде обитания) почва весьма специфична, как по своей физико-химической и биологической природе, так и по функциям.

Исторически почва является продуктом трансформации верхней части коры выветривания планеты, происходящей под воздействием совокупного влияния солнечного тепла, атмосферной влаги, растительности и животных организмов. В эволюционно-экологическом отношении почва – это биокосное тело, или сложное образование из многих видов живой материи, разнообразных форм мертвых органических продуктов в сочетании с минеральным веществом разного механического и химического состава.

В современном представлении (Добровольский, 1999) почву целесообразно рассматривать как *биопедоценоз*, по аналогии с БГЦ, т.е. как динамическое единство почвы, населяющих ее живых организмов и корней. Потоки вещества и энергии на лесном участке образует сложную систему «почва-лес-почва». Характер складывающихся потоков веществ в этой системе отражает наиболее существенную сторону свойств биосферы – разноуровневый биологический круговорот. Взаимодействия компонентов в комбинации почва-лес-почва лучше всего отражают главные свойства биосистем: их *целостность и диалектическое единство*.

Почва предстает перед естествоиспытателем как четырехфазовая система, включающая *собственно почву, подпочву*, образующие в совокупности *макропочву*, а также *почвенный и подпочвенный биоценозы*, составляющие *биоценоз почвы*. Целесообразность включения в общую биокосную систему биопедоценоза особенно наглядна в лесных экосистемах, где почвообразовательный процесс через корневые системы явно выходит за пределы собственно почвы..

Основными структурно-функциональными компонентами *почвы* выступают: 1 – водно-растворимые соединения и обменные ионы; 2 – тонкодисперсные минералы (глинистые) и гумус; 3 – растительные остатки разной степени минерализованности; 4 – грубодисперсные минералы; 5 – водно-воздушная фаза. Соотношение между этими компонентами может быть очень разнообразным, как и неограниченно разнообразной оказывается структура каждого из этих компонента в отдельности. Состав их и свойства весьма динамичны во времени и изменчивы в пространстве. Каждый из компонентов выполняет свои чаще незаменимые функции. Основные характеристики каждого из компонентов являются индикационными признаками генетических разновидностей почв.

Различают несколько функций почвы в лесном насаждении (биогеоценозе). Почва выступает в роли:

1. субстрата для жизнедеятельности и проявления многих функций растительности. Как известно, в почве размещается основная масса корней; она является *ризосферой*;
2. механической опоры для древесных и других растений леса, главной механической составляющей конкретного местообитания;
3. среды обитания многих видов животных и микроорганизмов, со своими специфическими наборами экологических свойств;
4. своеобразного резервуара (кладовой) питательных веществ для растительности и животного населения;
5. хранилища спор, семян некоторых видов растений и их источников;
6. буфера по отношению к вредным веществам, попадающим в биогеоценоз;
7. резервуара и источника влаги, важнейшего транспортера мигрирующего в экосистеме вещества, теплоносителя, носителя информации многочисленных процессов;
8. стабилизатора теплового, воздушного влажностного режимов ризосферы и нижних слоев приземной атмосферы.

Лесные почвы – это подземная и особым образом функционирующая часть леса, в которой размещены корневые системы растений. Почво-грунт служит в качестве механической опоры для деревьев. В высоковозрастных насаждениях, где корневые системы разрастаются, при неразвитых почвах глубина ризосферы может превышать мощность собственно почвы. Иначе корневая система деревьев не может развиваться пропорционально массе надземной его части. Не будет нужной устойчивости деревьев при ветровых нагрузках и не будет требуемой обеспеченности местообитания элементами питания. На мелких почвах корневые системы поверхностного вида, ресурс обеспеченности элементами питания понижен. На глубоких и рыхлых почвах корни деревьев проникают значительно глубже и все древесные породы могут реализовать свои, задаваемые биологией, типы корневых систем (рис. 75).

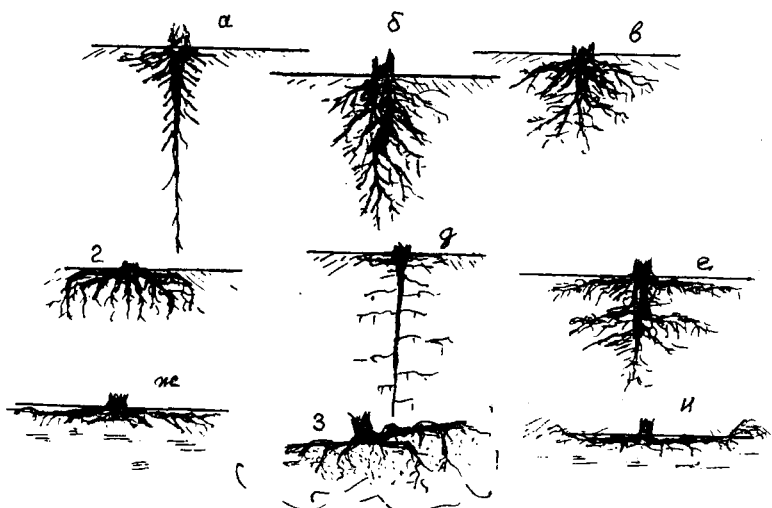


Рис. 75. Основные типы корневых систем древесных пород бореальной зоны: а – стержневой; б – мочковатый; в – чашеобразный; г – якорный; д – дуба на глубоких почвах; е – ярусный; ж – поверхностный; з – крабообразный (скальный) и тарельчатый

Корни большинства древесных пород отличаются высокой пластичностью. Помимо механического состава почво-грунта и условий увлажнения большое влияние на развитие и трансформации корневых систем оказывает аэрированность ризосферы. Во влиянии аэрации на рост корневых систем просматривается несколько аспектов (Ремезов, Погребняк,

вых систем просматривается несколько аспектов (Ремезов, Погребняк, 1965). Имеют значение содержание в почвенном воздухе кислорода; наличие и содержание углекислоты, содержание побочных продуктов анаэробиса – продуктов разложения мортмассы и живых остатков, обуславливающих выделение углекислоты, сероводорода, метана). Снижение участия кислорода ниже 9–12 % и повышенное участие углекислоты (выше 1 %) приводит к угнетению растений. В почве, где воздух насыщен кислородом и не превышает порога содержание углекислоты развиваются мощные и обильно разветвленные корневые системы с большим участием тонких активных корешков. При ослабленной аэрации образование последних резко сокращается и корешки быстро отмирают.

С учетом различий в мощности почвенного слоя принято выделять несколько групп (подтипов) почво-грунтов (табл. 38). Лесопригодность слабо развитых почв зависит не только от объема корнеобитаемого слоя, но также от механического состава. Имеет значение скелетность, фракционный механический состав мелкозема, условия увлажнения, теплообеспеченность и др.

Таблица 38. Деление почв по мощности корнеобитаемого слоя (по Е.С. Мигуновой, 1993)

Подтип почвы	Мощность ризосферы по гидротопам, см		Типы местообитания
	влажные	сухие	
Примитивный	<10	<20(40)	А – нелесопригодные
Маломощный	10–30(40)	20–40(60)	А,В – бедные и относительно бедные
Среднемощный	30–60(80)	40–80(100)	В,С – относительно бедные и относительно богатые
Мощный	>60(80)	>80(100)	С,Д – относительно богатые и богатые

Поэтому представленная в таблице классификация подтипов почв по их лесопригодности в связи с мощностью весьма условна.

Корневые системы древесных пород, являясь биологическим их свойством, на разных грунтах способны образовывать различные формы и сложные модификации. Чем меньше мощность корнеобитаемого слоя почвы, тем больше архитектура корневых систем отличается от естественной для данной породы. Приведенный на рисунке набор типов корневых систем конечно не исчерпывает всего их разнообразия. Более наглядна связь корневых систем древесных пород с почвообразующей породой при

неглубоком ее залегании, в особенности – при выходе ее на поверхность. На таких почво-грунтах в условиях Евразии чаще произрастают сосна или лиственница.

Весьма показательными являются данные Н.И. Казиминова, (1995) о связи продуктивности сосновых лесов европейской части СССР с механическим составом почв (с содержанием в почве скелетной фракции, со степенью каменистости). Большое значение при прочих равных, при одинаковом механическом составе почв получает уровень грунтовых вод (рис. 76).

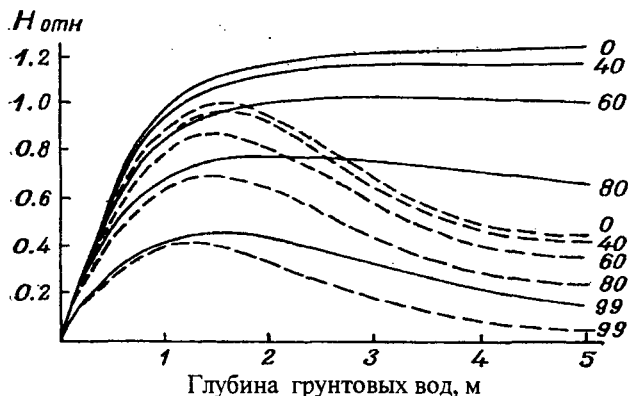


Рис. 76. Связь средней высоты сосновых насаждений с механическим составом на суглинистых (сплошная линия) и песчаных (пунктир) почвах, % при глубине грунтовых вод 1, 3, 5 м (по Н.И. Казиминову, 1995)

Относительная высота древостоев последовательно снижается с увеличением хрящеватости почв. При этом падение показателя продуктивности более выражено при глубоком залегании грунтовых вод. Свойства лесных экосистем при промывном увлажнении в значительной степени зависят от уровня грунтовых вод. В особой степени касается это сосновых лесов на песчаных и супесчаных почвах. Исследования Н.И. Казиминова, (1995) показали, что оптимальный рост сосняков на Русской Равнине на песчаных почвах приурочен к местообитаниям с уровнем грунтовых вод (ул.в.) близкой к 1,5м.

Оказалось, что производительность сосняков на Европейской Равнине через глубину грунтовых вод оказалась связанной с содержанием глинистых частиц в почве (рис. 77).

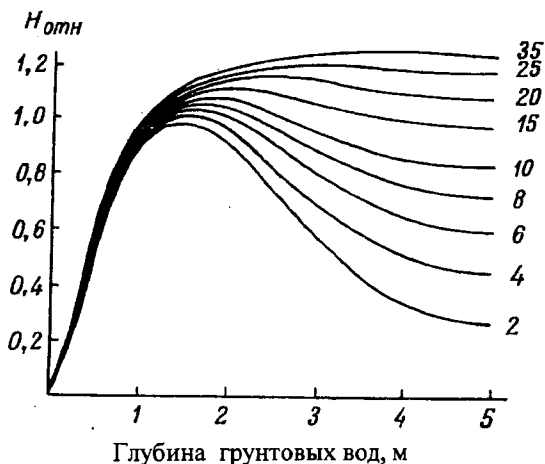


Рис. 77. Относительная высота 50-летних насаждений сосны в связи с содержанием в почве физической глины (по Казимирову, 1995)

Исследования Карельских лесоводов показали, что во всех географических районах на трансекте Мурманск — Харьков с понижением у.г.в. от 0,1 до 1,5 м последовательно возрастает продуктивность сосновых лесов, после чего, с дальнейшим увеличением у.г.в. снижается.

В пределах Европейского Севера России у.г.в. четко характеризует ТЛУ. При глубине у.г.в. до 0,3 м. формируются сообщества типа сфагново-го типа и близкие к нему; при 0,3–0,5 — багульниковый; при 0,5–0,7 м — долгомошный. При глубине грунтовых вод 1-2 м формируются сосняки черничного типа леса. С углублением грунтовых вод за 2 м образуются насаждения брусничного верескового типов, в напочвенном покрове появляются лишайники. Закономерности изменения свойств насаждения в показанном ряду ТЛУ общеизвестны и не нуждаются в комментариях..

Одни из факторов влияющим на свойства и продуктивность сосновых лесов на Русской Равнине Н.И. Казимиров считает проточность почвогрунтов. В качестве показателя проточности ученый использует показатель уклона направления стока грунтовых вод относительно горизонтали. С проточностью связана аэрированность почвогрунтов, поступление к корням растений элементов питания. Связь средней высоты сосняков с про-

точностью грунтовых вод в местообитаниях выражается уравнением гиперболы со следующими параметрами:

$$H_m = \frac{1,2a - 0,1a^2}{(a+4) \cdot (УГВ + 0,45)^3}$$

a – уклон грунтовых вод %.

Без сомнения, глубина и грунтовых вод и ее динамичность проявляются и в других режимах почвенного увлажнения. К сожалению эти вопросы остаются не изученными.

Различия в мощности ризосферы проявляется в различиях структуры корневых систем, в разном соотношении ее функциональных частей. А.Я Орлов, (1955) предложил дифференцировать корневые системы деревьев по функциям их основных частей и по участию в биологическом круговороте. Было предложено различать: 1 – основные крупные скелетные корни, существующие в течение всей жизни дерева, депонированное в них вещество поступает в почву лишь после отмирания дерева; 2 – мелкие проводящие корни, отмирающие и замещающиеся новыми в процессе формирования и жизни корневой системы; 3 – сосущие кони – постоянно обновляющиеся, служащие для поглощения питательных веществ и воды. Продолжительность жизни их около года. Соотношение между этими корнями - функция с одной стороны биологии древесной породы и возраста дерева, с другой – лесорастительных условий, мощности корнеобитаемого слоя.

В таежных условиях ограниченность мощности ризосферы и отклонения в морфоструктуре корневых систем нередко проявляется вследствие близкого залегания грунтовых вод. Здесь широкое распространение получает явления избыточного застойного увлажнения. На пространствах лесной зоны России, главным образом в Сибири, широко распространены мерзлотные почвы, где также проявляется сокращение корнеобитаемого слоя почв. Особенностью этого сокращения является выраженная неустойчивость оттаивающего слоя. Более глубокое оттаивание имеет место лишь к концу лета, когда корни древесных пород вступают уже в фазу подготовки к зиме и не в состоянии освоить эту зону. Необходимо учитывать к тому же, что мощность ризосферы ограничивает существующий надмерзлотный слой, в силу свойственных ему низких температур также оказывающийся «корнеобитаемым». Таким образом, холодный экран мерзло-

ты является не только физическим но и физиологическим затруднением жизнедеятельности корней (Мигунова, 1993).

Почвы криозоны характеризуются достаточным количеством кальция, калия, фосфора, гумуса и низким содержанием азота. Однако усвояемость минеральных веществ сдерживает недостаток тепла и надмерзлотный гидроморфизм (Прокушкин, Прокушкин, 2002). Мерзлотные грунты имеют слабую интенсивность внутрипочвенного выветривания и стало быть в них проявляется дефицит элементов питания.

Пониженное содержание доступных элементов питания в мерзлотных почвах объясняется также угнетением микробиологических процессов, обеспечивающих необходимую минерализацию. Основное количество микроорганизмов здесь сосредоточено в лесной подстилке. Учеными отмечено снижение как общего количества микрофлоры, так и внутригруппового разнообразия ее форм. И неглубокое распространение по профилю.

На отрицательное влияние на лес многолетнего мерзлотного слоя указывает А.А. Молчанов, (1960). На песчаных подзолах в районе Обозерской многолетняя мерзлота проявляется на разной глубине. При глубине этого слоя более 1,0 м сосняки вересковые и лишайниковые растут по III, при глубине 0,5 м – по V бонитету. Связь роста древостоев сосны и лиственницы на землях с разной глубиной оттаивания почвы на примере Якутии хорошо проиллюстрирована Л.К. Поздняковым, (1986), обосновавшим целесообразность выделения на пространствах евразийской Субарктики «мерзлотного лесоводства».

В притундровых лесах, на лесных землях горных районов ограниченность ризосферы растительности чаще обусловлена исторической или генетической неразвитостью почв, молодостью почвообразования. Изучая гранулометрические характеристики почвообразующих пород – ледниковых отложений на Кольском полуострове, А.П. Афанасьев, (1977) приходит к выводу, что при выветривании кристаллических пород, преобладающих в составе морены, важную роль играет физико-химическое выветривание, обуславливающее малое участие в продуктах выветривания мелкозема и замедленность почвообразования.

На четвертичных отложениях морены на Кольском полуострове (при автоморфном типе увлажнения) по данным В.В. Никонова, (1987) формируются своеобразные иллювиально-гумусовые почвы, носящие четко выраженные морфологические черты подзолообразовательного процесса. Для почв характерны легкий механический состав, наличие дресвы, карликовость и однотипность строения минерального профиля, освещенность

верхней части минеральной толщи, свидетельствующая об активном выносе органики из горизонта А. О корненасыщенности таких почв можно судить по сезонному изменению численности корневых окончаний в разных генетических горизонтах песчано-валунной почвы финляндских сосняков (рис. 78).

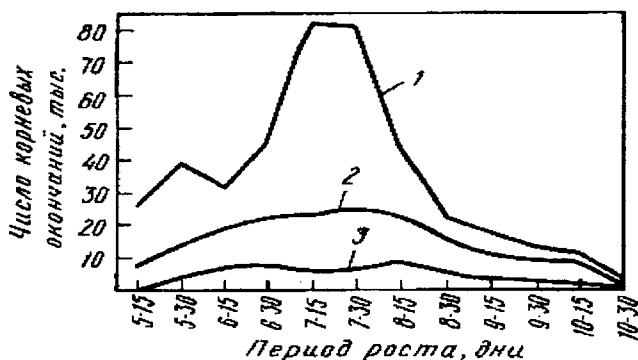


Рис. 78. Численность корневых окончаний на 1 м² поверхности почвы в разных ее слоях под древостоями сосны обыкновенной в Финляндии в течение одной вегетации: 1 — лесная подстилка; 2 — в подзолистом горизонте; 3 — на глубине 30–35 см

Как бы не зависела морфоструктура корневых систем от биологии древесной породы, главным фактором, влияющим на мощность почвенного слоя и на способность к образованию (в порядке адаптации) аномальных корневых систем в лесной зоне будет вид (морфология) почв, напрямую обусловленная характером почвообразования, а стало быть — еще (более тесно) с климатом. Чтобы убедиться в этом достаточно сравнить глубокие серые лесные почвы под дубравами среднего Поволжья мощностью в несколько метров с мерзлотными мелкими неразвитыми (карликовыми) почвами таежных равнин Восточной Сибири.

С почвой связаны все компоненты лесного насаждения. Наиболее очевидной является связь с почвой у главного компонента леса — древостоя. Через древостой лес непосредственно связан не только с почвенными горизонтами, но и с самой почвообразующей породой. Связь эта выражается сложными интегральными зависимостями свойств древостоя от режимов почвенного увлажнения, теплообеспеченности, обеспеченности почвенного слоя комплексами химических веществ элементами биофилами. Приведенные выше примеры убедительно показали негативную роль

таких факторов, как сокращение, независимо от причин, мощности ризосферы, ухудшение механического состава и химических свойств почв.

Почво-грунт и свойства леса

Наряду с этим известно множество не менее убедительных свидетельств позитивных связей свойств лесов с почвенно-грунтовыми условиями. Весьма убедительными можно считать известные связи продуктивности насаждений ведущих лесных формаций (сосняков, ельников, лиственничников и дубрав) с соответствующими почвообразующими породами местообитаний. Классической принято считать приуроченность основных насаждений к песчаным и супесчаным почвообразующим породам, ельников к грунтам, на которых формируются суглинистые почвы. Лучшие по продуктивности сосняки на севере Европейской Равнины при прочих равных располагаются на супесчаных или песчаных почвах, формирующихся на песчаной или песчано-суглинистой морене.

Самая высокая продуктивность таежно-европейских ельников отмечена на сравнительно глубоких суглинистых почвах формирующихся на остаточной суглинистой морене или на двучленных наносах. Продуктивность сосняков и ельников в указанных ситуациях может возрастать если характерные для них почвы подстилаются карбонатной мореной или выходами выветрелых отложений мергелей. Ни одна из указанных главных лесообразующих пород не может сравниться в условиях тайги по продуктивности с лиственницей, произрастающих на карбонатных почвах. Эта порода убедительно демонстрирует себя породой кальцефилом.

Продуктивность лиственничников в районах средней тайги выше чем сосняков в среднем на 1 класс бонитета, в северной тайге – на 1,2 класса, в притундровых лесах (Беломорско-Кулойское плато) – практически более чем на 2 класса. Главное значение при этом имеет нейтральная или слабо щелочная среда и насыщенность основаниями почвенных растворов. В условиях тайги имеет значение также достаточная влагообеспеченность почв (пресными водами). Присутствие свободного кальция помогает нейтрализовать в почвах щавелевую кислоту, оказывающуюся неблагоприятной для растений и способствует улучшению всего комплекса водно-физических свойств.

В.В. Понамарева, (1964) описывает продуктивные насаждения лиственницы на прямых выходах гипса (Архангельская область). Мощный гу-

мусовый горизонт здесь лежит непосредственно на гипсовой плите. Содержание гумаса в нем достигает 14 %. Малоомощная почва хорошо структурирована. Известна также тесная связь приуроченности продуктивных дубрав к серым лесным почвам, образующихся на лессах.

Известен пример, приводимый еще М.Е. Ткаченко, о связи продуктивности сосновых и еловых лесов на пространствах Русской равнины с механическим составом почв, а стало быть с почвообразующими породами (табл. 39).

Таблица 39. Связь средних высот ели в насаждениях с механическим составом почвы

Механический состав почвы	Доля глинистых частиц (<0,01 мм), %	Относительная высота в 50-летнем возрасте	
		сосна	ель
Песок	5	0,90	0,68
Супесь	15	0,99	0,90
Суглинок легкий	25	0,88	0,93
средний	35	0,85	0,99
тяжелый	45	0,72	0,98
Глина легкая	65	0,67	0,95
средняя	85	0,55	0,90
тяжелая	>85	0,50	0,80

Если наибольшая продуктивность в сосновых древостоях отмечается на песчаных с глиной почвах и супесях с участием глинистых части в пределах 12–16 %, то в еловых – на суглинках с содержанием глинистых частиц от 25 до 40 %. Эту хорошо известную лесоведам закономерность можно принять как базовую при сопоставлении потенциалов лесорастительных условий для насаждений этих пород.

Здесь уместно вспомнить выявленный А.А. Крюденером эффект «обеднения почв» одинакового механического состава с продвижением на север а также замечание Д.В. Воробьева о том, что с продвижением в высокие широты суглинки постепенно утрачивают преимущества в продуктивности перед песками и супесями. Эти иллюстрации, казалось бы, разных вопросов, в действительности однозначно показывают на связь продуктивности насаждений со свойствами почв, которые корректируются климатическими условиями, прежде всего – теплообеспеченностью местообитаний.

Степень взаимовлияний древесной растительности и почво-грунта на разных глубинах не одинакова. Разные горизонты почвы во влиянии на лес находятся как бы на разных генетических стадиях. Глубокие слои горной

породы (на глубине 5–10 м) практически не оказывают влияния на лес. Чем ближе к дневной поверхности почвенный горизонт, тем тесней его связь с растительностью (рис. 79).

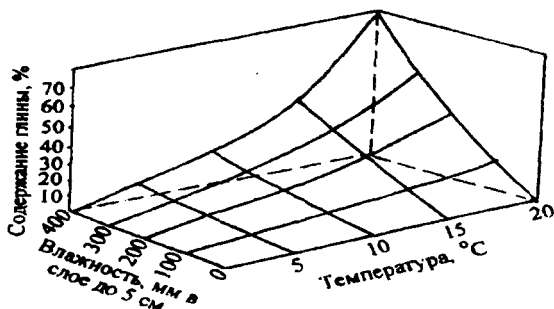


Рис. 79. Зависимость между содержанием в почве глинистых частиц и гидротермическими условиями в связи с различиями во влажности (по Добровольскому, 1999)

Подстилающая горная порода может оказывать влияние на древостой, на его состав и продуктивность, как прямо, так и опосредованно. Прямое влияние – это та или иная степень благоприятности эдафической составляющей местообитания, обусловленная влиянием нижележащих грунтов на почвообразовательные процессы или на поставку дефицитных веществ в зону ризосферы.

Косвенное влияние почвообразующей породы на лес проявляется чаще через формирование физико-механической среды для ризосферы. Многие решают механический состав и химизм подстилающих пород. Подтверждением могут служить известные различия в свойствах почв, формирующихся в одном случае на монолитных выходах известняков, а в другом – на карбонатной морене. В автоморфных типах ландшафтов определяющим в таких условиях могут оказаться более благоприятные условия водного режима почв.

На Европейской Равнине достаточно четкая связь продуктивности лесных насаждений с механическим составом почв и почвообразующих пород выявлена К.Б. Лосицкий, В.С. Чуенковым, (1980). По генерализованным материалам ученых на грубых песчаных подзолах и торфяных оглеенных почвах произрастают насаждения с древостоями Va–V6 (V–Va) классов бонитета; на супесчаных иловатых сильно подзолистых почвах, на той же широте – IV–V классов. На супесчано-суглинистых, подзолистых,

на суглинистых валунных слабоподзолистых и на дерново-слабоподзолистых глинах – древостои III–IV классов. Произрастающие на карбонатных суглинках районов южной и средней тайги еловые и елово-лиственные древостои оцениваются уже II–III классами бонитета.

К.Б. Лосицкий, (1968) в качестве сравнительного показателя прогнозируемых направлений формирования и развития насаждений предложил использовать коэффициент экологического соответствия (Кэс), который выражает отношение запаса на корню в возрасте спелости или среднего годичного прироста в данных почвенных условиях к запасу или приросту насаждений на почвах наибольшего плодородия. При этом наибольший запас принимается за единицу. Ученый исходит из того, что почвы, где произрастают такие (эталонные) насаждения, в наибольшей степени отвечают требованиям данной породы.

По мнению исследователя (Лосицкий, Чуенков, 1980) такими почвами в центральной части зоны смешанных лесов для наиболее распространенных пород являются почвы типа серых лесных, формирующиеся, как известно, на лессах. Примерно такой же подход применяет Н.И. Казимиров с коллегами (Казимиров, и др., 1995), отыскивая эталоны для сосняков Европейской части России. Корректирующими критериями связи продуктивности сосняков с почвами карельские исследователи выбрали глубину залегания грунтовых вод и дренированность. По мнению Н.И. Казимирова в известное положение о более высокой продуктивности сосновых насаждений на супесях, обогащенных глинистыми частицами, следует внести небольшую поправку. Оказалось, что максимальная продуктивность сосновых древостоев обеспечивается: а) при любом механическом составе рыхлых отложений, если грунтовые воды залегают не глубже 1,0 м. и характеризуются хорошей проточностью; б) на супесях и суглинках при глубине грунтовых вод 1–2 м и при уклоне не выше 5 %; в) на средних и тяжелых суглинках при глубине грунтовых вод более 2,0 м не зависимо от проточности водообеспеченности. Таким образом, эдафическая составляющая местообитания лесных насаждений может корректироваться другими факторами, в частности условиями увлажнения.

Роль почвенного увлажнения

Известно, что свойства лесов во многом определяются условиями почвенного увлажнения, которое в свою очередь во многом зависит от климата, от орографических факторов и геологических условий место-

обитаний. Все местообитания лесных насаждений в бореальной зоне по условиям почвенного увлажнения подразделяются на *автоморфные*, *полугидроморфные* и *гидроморфные*. Для автоморфных элементов ландшафта характерно нормальное увлажнение промывного типа, при котором лесная растительность постоянно обеспечена влагой и не испытывает ни ее избытка, ни дефицита. Исключение могут составлять сравнительно редкие годы с экстремально низкими суммами осадков, когда еловые насаждения плакорных ландшафтов могут испытывать временный дефицит почвенной влаги. Не наносит вреда также отмечаемое весной кратковременное подтопление верховодкой с пониженной концентрацией кислорода.

Почвы с промывным типом увлажнения ежегодно испытывают сквозное промачивание всего почвенного профиля, после чего влага уходит в нижележащие слои грунта или в грунтовые воды. Последние в подобного типа местообитаниях практически не принимают участия в подпитке влагой верхних слоев почвы. Промывной тип увлажнения способствует развитию элювиального процесса, характеризующегося выносом из почвы нисходящими потоками илистых частиц и растворенных соединений. Элювиальный процесс приводит к постоянному объединению корнеобитаемых толщ многими биогенными веществами. Интенсивное выщелачивание, свойственные элювиальным процессам ответственно за интенсификацию подзолообразования.

Непромывной режим почвенного увлажнения характерен для районов, где атмосферных осадков оказывается недостаточно для промачивания почвенного профиля. Увлажняются только верхние слои почв, из которого влага расходуется и на обеспечении метаболических процессов растительности и на физическое испарение, в т.ч. на десукцию. Соотношение этих статей расхода зависит от характера и степени развития растительности, наличия и мощности лесной подстилки, влияющей на физическое испарение с почвы. Свойственный для этого режима дефицит почвенного увлажнения усиливается в лесных экосистемах, где развитие мощных корневых систем древесной растительности обостряет иссушение ризосферы.

Подобного типа режим увлажнения отмечается также в некоторых типах ландшафта крайне северных территорий, геологический фундамент которых образован мощными моренными отложениями неотсортированного песчано-супесчано-валунного материала, а также в ландшафтах отложений конечных морен, сложенных мощными (многометровыми) песками. В частности такого типа режим отмечается на пространствах Кольской лесорастительной области (Цветков, 1989). Сумма осадков в таких

районах колеблется в пределах 440–500 мм, среднегодовые температура – 0,8–(+1,0). Выпадающих здесь осадков не хватает для промачивания многослойных толщ весьма гигроскопичных толщ моренного материала и мощных песков. На большей части площадей в таких ландшафтах произрастают достаточно продуктивные сосновые леса, снабжение влагой которых происходит исключительно за счет осадков.

Отмечаемая в ландшафтах автоморфного типа хорошая аэрация почвы не допускает накопления продуктов распада органических веществ, углекислоты и других соединений, способных отрицательно повлиять на рост и физиологические функции корневых систем. В подобного типа местообитаниях в районах средней и южной тайги создаются вполне благоприятные (близкие к оптимальным) условия среды для жизнедеятельности микроорганизмов и почвенных сапрофагов.

Местообитания с автоморфным типом увлажнения характеризуются хорошими темпами минерализации мортмассы, что обеспечивает повышение концентраций питательных веществ в корнеобитаемой толще и повышенные скорости круговорота веществ. Наиболее представленными почвами в ландшафтах автотрофного типа оказываются песчаные, супесчаные и суглинистые Al и Fe- типа подзолы и подзолистые с разной выраженностью элювиальности, неодинаковые по мощности почвенной толщи, различающиеся глубиной залегания, гранулометрическим составом и геохимическими свойствами подстилающих пород.

Участки с автоморфным увлажнением, с режимами как промывного, так и специфического непромывного (мало характерного для бореальной зоны) типов заняты высокопродуктивными хвойными лесами. Местообитания с автоморфным увлажнением занимают в районах европейского Севера России от 30 до 60 %. Многие из них до недавнего времени представляли участки так называемых «корабельных», наиболее продуктивных сосняков, лиственничников и ельников. Сменившие их после сведения коренных насаждений березняки также характеризуются высокой продуктивностью.

Продуктивность насаждений местообитаний с автоморфным увлажнением существенно различается. Определяющее значение имеют характер подстилающих почвообразующих пород. Заметно выделяются повышенной продуктивностью почвы, сформировавшиеся на карбонатных породах (на карбонатной морене или на выходах рухляка известняков, мергелей, гипсов). Самой низкой продуктивностью отличаются песчаные подзолы на глубоких перемытых песках флювиогляциальных отложений.

Другая ситуация складывается в местообитаниях с полугидроморфным увлажнением, характеризующимся периодичным избытком почвенной влаги. Это достаточно большая по представленности группа местообитаний. Большая часть их в бореальной зоне занята лесной растительностью. Ландшафты с полугидроморфным увлажнением далеко не однородны, прежде всего по длительности периода переувлажнения, по соотношению весеннего и осеннего пиков, по химическим свойствам вод подпитки, по режиму проточности-застойности, по орографическим характеристикам местоположения.

Продукционный потенциал этого типа условий произрастания снижается за счет периодического перенасыщения почв влагой, лишенной кислорода, пониженных температур, замедления процессов миграции элементов питания и процессов метаболизма. В почвах накапливаются продукты полураспада органики: вредные для корней растений недоокисленные соединения (сероводород, метан), затрудняющие обменные процессы, резко снижающие лесорастительный эффект подобных местообитаний.

В итоге глубина проникновения корней в почвенную толщу снижается, что приводит к снижению ростовых процессов у древесных растений. Характерным для почв местообитаний полугидроморфного типа является развитие процессов оглеения и оторфования нижних слоев медленно минерализующейся лесной подстилки.

Наиболее распространенными разновидностями почв в ландшафтах с полугидроморфным увлажнением являются (Серый, 2005) торфянисто-подзолистые песчаные, суглинистые супесчаные на глееватых реже глеевых суглинках или глинах; торфянисто-подзолисто-глеевые супесчаные и суглинистые маломощные и среднемощные подзолы, часто с близким залеганием суглинка; торфянисто-подзолистые глееватые, супесчаные, суглинистые на суглинках и глинах; торфяно-глеевые и торфяные переходные; торфянисто-подзолистые, супесчаные, подстилаемые глееватыми суглинками.

Леса этой группы условий увлажнения: еловые, сосновые, лиственные и березовые насаждения долгомошного, травяно-болотного, черничного влажного, багульникового, логового и приручейного типов лесорастительных условий. Продуктивность насаждений сильно варьирует. Все определяет режим увлажнения. Высокой продуктивностью отличаются насаждения логового и приручейного типов с проточным увлажнением. Основная же масса насаждений имеют невысокую продуктивность: древостой V

и Va классов бонитета с годичным приростом фитомассы 2,0–2,5 т/га, с запасами стволовой древесины 80–110 м³/га.

Местообитания с полугидроморфным увлажнением широко распространены на пространствах бореальной зоны. На их долю в лесном фонде разных таежных районов России приходится от 25 до 50 %. Мало представлены ландшафты этого типа в подтайге, в полосе широколиственных лесов.

В ландшафтах гидроморфного типа увлажнение постоянно избыточное, чаще типично застойное. Уровень грунтовых вод здесь близок к поверхности или находится на ее уровне. Среди ландшафтов гидроморфного увлажнения в бореальной зоне 70–80 % площади составляют типичные сфагновые, травяно- и осоково-сфагновые переходного или верхового типа болота. На долю лесных площадей приходится 20–30 %. Преобладают сосновые, березово-сосновые или сосновые с березой и елью редколесья и ерники. Годичный прирост в лесных сообществах этого типа оценивается 0,08–0,20 т/га, запасы органического вещества – 20–40 т/га. Основную часть составляют массы мхов, трав и кустарников лесной подстилки.

Почвы избыточно увлажненные, болотные: торфянисто- и торфяно-глеевые переходные, торфяно-глеевые верховые, торфяные верховые (Серый, 2005). Факторами, определяющими лесорастительные условия местообитаний подобного типа, является избыток влаги насыщенной углекислотой, дефицит кислорода, высокое содержание продуктов полураспада органики.

Весьма специфичными являются другие, распространенные в российских лесах типы водных режимов почв: выпотной и мерзлотный.. *Выпотной режим* распространен в районах где сумма осадков не покрывает расхода биогеоценозами имеющейся влаги. Привлекается вода грунтовых вод. В результате интенсивного испарения происходит засоление почв. *Мерзлотный режим* характерен для районов с вековой мерзлотой. При оттаивании верхних слоев почвы весной образуется «надмерзлотная верховодка», водоупором для которой служит неоттаявший слой. В течение всей вегетации (весьма укороченной) весь слой оттаявшей почвы перенасыщен влагой. Понятно, что в условиях как выпотного, так и мерзлотного режимов почвенного увлажнения складываются специфические условия для лесной растительности. В том и другом случае в числе лесообразующих пород совершенно разные по биологии виды, в одном случае солеустойчивые в другом – неприхотливые холодоустойчивые, с коротким вегетационным периодом, выносящие подтопление.

Почвообразующие породы и лес

В числе факторов, определяющих свойства и распространение лесов нередко выступают химические свойства почвообразующих пород. И на этом направлении познания природы взаимоотношения лесной растительности с почвами много неизведанного. Известны многочисленные примеры отсутствия казалось бы элементарных закономерностей, в частности отсутствие связи продуктивности насаждений с обеспеченностью почв элементами питания. В литературе имеется много интересных свидетельств связи состава и продуктивности леса не с почвой а с подпочвой.

Во многих случаях на пространствах Европейской равнины ряд возрастных требовательности древесных пород к плодородию почвогрунтов в общих чертах согласуется с рядом увеличения светолюбия древесных пород. Хотя связь эта кажется хрестоматийной, обобщенно не вызывающей возражений, ряд исследователей (М.В. Вайчис, 1975; Л.О. Карпачевский, (1977), Е.С. Мигунова, 1993 и др.) обращают внимание на то, что обеспеченность почв элементами питания далеко не всегда характеризует продукционный потенциал местообитания. Оказывается все «путает» подпочва.

Е.С. Мигунова приводит большой пакет таких примеров по результатам специальных исследований во многих районах. Выявлено влияние на состав и продуктивность лесов Украинского Полесья лессовидных отложений, залегающими на разной глубине под почвами разных типов, в т.ч. — песчаных ледниковых. Наибольшая продуктивность сосново-дубовых древостоев здесь достигает $1000 \text{ м}^3/\text{га}$ в местообитаниях, где лессовые отложения залегают на глубине 80–120 см. При глубине залегания этого слоя 1,8–2,5 м господство в составе насаждений переходит к сосне и запас древостоев снижается до $400\text{--}500 \text{ м}^3/\text{га}$.

Н.П. Ремезов и П.С. Погребняк, (1965) при классификации лесорастительных условий Полесья пришли к выводу, что одной из причин нарушений поверхностно проявляющихся закономерностей в связях продуктивности насаждений с почвами, являются неоднородность экотопов (трофотопов) по почвенному химизму. В общей совокупности трофотопов при прочих равных, по мнению ученых, следует выделять две группы: ацидофильной и кальцифильной. Каждый тип леса в соответствующих ему местообитаниях может встречаться в природе в двух вариантах. Примером взяты сосняки ксерофильного типа (сухие боры и субори).

В одном случае они произрастают на глубоких кварцевых песках, на песчаниках, глинистых сланцах и на других кислых породах. В другом случае такие же сухие боры на известняках, мергелях, на перегнойно-карбонатных черноземовидных почвах, образующихся на этих породах. Такие же не очень корректные параллели авторы демонстрируют по дубравам. Знакомство с комментариями к представленным учеными примерами не выдерживают критики. Речь идет совершенно о разных типах лесорастительных условиях, о разных типах леса. Сходство породы эдификатора отнюдь не означает единообразия лесорастительных условий даже при некотором сходстве растений индикаторов в напочвенном покрове.

Благотворное влияние на состав и продуктивность лесов почвообразующей породы выявлено также в лесах Беловежской Пуши. Оказалось, что помимо богатства суглинистого слоя карбонатной морены подпочвы здесь сказалась подпитка корнеобитаемого слоя минерализованными грунтовыми водами. Насаждения широколиственных пород с преобладанием дуба тяготеют к местам с наиболее близким залеганием карбонатной суглинистой морены и с глубокими грунтовыми водами.

Еловые леса приурочены к участкам почв, подстилаемых богатыми суглинистыми отложениями при неглубоком положении грунтовых вод (влажный сугрудок). Елово-сосновые леса и чистые сосняки сопряжены с мощными толщами флювиогляциальных и аллювиальных песков. На землях Брянского лесного массива формированию продуктивных древостоев из широколиственных пород способствуют особенности миграции грунтовых вод: происходит подпитка почвенного профиля минерализованными водами.

В лесах Башкортостана (Хайретдинов, 2004) причиной богатого породного состава насаждений является специфика минерального состава почвообразующих пород, обуславливающая высокую продуктивность бурых лесных и дерновых почв. Образование этих почв с исключительным лесорастительным эффектом связано с поступлением относительно молодых продуктов выветривания пород южного Урала.

Е.С. Мигунова делает вывод: при оценке лесорастительного трофического потенциала недостаточно определять запасы элементов питания и степень благоприятности других режимов только в пределах почвенного слоя. Необходимо учитывать кроме среднего содержания элементов питания в почве также наличие слоев, высоко обеспеченных этими веществами на глубине.

При рассмотрении приуроченности главных лесообразующих пород к свойствам почв (механический состав и обеспеченность элементами питания) Б.Д. Зайцев, (1964) указывает на необходимость учитывать климатические условия, довольно сильно различающимися в пределах ареалов сосны, ели и дуба. Ученый отмечает, что кроме прочего распространение дуба на север прежде всего ограничивается недостатком тепла.

Интересные данные о связи распространения древесных пород-лесообразователей с подстилающими и почвообразующими породами на американском континенте, приводят С. Спурр и Б.Барнес, (1984). В Аппалачских и Озаркских горах почвы, образовавшиеся на песчаниках, несут древостой абсолютно иные, чем те, что растут на прилегающих местообитаниях с карбонатными почвами в первом случае образовались относительно крупнозернистая пористая почва, которая оказывается благоприятной для роста сосен. Во втором - порода при выветривании образует более мелкозернистую, более богатую и нейтральную почву, благоприятную для ореха грецкого, бука, ясеня, для можжевельника виргинского. Характер приуроченности древесных пород к материнским почвообразующим горным породам в Озаркских горах приведен в табл. 40. Существенно, что на тихоокеанском побережье имеет место совершенно другие соотношения древесных видов и типов почв.

Таблица 40. Сопряженность древесных пород с разным почвообразующим породами в порядке снижения тесноты связей

Кремнистый сланец	Известняк с поверхностным слоем почвы из кремнистого сланца	Известняк	Песчаник
Дуб красильный	Дуб северный красный	Можжевельник виргинский	Дуб красный
Дуб белый	Дуб белый	Дуб северный красный	Дуб белый
Кизил флоридский	Дуб красильный	Вяз крыловчато-корешковый	Нисса лесная
Кария белая	Эвкалипт ясеневидный	Дуб заостренный	Кизил флоридский
Нисса лесная	Вяз крыловчато-корешковый	Кария овальная	Каштан озаркский

Степень влияния подпочвы на древесную растительность неодинакова на разных ее глубинах. Разные горизонты почвогрунта во влиянии на лес находятся как бы на разных генетических стадиях. Глубокие слои горной породы (на глубине 5 и более м) практически не оказывают влияния

на лес. Чем ближе к дневной поверхности почвенный горизонт, тем теснее его связь с растительностью.

С почвенными условиями связаны территориальное размещение лесов. География классов формаций лесной растительности, структура формаций преобладающих пород многих районов тесно связаны с пространственной структурой почвенного покрова.

Рельеф – почва – лес

Процессы почвообразования и свойства уже сложившихся почв тесно связаны с рельефом. Элемент рельефа служит пространственным перераспределителем экологических факторов в ландшафте. Через неоднородность размещения участков в ландшафте (на склонах разной экспозиции, разных уклонов и высот над уровнем моря) происходит дифференциация местообитаний по комплексу важнейших факторов. Столетиями идет перераспределение механического состава почво-грунтов: вниз по склонам происходит вынос мелкозема. Чем легче частицы, чем круче склон, тем дальше они уносятся от участков водоразделов.

В связи перераспределением осадков в ландшафте, на разных элементах рельефа складываются достаточно определенные режимы почвенного увлажнения, образуются местообитания с разными типами влагооборота. Со временем в структуре ландшафта формируется определенное соотношение типов биогеохимических круговоротов (элювиального, элювиально-днелювиального, делювиального, делювиально-аллювиального, аллювиального, и аккумулятивного). Соответственно, складывается определенная структура типов насаждений и классов производительности древостоев.

Влагообеспеченность всегда будет выше на участках пониженных элементов рельефа, а наибольшие ее значения будут иметь место западинах и других отрицательных элементах. С рельефом будут связаны уровни грунтовых вод. Существует всеобщая закономерность: при согласной стратиграфии верхних пластов четвертичных отложений (в т.ч. почвообразующей породы) уровень грунтовых вод повышается с понижением рельефа, а самое глубокое его залегание будет иметь место на возвышенностях.

С рельефом связано перемещение и перемешивание в пространстве почвенных частиц (илистых, глинистых), изменение мощности и состава почвенной толщи формирование механического состава почв. Положительные элементы рельефа в силу законов гидрологии и гравитации харак-

теризуются более легким механическим составом: большим участием песчаных частиц и обломочного материала более крупных фракций (дресвы, щебня, валунов). На пониженных участках ландшафта будет иметь место более высокое участие в почве глинистых и илистых частиц.

Через рельеф происходит перераспределение суммарной солнечной радиации, реализуется неоднородность радиационного баланса участка. Немецкими ландшафтоведами (Бауэр, Вайничке, 1971) установлено что склоны южной экспозиции получают за сезон на 15–20 % тепла больше, чем обращенные на север. Хотя в условиях умеренного климата эта закономерность не будет столь выраженной, значение ее на пространствах Севера России будет не менее важной.

В связи со сказанным, рельеф можно рассматривать также своеобразным пространственным дифференциатором лесных биогеоценозов. С различиями в увлажнении, в условиях дренажа, с характером миграционных потоков, обусловленных свойствами рельефа, связаны гранулометрический, валовый и минералогический состав почв. Дифференциация местообитаний происходит также по химическим свойствам, по величинам и структуре привноса-выноса вещества и энергии, т.е. по их почвенно-биогеохимическим свойствам.

Зависимость свойств лесов от условий рельефа лучше всего иллюстрирует известная схема (рис. 80) распределения местообитаний сосновых лесов борового ряда П.С. Погребняка, (1955).

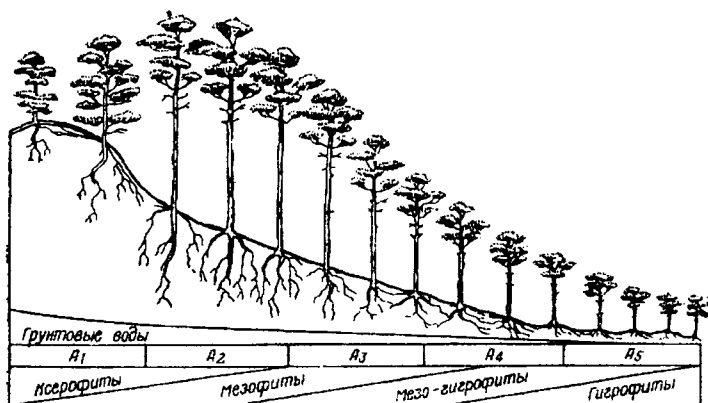


Рис. 80. Боровой ряд сосновых лесов при изменении почвенно-гидрологических условий (по П.С. Погребняку)

Приведенный на рис. пример Н.П. Ремезов и П.С. Погребняк, (1965) предлагают одновременно рассматривать еще как иллюстрацию временных изменений экотопов и связанных с рельефом свойств почв. Ряд изменений местообитаний и свойств леса на рис. представляет собой экологический ряд самых бедных песчаных почв. На типичном профиле подобного рода в любом регионе чаще всего доминирует сосна, иногда с примесью березы. На вершине холма сухой сосняк лишайниковый низких бонитетов. Далее располагается свежий бор (сосняк брусничный. С ним граничит сосняк черничный, который дальше по склону переходит в сосняк долгомошный. Долгомошник переходит в сосняк сфагновый. И замыкает ряд сосна по болоту.

Хорошей иллюстрацией связи продуктивности сосновых лесов с богатством почв, охарактеризованных показателями ведущих химических свойств служат данные С.В. Зонна (табл. 41). Почвы в рассматриваемом экологическом ряду сменяются последовательно от сухих боровых песков через песчаные подзолы и подзолистые песчаные, через глееподзолистые до торфяных глеевых. Подобные пространственные ряды насаждений и типов местообитаний по мнению ученых [Ремезов, Погребняк, 1965] логически повторяют геолого-исторические этапы развития лесных экосистем и их экотопов. В историческом аспекте образование лесных насаждений начиналось с заселения бедных ледниковых отложений песка сосной или березой. Под влиянием растительности первоначально прогрессировали подзолообразовательные процессы, которые в последующем сменились дерновыми. Последовательно происходит накопление в почвах органического вещества. Подтверждением таких суждений являются известные на территории европейской части России смены ландшафтов в голоцене.

Таблица 41. Зависимость производительности сосновых древостоев от содержания элементов питания в почве

Тип леса	Тип прегной	Гумус, %	Σобменных оснований мг/экв.	Насыщен- ность сос- нования- ми, %	Нитри- фика- ция	Класс бонитета
С. лишайнико- вый	грубый	1	2,3	10–20	нет	IV
С. черничный	грубый модер	1–2	3–4	20–30	есть	III
С липняковый	мягкий	2–3	5–10	50–60	есть	I
С. лещиновый	мягкий	3	5–10	60–70	есть	Ia
С. дубняковый	муль	3–4	10	70	есть	Ia

Традиционно по (Б.Б. Полинову, 1955) различают три главных типа биогеохимических ландшафтов: элювиальный, трансэлювиальный и аккумулятивный. В последнее время получила распространение классификация типов биогеохимического круговорота А.И. Перельмана, (1975), М.А. Глазовской, (1988), где в связи с условиями рельефа помимо основных выделяются переходные типы.

Местообитания автономных (элювиальных) типов ландшафтов формируются на водоразделах. Они характеризуются поступлением вещества и энергии только из атмосферы и космоса. Биологический круговорот здесь отчетливо замкнут, локализован. На верхних частях склонов (до 20°) образуются почвы с **транзитным** типом биогеохимического круговорота.

Для таких почв характерен наряду с обычным элювиальным процессом вынос вещества по склону и некоторый привнос с верхней части склона. Этот привнос часто нивелируется выносом вниз по склону. Частично вещество может дополнительно поступать из атмосферы. На пологих склонах и террасах развиваются почвы с **трансэлювиальным** (с переходным) типом круговорота. У подножий склонов, в замкнутых депрессиях образуются почвы, характеризующиеся **аккумулятивными** процессами. На переломных элементах рельефа, в нижних частях склонов характеризующихся проточным увлажнением и привносом илистых частиц формирование почв идет по аллювиальному типу. С учетом разнообразных переходных форм М.А. Глазовской предложено различать 6–7 типов геохимического ландшафта: **автономный** (элювиальный), **транзитный** (деллювиальный), **трасэлювиальный** (деллювиально-аллювиальный), **аллювиальный**, **аллювиально-аккумулятивный**, **аккумулятивный**.

Существуют и другие подходы к классификации биогеохимических круговоротов (П.С. Погребняк, В.А. Ковда, А.А. Молчанов, В.С. Шумаков, Л.Е. Родин и др., И.И. Смольянинов дают классификацию биологических круговоротов в лесу по их интенсивности и направленности. Он предлагает различать *консервативный* и *прогрессивный*, *непрерывный* и *прерывистый*, *активный* и *пассивный*, *интенсивный* и *заторможенный (застойный)* типы круговоротов. Предложения известного специалиста по лесным почвам, опытного полевика и аналитика представляются вполне оправданными.

За подобного рода идеями элементарные соображения логики: расчленение явления на составляющие (разумеется обоснованное, квалифицированное) упрощает восприятие явления, открывают возможность глубже взглянуть на природу отдельных процессов, разглядеть узловые мо-

менты. Представления о неоднозначности различных этапов и направлений в сложных циклах почвообразования и сложной интегрированности отдельных звеньев условиями среды на примере лесных почв Кольского полуострова показали В.В. Никонов, (1987), В.В. Никонов и Н.В. Лукина, (2003).

Биологический круговорот в лесных экосистемах предстает как сложный многосторонний процесс, определяющий практически все явления жизни лесных насаждений. Тип геохимического круговорота, присущий элементу рельефа, может быть использован как информативный указатель определенных почвенных свойств местообитания, как дифференциальный индикатор его ландшафтных особенностей. Необходимо учитывать, что показатели емкости или скорости круговорота веществ и энергии, присущие тому или иному типу геохимического ландшафта, могут существенно варьировать в зависимости от геологических свойств почвообразующих пород, механического состава, уровня влагообеспеченности, положения грунтовых вод их минерализованности и много другого. Поэтому при казалось бы одинаковых условиях рельефа и сходстве почвообразующих пород характеристики биологического круговорота оказываются разными.

Элементы рельефа в лесу могут иметь разную выраженность. При рассмотрении территорий в масштабах сотен тысяч гектаров есть необходимость учитывать различия на макроуровне (различия в положении участков, выражающиеся в сотнях метров). Это уровень, позволяющий различать лесорастительные провинции или округа. Выделяемые на макроуровне рельефа территориальные таксоны будут отличаться структурой типов растительности, географических классов формаций.

На уровне лесорастительных районов уже требуется учитывать различия в абсолютных отметках на мезоуровне – колебание высоты в десятках метров. С этим связаны различия в суммарной радиации, в структуре и годовой сумме осадков. Соответственно здесь будут проявляться различия в свойствах лесов на уровне отдельных лесных массивов, лесных дач. Прослеживаются различия в структуре типов леса, в свойствах одноименных БГЦ на склонах разной экспозиции.

В пределах конкретных лесных насаждений, лесных биогеоценозов проявляются различия в микрорельефе, оцениваемые десятными долями метра. С различиями в микрорельефе связана неоднородность лесовозобновительных процессов. Наибольшее практическое значение эти различия имеют в условиях вырубок.

Свойства почв и требовательность к ним леса

Одна из интересных особенностей почв – способность накапливать органическое вещество, в том числе трансформированном виде – в виде гумуса. Происходит это в результате жизнедеятельности растительности и активности всего комплекса биокосной системы лесного биогеоценоза. Лесное сообщество с активно функционирующей почвой замыкает процесс биологического круговорота на себя, способствуя накоплению органики, обеспечивая ценозу поддержание свойств элювиальности

Важнейшим показателем почвы является совокупность ее химических свойств. Комплексы соединений химических элементов и разнообразных процессов в почвах биогеоценозов образуют элементарную почвенно-химическую систему. Л.О. Карпачевский, (1977) называет эту систему «..генетическим кодом биогеоценозов...». Совокупность химических свойств почвы играет роль своеобразного регулятора функционирования БГЦ, который способствует восстановлению его после резких нарушений. Этот регулятор обеспечивает поступление в БГЦ необходимой информации, которая управляет идущими процессами в сообществе через каналы прямых и обратных связей.

Различают несколько типов поглотительной способности (способности твердой фазы почвы поглощать из почвенной суспензии и растворов различные вещества) механическую, физическую, физико-химическую (обменную), биологическую. Величину поглотительного комплекса измеряют мг.- экв. на 100 г почвы. Поглощающий комплекс в большой степени определяется содержанием илистых частиц (менее 0,001 мм) и содержанием перегноя. Эти показатели достаточно характерны для определенных разностей механического состава почв. Таким образом, количество катионов и анионов, удерживаемое почвой (поглощающий комплекс) будет характерным показателем для почв разного механического состава. Емкость поглощающего комплекса песчаных почв – 1–5 мг.-экв., супесчаных – 7–8, суглинистых – 7–17, глинистых – 15–30 мг.-экв. на 100 г почвы.

В зависимости от поглощенной суммы оснований и содержания обменного водорода, почвы бывают насыщенными и ненасыщенными основаниями. Не насыщенные, содержащие в поглощающем комплексе большое количество ионов водорода и алюминия, называют кислыми. В эту категорию входят подзолы, болотно-подзолистые, дерново-подзолистые и серые лесные почвы. Почвы, у которых сумма обменных оснований Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^{+} равны емкости поглощения, насыщенные основаниями. Обыч-

но это богатые почвы (черноземы, каштановые, сероземы. Химическая сторона поглощающей способности обеспечивает закрепление в почвах фосфора, серы.

Большое значение для плодородия почв имеет биологическая поглощательная способность, обусловленная избирательными свойствами растений. Закрепленные в форме органического вещества элементы питания поступают в почвы и накапливаются, повышая лесорастительный потенциал. Существенно, что биологическая поглощательная способность обеспечивает закрепление азота и других элементов питания в соотношениях, наиболее благоприятных для древесных растений (Зеликов, Колкоаева, 1973).

Характер «взаимоотношений» древесных пород и химических свойств почв измеряется двумя показателями, предложенными в свое время Г.Ф. Морозовым: потребностью химических элементов-биофилов и требовательностью к богатству (к содержанию элементов).

Потребность — это то количество элементов питания, которое биогеоценоз высшей продуктивности берет из почвы. Причем при недостатке элементов нарушается нормальное функционирование (рост и развитие) древостоя, проявляется снижение его жизненности. Оценивают потребность посредством листового анализа.

Древесные породы различаются способностью извлекать из почвы необходимые элементы питания. Одни породы могут извлекать только легко доступные соединения, или, обладая мелкой слабо развитой корневой системой, предъявляют повышенные требования к почвенным условиям местообитания. Другие породы способны извлекать необходимые им элементы из труднодоступных соединений, или, имея мощную корневую систему, используют (осваивают) большой объем почвы. Первые являются мало требовательными, вторые требовательными к почвенному плодородию.

По *требовательности* к богатству почвы среди лесообразующих пород различают группы: **олиготрофов** — неприхотливых к почвенному богатству (сосна, акация белая, береза лиственница); **мезотрофов** — среднетребовательных (осина, кедр, ель, ильмовые); **евтрофов** — требовательных (ясень, дуб, бук, ильмовые, липа, орех, пихта). Все древесные породы в таежных лесах по повышению потребности к содержанию в почвах минеральных элементов выстраиваются в достаточно последовательный ряд: сосна, береза повислая, береза пушистая, лиственница, кедровый стланник, ольха серая, кедр, ель, ольха черная, осина, пихта. В отдельных районах

совместных ареалов распространения пород в приведенных обобщенных рядах возможны некоторые частные отклонения.

Г.Ф. Морозову приписывают составление первых рядов потребности и требовательности насаждения разных формаций преобладающих пород. **Ряд увеличения потребности:** *акация белая, ильм, ясень, бук, дуб, ольха серая, береза, лиственница, сосна обыкновенная, сосна веймутова.* **Ряд возрастания требовательности:** *лиственница, сосна веймутова, осина, липа, ольха черная, дуб, граб, бук, клен, ясень, ильм.* Взаимоотношения древесных пород с ведущими элементами-биофилами почв по исследованиям немецких лесоводов приведены в табл. 42 (цитируется по М.Е. Ткаченко, 1952).

Таблица 42. Шкала потребности древесных пород в элементах питания (по Эбермайеру)

Древесные породы	Место, занимаемое по количеству извлекаемых элементов зольного питания			
	калия	фосфора	кальция	всей золы
Ясень	2	1	6	6
Клен остролистный	1	4	5	3
Ильм	4	5	1	1
Дуб	7	8	4	4
Бук	6	6	7	7
Граб	8	2	3	5
Пихта	5	7	11	9
Лиственница	9	9	9	10
Ель	10	10	8	8
Осина	3	3	2	2
Береза	3	3	2	2
Сосна	12	12	10	11

Шкала Эбермайера очевидно лучше всего отражает существующие закономерности, хотя бы по тому, что рассматриваются только три элемента и общая зола. Не исключено также, что все последующие публикации по этому вопросу, также и на российской почве составлялись с оглядкой на классика. Заметно отличаются от представленных далее рядов изменения потребностей и требовательностей к элементам питания данные, представленные Н.П. Ремезовым и П.С. Погребняком, (табл. 43), построенная на материалах южных районов широколиственных районов и лесостепи.

Таблица 43. Потребление азота и главных зольных элементов одним деревом в зависимости от возраста, г/год

Порода	Возраст лет	N	Ca	Mg	K	P	S
Сосна, I бонитет	14	4,4	2,7	0,6	2,1	0,5	0,4
	32	12,3	11,5	2,2	5,1	1,6	1,6
	45	38,6	24,5	5,2	13,4	3,5	6,1
	71	31,0	26,3	3,8	11,0	3,1	4,1
	93	23,0	16,5	4,4	8,3	2,3	3,8
Ель бонитет II	24	1,2	1,1	0,2	0,6	0,2	0,2
	38	9,9	9,2	1,6	6,6	2,1	1,6
	60	16,4	13,8	2,6	8,6	2,7	2,9
	72	17,6	17,3	2,5	8,5	2,8	3,6
	93	22,5	21,3	2,6	8,0	3,2	4,7
Дуб I бонитет	12	3,0	6,0	0,6	2,0	1,0	1,0
	25	38,0	51,0	6,0	2,0	4,0	4,0
	48	94,0	143,0	18,0	41,0	16,0	12,0
	93	102,0	169,0	21,0	41,0	22,0	14,0
	130	345,0	498,0	4,0	128,0	48,0	39,0
Осина бонитет I	10	8,0	14,0	2,0	7,0	1,0	1,0
	25	32,0	49,0	5,0	25,0	3,0	4,0
	30	46,0	69,0	6,0	34,0	5,0	6,0
	50	131,0	192,0	11,0	120,0	14,0	11,0
Береза, I бонитет	10	25,0	14,3	—	15,8	3,0	2,8
	25	76,0	61,5	—	41,5	10,5	8,8
	37	69,0	55,8	—	39,8	10,9	5,2
	62	55,0	73,6	—	42,3	13,5	7,2

Можно по-разному относиться к подобным попыткам ординации биологических видов по их отношению к условиям почвенного плодородия, оцениваемого обеспеченностью почв элементами питания и по способностям осваивать разные местообитания. Необходимо принимать во внимание огромные ареалы распространения биологических видов с достаточно разнообразными условиями обитания, имеющими длительный путь эволюции.

Нельзя не учитывать естественную изменчивость оцениваемых экологических свойств древесных пород с изменением их возраста. Невозможно игнорировать тот факт, что рассматриваемое весьма специфическое свойство требовательности древесных пород к почвам всегда реализуется на фоне проявления многих других экологических факторов (в разных их сочетаниях), как учитываемых, так и не учитываемых, в т. ч. не доступных для оценки....».

Весьма наглядную связь продуктивности насаждений с запасами в почвах питательных веществ демонстрирует на примере сосняков Литвы М. Вайчис, (1965; рис. 81). В рассматриваемой группе типов леса (сосняки брусничные, бруснично-черничные и кисличные) наиболее выраженной

оказывается связь класса бонитета с количеством гидролизуемого азота, и с содержанием K_2O . Несколько ниже теснота связи с общим азотом и общим гумусом.

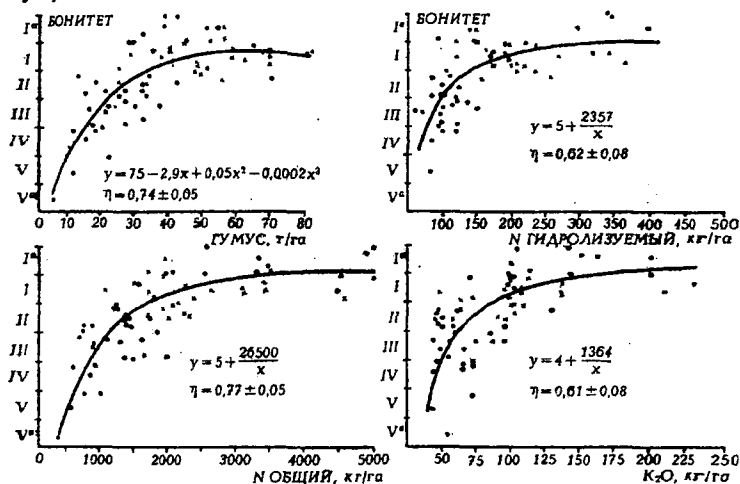


Рис. 81. Зависимость класса бонитета сосновых древостоев от запасов питательных веществ в 30 см слое почвы (о – почвы с брусничных; х – бруснично-черничных; о – с кисличных (по М. Вайчису, 1965)

Многие лесоводы-почвоведы не разделяют выявленных закономерных связей богатств почв с продуктивностью древостоев. В свое время М.Е. Ткаченко, (1952) указывал, что во-первых, некоторые зольные элементы потребляются древесными породами в избытке. Во-вторых, часто нет прямой зависимости между валовым содержанием элементов в почве и их накоплением древесными растениями. В-третьих, произрастающие на разных материнских породах одинаковые древесные породы извлекают и одинаковое количество элементов питания.

С учетом всего сказанного, выстраиваемые ряды древесных пород по потребности и требовательности к почвам предлагается рассматривать как пример чисто умозрительных, глубоко затеоризированных суждений, которые можно расценивать на уровне фундаментальных (теоретических) экологических ниш видов оцениваемых пород. Такими же теоретическими должны восприниматься построенные в порядке компиляции на материалах обзора литературы ряды древесных пород таежной зоны России. Ряд **повышения потребности:** сосна, лиственница, береза повислая, береза пушистая, ель, осина, кедр, пихта, ольха черная; ряд **повышения требовательности:** сосна, береза пушистая, береза повислая, лиственница, ель, кедр, пихта, осина, ольха черная.

При всей неравнозначности суждений по рассматриваемому вопросу, приходится согласиться с тезисом корифея лесоводства Н.С. Нестерова «...Поскольку с почвенными условиями связаны условия роста и развития леса, почва в значительной мере определяет продуктивность насаждений, как качественную, так и количественную ее стороны».

Как известно, освобождающиеся в результате минерализации мортмассы элементы питания вновь поступают в круговорот (опад – лесная подстилка – почва – растительность). В итоге имеющееся в экосистемах количество элементов в богатых элементами питания местообитаниях совершая круговорот увеличивают емкость круговорота. При этом растет продуктивность насаждений. Напротив, на бедных сухих, холодных или переувлажненных с дефицитом кислорода почвах формируются бедные растительные группировки.

Продукция и опад здесь составляют незначительные величины. Зольность поступающей к редуцентам мертвой органики здесь низкая. Биологическая активность в почвах тесно связана с содержанием гумуса, точнее с соотношением в нем гуминовых и фульвокислот и их солей (рис. 82).

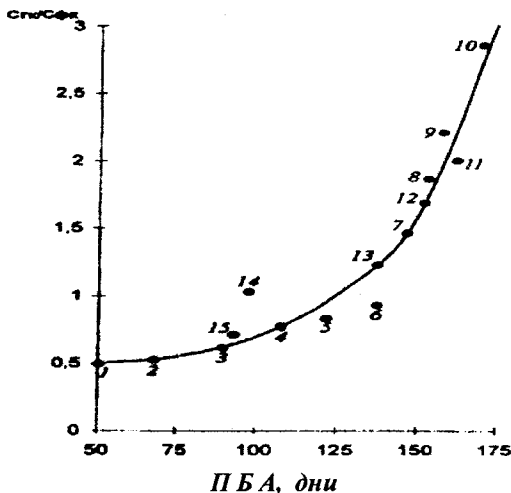


Рис. 82. Связь между типом гумуса и биологической активностью почвы: 1–15 типы почв: 1 – тундровые; 2 – слабоподзолистые; 3 – подзолы; 4 – дерново-подзолистые; 5 – светло-серые; 6 – серые лесные; 7 – темно-серые; 8 – черноземы выщелоченные; 9 – черноземы типичные; 10 – черноземы обыкновенные; 11 – черноземы южные; 12 – темно-каштановые; 13 – каштановые; 14 – светло-каштановые; 15 – бурые полупустынные (по Крамеру, Козловскому, 1963)

На рис. 79 по *a* оси ординат – соотношение между гуминовыми и фульвокислотами, на оси абсцисс – продолжительность периода с проявлением биологической активности. С последней связано развитие всех биологических процессов, в том числе и процессов минерализации опада. Почвы холодные и переувлажненные способствуют накоплению плохо минерализующейся лесной подстилки.

Процесс малого биологического круговорота по мнению почвоведов (Ремезов, 1956), включает три ветви:

1) газообмен между листовой поверхностью растений и атмосферным воздухом;

2) поглощение листовой поверхностью растений углерода из атмосферного воздуха, а корневыми системами – из почвы азота, зольных элементов и воды, закрепление их в растительном организме, последующее поступление в почву после отмирания растений или их частей, разложение и освобождение заключенных в них элементов;

3) прижизненные выделения корневыми системами некоторых элементов непосредственно в почву, поступление органического вещества и элементов питания за счет отмирания корней и корневых волосков. Первая ветвь, как известно, является предметом исследования физиологических наук, вторая и третья – прерогатива почвоведения.

Важное значение для лесоводства имеет систематизация земель по их лесорастительному эффекту. Результаты такой систематизации на основе однородности почвенных условий позволяют осуществлять районирование лесных территорий. На лесных территориях выделяются почвенные области, провинции, округа, районы. Примером такого районирования может служить «Почвенная карта....., 1997», разработанная Институтом Географии РАН под руководством академика Добровольского. Примечательно что таксоны почвенного районирования хорошо согласуются с геоботаническим районированием.

При дифференциации почвенных провинций и округов по лесорастительным условиям принято выделять типы местообитаний или типы лесорастительных условий. Тип местообитания (по О.Г. Чертову, 1981) характеризуется типом генезиса (геологического происхождения) почвы, сложившейся окислительно-восстановительной средой, закономерностями привноса-выноса и накопления минеральных элементов-биофилов по почвенному профилю. Тип местообитания характеризуется преобладанием определенного типа биогеохимического круговорота.

На пространствах Русской Равнины, в пределах Двинско-Мезенской провинции разными исследователями описано более 30 типов местообитаний. В ряде случаев типы местообитаний в пределах территорий с более-менее однородным климатом группируются в укрупненные совокупности по условиям увлажненности. Выделяют местообитания автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные. Далее (в пределах групп увлажненности) почвы группируются по выраженности оподзоливания, одернения, заболачивания, оглеения, т.е. указываются типы почвообразования: подзолистый, дерново-глеевый, болотно-подзолистый, низинный, болотный верховой.

Сложная биологическая (биокозная) система «почва-лес-почва» является динамическим образованием. Она постоянно функционирует в режиме биологического круговорота, подчиняясь общим природным закономерностям, в том числе нескольким видам ритмики. Четко проявляется тесная взаимосвязь протекающих в почвенном покрове процессов с климатическими факторами. С определенного уровня развития лес начинает оказывать существенное влияние на почвенный покров.

По целому ряду экологических параметров почва представляет собой своеобразную промежуточную субстанцию между водной и наземной воздушной средами. С водной средой почву сближает ее температурный режим, пониженное содержание кислорода, насыщенность воздуха водяными парами и наличие воды в других формах. С воздушной средой почву сближает наличие в порах воздуха, высокий риск иссушения в верхних горизонтах, довольно резкое колебание температуры у поверхности.

При рассмотрении связи распространения и свойств лесов с почвенно-геологическими условиями в бореальной зоне, например, остаются дискуссионными ряд принципиально важных вопросов. Прежде всего, не поддается логическому объяснению способность лесной растительности заселять совершенно непригодные с позиций теоретического растениеводства грунты, не содержащие даже минимально необходимых количеств элементов питания: отвалы горных пород, порой высокотоксичных или совершенно лишенных органики эродированных моренных гряд в Субарктике.

Нередки образования сравнительно благополучных сосновых насаждений при произвольном поселении этой породы на перемытых кварцевых песках конечной морены, где 97–98 % валового состава (по данным геологов) составляет чистый кремнезем (SiO_2). Поражает достаточно успешное произрастание лесных насаждений разных пород на отвалах переработанных промышленностью пород, порой к тому же загрязненных, токсичных.

Все это наводит на мысль о том, что многое в балансовых представлениях о связи жизни растений и обеспеченностью почв элементами питания еще не познано человеком..

Ј. Wermann (цитируется по С.П. Кошелькову, 1967) приводит по обобщенным данным значения крайних концентраций элементов питания в почвах Германии для лесной растительности (табл. 44). Отечественные источники отличаются от приведенных в табл. 44 главным образом более низким значением азота. По остальным элементам почвы автоморфных ландшафтов южной и средней тайги в европейской части России можно считать обеспеченными.

Таблица 44. Концентрации элементов питания в хвое сосны по литературным данным, % от абс. сухого вещества

Снабжение элементами питания	N	P	K	Ca	Mg
Недостаточное	0,7–1,6	0,06–0,10	0,30–0,45	0,05	0,05–0,09
Достаточное высшая продуктивность древостоев	1,8–3,2	0,20–0,30	0,55–0,90	0,05–0,24	0,06–0,13

Большое значение для продуктивности древостоев имеет возможность использования корневыми системами разной толщи почво-грунта. Прямой зависимости продуктивности сосновых древостоев в Ярославской области от содержания в почвах азота и фосфорной кислоты по данным С.П. Кошелькова, не прослеживается. По сведениям А.Я. Орлова (цитируется по С.П. Кошелькову, 1967), в сосняках черничных на Шексне 99 % сосущих корней сосны располагаются в слое 50 см., в сосняке долгомошном – в тоще 0–20 см. Оказалось, что в корнеобитаемом слое сосняка черничника запасы обменного аммиачного азота в 4–5 раз, а подвижной фосфорной кислоты – в 12–14 раз больше, чем в почве сосняка долгомошника.

Однако эти данные ничего не говорят о том, в какой мере сосняки здесь нуждаются в улучшении питания. По мнению ученого, ответ могут дать только обстоятельные листовые анализы. Современные исследования, увы не подтверждают этого положения.

Остается по-видимому непознанной удивительная и специфическая способность растительности оказывать на грунт особое мелиорирующее воздействие (Бяллович, 1970). Сущность подобной преобразовательной

мелиорирующей способности ученый объясняет как проявление «... закономерных изменений растительностью геофизического и геохимического режимов биогеоценозов, биогеосферы в целом, а также вызываемых этими изменениями перестроек всех остальных компонентов биогеоценоза». Эта способность проявляется во множестве частных сочетаний элементарных геофизических, геохимических преобразований (специфические фитогенные поля, фитогенное выветривание, особые формы гумусообразования и др.).

Как и многие другие средообразующие функции, фитомелиорирующая роль лесной растительности проявляется через продукционную ее роль. А.А. Бялович указывает, что некоторые мелиорирующие функции растительности возникают в самом процессе продуцирования, ассимиляции и образования нового живого вещества (поглощение и выделение различных веществ, изменение с ростом растений геофизических конструкций фитоценоза, возбуждающих преобразовательные функции).

Всегда ли гумусированность почв, также как высокая обеспеченность их подвижными формами элементов-биофилов (N, P, K, Ca), является залогом продуктивности произрастающих на таких почвах лесов. Е.С. Мигунова приводит высказывание Либиха, поддержанное позднее Костычевым о том, что *гумус является не столько причиной, сколько следствием высокого плодородия местообитаний*. То есть оценка плодородия почв, прежде всего лесных, не является надежным критерием лесорастительных свойств земель.

Сомнительной остается точка зрения на подзолообразование, свойственное таежным лесам, как на процесс деградации лесных экосистем, ухудшения лесорастительного потенциала почво-грунтов, происходящее под влиянием растительности. Несомненно, права Е.С. Мигунова, отмечая, что если бы это было истиной, то давно бы исчезли с лица земли таежные леса. Действительно, есть много достоверных свидетельств того, что если и происходит ухудшение продукционного потенциала экосистем тайги со временем, то только не по причине деградации почв, не через развития подзолообразовательного процесса.

Исследования в области связей между свойствами почв и лесом по-видимому должны развиваться в направлении выявления истинных причин выраженной олиготрофности лесной растительности, выявления роли в питании растений микоризы, другой специфики эколого-эдафической сущности функционирования древесных пород. Безусловно требуется углубленное изучение сущности подзолообразовательного процесса. Не случайно, оказываясь бессильными объяснить успешное произрастание наса-

ждений на «злостных» подзолах, экологи-почвоведы ищут параллели между подзолообразованием и дерновым процессом.

Итак, при всем многообразии ситуаций, при самых разных сочетаниях и комбинациях показателей эдафического блока экологических факторов остается справедливой истина: почвы богатые элементами питания, хорошо увлажненные, аэрированные, с хорошей теплообеспеченностью несут богатую растительность, насыщены разнообразием фауны и микроорганизмов. В таких почвах процессы водно-минерального и энергетического обмена между всеми средами и компонентами системы идут значительно интенсивней. На таких почвах идет энергичное образование фитомассы, откладывается большая масса органического опада, идет активная переработка подстилки в простейшие вещества (идет минерализация мертвой органики).

Напротив, на бедных сухих, холодных или переувлажненных с дефицитом кислорода почвах формируются бедные растительные группировки. Продукция и опад здесь составляют незначительные величины. Зольность поступающей к редуцентам мертвой органики здесь низкая. Характеристика основных типов местообитаний на Европейском Северо-Западе России дана О.Г. Чертовым (табл. 45).

Таблица 45. Типы местообитаний, почвы и формации преобладающих пород в коренных лесах Двинско-Мезенской почвенной провинции (по О.Г. Чертову, 1981)

Тип местообитаний	Почва	Ф
I. Пески флювиогляциальные сильно дренированных равнин и склонов	1. Малогумусовые поверхностно-подзолистые 2. Сухие грубогумусовые поверхностно-подзолистые	Сосняки, лиственничники - + - + -
II Пески моренные сильно дренированных равнин и склонов	3. Грубогумусовые поверхностно-подзолистые	- + - + -
III. Пески флювиогляциальные дренированных равнин и склонов	1. Сухие грубо гумусовые поверхностно-подзолистые	Сосна Сосна, ель
IV. Пески моренные дренированных равнин и склонов	1. Грубогумусовые подзолы 2. Модерно-гумусовые подзолы	- + - + - Сосна, ель, лиственница
V. Супеси флювиогляциальные дренированных равнин	1. Грубогумусовые слабоподзолистые	Сосна, ель

Тип местообитаний	Почва	Ф
VI. Супеси моренные дрейерованных равнин	Модергумусовые скрыто подзолистые	Ель, сосна
VII Супеси на карбонатной морене	Грубогумусные слабоподзолистые	Лиственница, ель
VIII. Двучленные флювиогляциальные наносы	1. Малогумусовые карбонатные слабоподзолистые 2. Подзолы, железистые сильно, средне и слабоподзолистые	Ель, сосна Сосна, ель
IX. Аккумулятивные низменные и плоскостные слабо дрейерованные равнины водоразделов западины	1. Торфянистые контактно-глеевые подзолистые на супесях и глинах 2. Торфяные и торфянистые оглеенные болотно-подзолистые	Сосна, береза - “ - “ Ель, сосна
X. Лоймы, нижние части склонов с проточным увлажнением	Аллювиальные дерново-перегнойные	Ель, сосна, пихта

Г.Ф. Морозову приписывают афоризм «Лес находится под влиянием климата и под властью земли». Возможно для территорий с более благоприятным комплексом условий для леса (пространства средних широт Русской равнины) этот тезис о доминирующем значении почвенных условий будет вполне справедливым.

Для огромных же пространств северной тайги, притундровых лесов, для территорий с многолетней мерзлотой, где возвращение лесов остается единственным оправданным с позиций «экономики природы и здравого смысла» использованием земель на первое место все-таки выходит климат и важнейший его фактор тепло. Приходится только удивляться способности древесной растительности тайги, лесотундры находить возможности вполне успешно (по меркам Севера) продуцировать и самовозобновляться в настоящему жестких, очень далеких от оптимума условиям произрастания.

Ландшафтно-экологический анализ лесных земель Кольской лесорастительной области (Цветков, 2000) позволил разработать матрицу ординации лесорастительных условий, в т. ч. почв лесной зоны этого специфического региона (табл. 46). По соотношению геоморфологических условий, преобладания в геологическом базисе почвообразующих пород, господствующих режимов увлажнения, направлений, интенсивности и емкости миграции химических элементов определяемых условиями рельефа и

Таблица 46. Матрица ординации факторов условий произрастания (Кольская северотаежная провинция)

Местоположение Геология Геоморфология	Плато кристаллические породы		Возвышенности водоразделы озы камы зандлы		Склоны склоны террасы песчано-валунное морена		Седловины троги поймы супесчаная морена валунная		Долины валунное поле		Депрессии западины торф	
Почвообразую- щая порода	плато рухляк	Завалуненные пески и отсортированные пески		супеси валунные пески, галечники		супеки		суглинки		глины		торф
Тип влаго- обеспеченности	Автоморфный сухой (А)			Автоморфный свежий (В)				Полугидроморфный (С)				Гидроморфный (D)
Режим Увлажнения	периодичес- ки сухой I	устойчиво сухой II	дренирован- ный I	слабо дренирован- ный II		проточный I		периодически застойный II		застойный I		
Тип биогеохи- мического кру- говорота	делювиальный- 											

химическими свойствами почвообразующих пород и в привязке к эдификаторам формаций преобладающих пород, на лесных землях Кольской лесорастительной области выделено 15 разновидностей почв. Диапазон изменчивости их охватывает переходы от примитивных подзолов на каменистом рухляке, от типичных болотных торфяных верховых разностей до дерново-подзолистых на двучленных наносах и до по настоящему перегнойных аллювиальных почв, свойственных фрагментарно представленным местообитаниям приручейных, логовых и папоротниковых типов.

Таким образом, разнообразие почвенных условий в большой мере характеризуют и разнообразие биоты, которая в свою очередь также зависит от продукционного потенциала почвы. Свойства почв можно рассматривать как один из ведущих показателей географического распространения лесов на планете.

Лесорастительный потенциал почв определяется во многом ведущими их физическими, физико-химическими и биохимическими свойствам, сформировавшимися в процессе эволюции биосферы, в т.ч. в процессе развития растительного мира планеты. Среди химических свойств первостепенное значение имеют: свойства почвенного поглощающего комплекса, степень насыщенности основаниями, реакция среды, состав катионов и анионов, степень насыщенности основаниями.

10. ЛЕС И ПОЧВА

«... Лес находится под влиянием климата
и под властью почвы...»

Г. Ф. Морозов

«... Познанную часть природы уподобляют
кругу: чем шире круг, тем больше
граница соприкосновения с неизвестным:
при решении одного вопроса встают
десятки новых...».

В. Варламов «Рожденные звездами»

Особенности лесных почв

Лесная растительность эволюционно связанная со своим базисом - почвой, с определенного момента в своем развитии и освоении местообитания, начинает оказывать преобразующее воздействие на нее. Среодоизменяющее влияние растительности постепенно усиливается и все отчетливей претендует на роль определяющего фактора, на роль эдификатора трофотопов лесного биогеоценоза, Свойства лесных почв все явственней претендуют на роль важнейшего видообразующего признака. Влияние леса на почвенные условия отмечал еще В.М. Ломоносов, заметив, что в хвойных лесах, в сосняках и ельниках почвы бедны перегноем, а в березняках и в лесах других лиственных пород почва имеют черную окраску от образующегося в ней перегноя. Примеров разнообразия насаждений в связи с различиями почвенных условий предостаточно в любом регионе.

Рассматривая почву, как элемент лесной экосистемы, ее свойства целесообразно оценивать в двух аспектах. Первый составляет относительно консервативные ее свойства, обусловленные геологической стороной генезиса. Эти свойства хотя и различны в разных регионах, в разных ландшафтах, в каждом индивидуальном случае во времени изменяются мало, отражая исходные условия формирования. Это основные физические и химические свойства почвенной массы, такие, как плотность (объемный вес), пористость влагоемкость и влагопроводность, гранулометрический состав, содержание гумуса и азота и др. Второй аспект – достаточно изменчивые во времени характеристики почвенного профиля, оказывающие непосредственное влияние на живые организмы. Этими свойствами, формирующимися под контролем структуры и свойств сложившейся экосистемы, явля-

ются температурный режим, режим увлажнения, водный потенциал, аэрированность, концентрация кислорода и углекислоты, концентрации доступных элементов-биофилов.

Широко известно большое разнообразие почв на землях, занятых лесной растительностью, вполне сопоставимое с многообразием проявления структуры лесных фитоценозов, их породного состава, производительности и средообразующих свойств. Очевидно, что во многом это разнообразие - следствие разного трансформирующего воздействия на исходную почву различающихся по географически обусловленной структуре и топологическим условиям лесных сообществ. Все это дает основание считать, что лес выступает одним из активных участников почвообразовательного процесса на планете.

Влияние леса на почву весьма разнообразно, многопланово и поэтому в должно рассматриваться под разным углом зрения, с учетом конкретных условий (климат почвообразующая порода, рельеф, характер лесного сообщества и др.). Не случайно мнения о взаимоотношениях леса с занятой им почвой в литературе достаточно неоднозначны и даже противоречивы. Весьма существенно, что остаются убедительно подтвержденными связи производительности лесных насаждений с содержанием в почвах минеральных элементов, с формальным представлением об уровне плодородия почв. И дело здесь не только в том, что на связь свойств леса и с почвами (в свете оценки обеспеченности элементами питания) оказывают влияние и другие абиотические факторы: тепловые условия, условия увлажнения и др. Буквально обескураживающими с позиций традиционного понимания выглядят примеры достаточно успешного произрастания леса на совершенно бесплодных грунтах (на перемытых, практически, стерильных кварцевых песках, на загрязненных отвалах шламов, на «хвостах» обогатительных фабрик горнообогатительных производств и т.п.).

В литературе много сведений об интенсивном «изнашивании» почв лесной растительностью. Но не меньше свидетельств обратного свойства – примеров благотворного ее воздействия на почву. Широко известны в литературе также свидетельства того, что лесная растительность может как способствовать повышению продукционного потенциала почв, способствовать прогрессу почвообразовательного процесса, так и приводить почвы к упадку.

Воздействие леса на почву в значительной мере осуществляются через корневые системы. На это обстоятельство следует обратить особое внимание. Корни древесных пород и сопутствующей растительности по-

глощают из почвы влагу и элементы питания, а потом переносят их в наземную часть лесных биогеоценозов. Известно также, что корни являются не просто механизмами откачивания воды и зольных элементов, но и способны синтезировать органические вещества в результате как притока в корни углеводов, синтезированных в листьях, так и непосредственно из углерода бикарбонатов почвы.

Но как было установлено, наличного количества бикарбонатов часто бывает недостаточно, чтобы активно синтезировать органические соединения в корнях. Нужно учитывать, что образующиеся здесь углеводы еще расходуются на дыхание корней. Поэтому успешное развитие корневых систем может осуществляться только при благоприятных условиях для синтеза углеводов листовым аппаратом дерева. То есть имеет место двусторонняя взаимозависимость между деятельностью корневых систем и ассимиляционного аппарата. Недостаточная интенсивность фотосинтеза приводит к сдерживанию роста корневых систем, отставание в развитии корневых систем - тормозит фотосинтез.

При всем разнообразии мнений о взаимоотношениях лесной растительности и почв, нельзя не признать, что в лесных ландшафтах почвообразование приобретает свои специфические черты. Характерным свойством почв, длительное время занятых лесом, является та или иная их оподзоленность. Наличие подзолистого горизонта в почвах обезлесенных участков рассматривается как однозначный признак существования здесь леса.

Под влиянием лесной растительности в почвах складывается свой специфический режим увлажнения. В лесах бореальной зоны представлены почвы преимущественно автоморфного и полугидроморфного типов увлажнения. Достаточно широко также распространен гидроморфный тип почв, с постоянным избыточным увлажнением. По Г.Н. Высоцкому первые характеризуются режимом промывного типа. Для полугидроморфных почв характерны полупромывной и непромывной режимы, в условиях Севера со своеобразным мерзлотным «акцентом» (Манаков, 1968). В.Н. Димо, (1968) при классификации теплового режима почв СССР, выделяет четыре основных типа: мерзлотный (А), длительно сезонно-промерзающий (Б), сезоннопромерзающий (В) и непромерзающий (Г).

Каждый тип почв, представляя на лесных землях достаточно определенные типы лесных биогеоценозов, характеризуется своим специфическими особенностями водного и теплового режима (рис. 83).

Еще с времен В.В. Докучаева, П.А. Костычева, Н.М. Сибирцева считалось, что подзолистые почвы формировались при участии лесной расти-

тельности и перегнойных кислот. Процесс оподзоливания рассматривается и ныне как процесс обогащения горизонта, располагающегося под органическим слоем, кремнеземом и обеднение его Ca, Mg, Fe и Al.

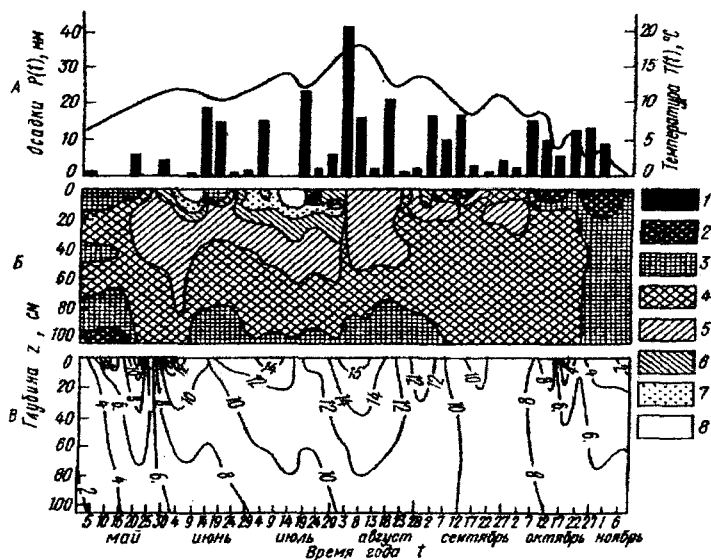


Рис. 83. Изображение водного режима почвы промывного типа посредством построения изолиний поля потенциала почвенной влаги на фоне динамики температур и осадков А- температура воздуха и осадки; Б - изолинии функций влажности Ш (атм): 1 - более -0,2; 2 - от -0,2 до -0,3; 3 - от -0,3 до -0,4; 4 - от -0,4 до -0,5; 5 - от -0,5 до -0,6; 6 - от -0,6 до -0,7; 7 - от -0,7 до -0,8; 8 - более 0,8. В - изолинии температуры почвы (по Федорову и Гильманову, 1980).

Большинством лесных почвоведов принято считать, что подзолообразование характеризуется следующими закономерностями: а) обязательное присутствие лесной растительности; б) кислотность среды, обусловленная присутствием неустойчивых органических кислот; в) малая подвижность гуминовых кислот в кислой среде; г) почва представляет собой фильтр, задерживающий коллоидные частицы и гидратов окислов Fe и Al; д) атмосферные воды выносят вниз по профилю щелочные и щелочно-земельные основания. Одновременно идет замена выносимых оснований ионом водорода (H^+).

Известно, что подзолистые почвы возникают в хвойных лесах, опад и лесная подстилка которых богата трудно разлагающимися веществами (лигнином). Подзолистым почвам присущ промывной тип увлажнения и большой диапазон температур почв. На пространствах высокой представленности подзолистых почв в июле температуры горизонта A_2 изменяются от $+10$ до -18°C ; среднегодовые температуры воздуха колеблются от -12 до $+9^\circ\text{C}$, суммы осадком – от 200 до 1000 мм.

Подзолообразование выражается образованием и частичным накоплением подвижного фульватного и гуматно-фульватного гумуса, выносом солей и карбонатов за пределы почвенного профиля. (Спурр и Барнес, 1984).

Подзолообразование – неизбежный процесс формирования почвы в условиях тайги. Однако однозначные доказательства того, что подзолообразование замедляет рост древесной растительности отсутствуют. Есть свидетельства, что этот процесс способствует влагоудержанию почвы и формированию комплекса питательных веществ в горизонте В.

Интересная точка зрения на проблему подзолообразования предлагается Е.А. Дмитриевым с коллегами, (1980). При рассмотрении функциональной организации профилей дерно-подзолистых почв ученые констатируют, что для этого типа почв характерны как процессы оподзоливания («кислотного разложения»), так и «одернения». Анализ свойств дерново-подзолистых почв показывает на отсутствие непрерывного, направленного развития их почвенного профиля. Дифференцированная элювиально-иллювиальная толща все время в определенной степени перемешивается, и на более-менее гомогенизированном субстрате идет процесс новой стадии дифференциации профиля.

Своеобразным косвенным свидетельством влияния структуры насаждений на почву лесных местообитаний, не могут служить материалы сопоставления двух насаждений – подмосковных дубрав (Дылис и др., 1975). На участке одного насаждения 20 лет назад была произведена подсадка ели, что спровоцировало развитие процесса оподзоливания почвы. В момент обследования объекты отличались присутствием на одном из них яруса густого крупного подроста ели. Эдификатором в обоих случаях оставался дуб. Почвенные условия при закладке эксперимента по всем показателям были близкими.

Вселение ели существенным образом изменило ситуацию. Произошло сокращение поступления к подстилающей поверхности солнечной радиации. Полностью сомкнувшийся ярус ели сделал биогеоценоз закрытым

для проникновения травяно-кустарниковых растений опушек. Масса тонких корней в дубраве с елью почти в два раза превышала таковую в чистой дубраве. Вся прибавка произошла за счет ели. Изменились мощность и плотность лесной подстилки. На участке с елью мощность ее значительно больше: 10,88 против 2,9 т. Основную массу на экспериментальном участке составляла разложившаяся и перетертая хвоя ели. Роль опада дуба оказалась отодвинутой на второй план. Можно предполагать, что в присутствии ели изменился режим увлажнения и теплообеспеченности.

Глубокая перестройка радиационных условий и условий увлажнения, изменения в структуре корневых систем, изменения в опаде и в подстилке повлекли за собой заметные сдвиги в физико-химических свойствах почвы. Отмечено сокращение мощности даже местами исчезновение горизонта A_1 и возросла мощность горизонта A_1A_2 .

Горизонт A_2 получил сплошное распространение, опустились верхние и нижние границы горизонта A_2B , В присутствии ели произошло усиление оподзоленности, о существу почва преобразовалась из средне дерново-слабоподзолистой в исходной дубраве в слабодерново-среднеподзолистую, Увеличилось содержание гумуса (преимущественно за счет фульвокислот) в горизонтах A_1 и A_1A_2 .

Изменения в свойствах лесной подстилки и почвы повлекло за собой изменение в животном мире почв. Произошло снижение численности дождевых червей (в 3,7 раза), жукелиц (в 3,5 раза), пауков (в 2,5 раза) Под влиянием ели произошло обеднение состава простейших. Общий сдвиг в фауне почв произошел в сторону хвойного леса. Полностью исчез вид *Anaghorus laricis*, обычно постоянно широко представленный в дубравах. Произошли и другие существенные изменения в т.ч. в микрофлоре почв, отчетливо свидетельствующие о начале «оеловения» почвы.

Исследователи отмечают незначительность изменений в механическом составе почвы, которые более заметны лишь в верхних ее горизонтах.

Вторым характерным явлением почвообразования бореальной лесной зоны является оглеение – процесс, обусловленный явлением восстановления окиси железа, превращением ее в соединения закисей и последующим выщелачиванием. Определяющую роль играют анаэробные микроорганизмы (бактерии), разлагающие органические вещества в условиях слабого доступа кислорода. Подвижные закисные соединения в периоды дефицита влаги окисляются, образуя бурые пятна, желваки, орштейны. Процессы оглеения чаще провоцируются поверхностным либо грунтовым переувлажнением.

Известно, что леса хвойных пород способствуют повышению кислотности поступающих в насаждение осадков. Однако при смыывании пыли, сорбированной кронами и поверхностью стволов, реакция просачивающихся под полог леса вод в тех же условиях может приобретать и щелочную реакцию. То есть окисляющее воздействие корневых систем может нивелироваться азальной составляющей в поступающей части баланса вещества почв. Нейтрализации кислотности почвенной среды может способствовать основная или щелочная среда почвообразующих (карбонатных) пород.

Одной из крайних точек зрения на роль леса в почвообразовании можно признать мнение известного ботаника-лесовода С.И. Коржинского, (1889), утверждавшего, что «распределение типов почв в Полесье не зависит непосредственно ни от климата, ни от топографических условий, но лишь от рода покрывающих их растительных формаций и их взаимной смены» (цитируется по Е.С. Мигуновой, 1993). Лес по мнению Коржинского, как более мощная формация, теснит степь, заселяя степные земли. Он разрушает накопленную гумусом зернистую структуру, а затем и минеральную часть почвы. Под впечатлением работ ученого и многих его последователей в лесоведении Полесья утвердилось мнение, что лес однозначно обедняет почвы. Свойственные лесам подзолы рассматривались как крайняя степень их деградации.

Работами ученых середины XX века, трудами Н.П. Ремезова, С.В. Зона, А.А. Роде, В.Н. Пономаревой было показано, что взаимоотношения между лесом и почвой далеко не однозначны. Влияние леса на почву оказалось значительно более многообразным и в большой мере зависящим от климата. Были получены многочисленные свидетельства успешного произрастания лесов на типичных мощных подзолах, на отвалах горных пород, на чистых кварцевых песках. Выдвигались даже идеи об особой предрасположенности таежных лесов к подзолам.

Позднее удалось установить, что представления о высокой производительности лесных почв, обусловленные их гумусированностью не совсем верны. Дело в том, что в таежных условиях при высоком продуцировании органического вещества большое количество питательных веществ может сосредотачиваться в подстилке. Лесная подстилка, оставаясь эффективным аккумулятором элементов питания для лесных фитоценозов в жестких условиях произрастания, является единственным источником питания растительности леса.

Весьма показательны в этом отношении результаты изучения почвообразующей роли лесной растительности в условиях специфических геологических и климатических условиях Кольского полуострова (Манаков и Никонов, 1981; Никонов, 1987; Лукина, Никонов, 1994, 2006). В автоморфных условиях на моренных отложениях четвертичного периода, характеризующихся сильной завалуненностью и неотсортированностью песчаных фракций, формируются очень своеобразные иллювиально-гумусовые почвы, имеющие преимущественно морфологически четко выраженные черты подзолообразовательного процесса. Почвы в этих условиях отличаются маломощностью («карликовостью»), однотипностью строения почвенного профиля в достаточно различающихся местообитаниях, обязательным наличием во всех типах леса грубогумусового слоя (подстилки), особой освещенностью верхних частей минеральной толщи и наличием иллювиальной органики, концентрирующейся непосредственно под элювиальным горизонтом. По свойству четкой выраженности иллювиально-гумусового (иллювиального $Al - Fe -$ гумусового) процесса такие почвы отнесены к типу $Al - Fe$ - гумусовых почв. Содержания в подстилке зольных веществ здесь достаточно на 11–15 лет азота – на 4–7 лет. Но в биологический круговорот постоянно вовлекаются также ресурсы минеральной части почв.

Степень проявления почвенных процессов, определяющих морфологию и свойства исследованных автоморфных почв, обусловлены конкретным сочетанием биоклиматического и литогенного факторов. В.В. Никонов, (1987) в связи с этим, параллельно с идеями И.И. Смолянинова, (1965), предлагает выделять в лесных экосистемах следующие основные элементарные почвенные процессы или их совокупности: 1 – элювирование верхней части минерального профиля (оподзаливание); 2 – обеднение почвенной толщи кремнием (десиликация); 3 – иллювиально-гумусовая ферратизация – совокупность частных, но неразрывных процессов обогащения большей или основной части алюминием и иллювиализованным фульватным гумусом.

Основные черты почвообразования автоморфного типа в лесных ландшафтах Кольского полуострова также сводится главным образом перераспределению по почвенному профилю типоморфных элементов: кремния, алюминия, и железа. Важную роль в формировании профиля, благодаря промывному режиму, играет иллювиально-гумусовый транспорт веществ.

Сложная биологическая (биокозная) система «почва-лес-почва» является динамическим образованием. Она постоянно функционирует в режиме биологического круговорота, подчиняясь общим природным закономерностям, в том числе сезонной и суточной видам ритмики. Четко проявляется тесная взаимосвязь протекающих в почвенном покрове процессов с климатическими факторами. С определенного уровня развития лесная растительность становится способной изменять результирующую почвообразовательного процесса.

Влияние леса на почву, точно также как и почвенная обусловленность свойств леса, может проявляться как прямо, непосредственно, так и опосредованно (через действие других факторов. Многогранность воздействия лесного сообщества на почву местообитания проявляется по нескольким направлениям:

1 – опад мертвой органики – листьев, хвои, ветвей, коры, а также отмерших корней растений. Систематически в течение всего года опадающая лесная фитомасса дает основную часть органического материала для формирования лесной подстилки, играющего исключительно важную роль в почвообразовательном процессе и в биологическом круговороте веществ (в система лес-почва-лес).

2 – влияние лесного полога и нижних ярусов насаждения на микроклимат, на тепловые условия, на количество и качество влаги, поступающей через полог леса к почве;

3 – физическое, химическое и физиологическое (биохимическое) воздействие корней деревьев, кустарников и совокупности живого напочвенного покрова вместе с гравитационным давлением массы древостоя.

Распространено также мнение, что отдельную сторону влияния лесных сообществ на почву составляет комплекс воздействий лесной фауны (землероев, крупных млекопитающих, насекомых, простейших). Такого рода явления безусловно имеют место и вероятно при более обстоятельном (специальном) рассмотрении природы взаимоотношений лесных фитоценозов с почвой такая постановка вопроса была бы вполне уместна. Пока же этот аспект целесообразно рассматривать на весьма поверхностном уровне – в порядке оценки роли почвенной фауны в минерализации лесных подстилок и биохимического воздействия выделений микрофлорой ризосферы метаболитов на подпочву.

Под суммарным влиянием разных компонентов лесного сообщества почва приобретает свои специфические особенности. По комплексу свойств лесные почво-грунты существенно отличаются от таковых под лу-

гами, под агроценозами и другими безлесными ландшафтами. При разнообразии лесной растительности лесорастительных климатических условий совокупное воздействие леса на почвы также будет неоднородным. Очевидно, что результирующий эффект во взаимоотношениях леса и почвы будет разным. С одной стороны это воздействие с позиций влияния на продукционный процесс будет отчетливо позитивным, в других - в той или иной мере негативным.

Лесной опад

Важнейшим факторам влияния леса на почву является **лесной опад** - совокупность опадающих в течение года листьев, хвои, ветвей, коры, и др. Среди массы опада представлены также богатые зольными элементами органы (компоненты). Опад – основной материал, формирования лесной подстилки и далее – гумуса. Масса опадающей органики, состав и временной цикл формирования ее структуры зависят от комплекса природных условий и структуры насаждения.

Главным поставщиком опада обычно выступает древостой. Вклад древостоя в лесах бореальной зоны оценивают в 85–95 % общей массы ежегодно поступающей органики на поверхность почвы. Остальное составляют растительные остатки подлесочных кустарников, подроста, растений напочвенного покрова.

Величина опада сильно колеблется в зависимости от продуктивности, структуры древостоя и его возраста. Изменчивость массы опада в лесах северного полушария оценивают интервалом 0,5...8,0 т/га. Наиболее высокие значения дают тропические леса, наименьшие – полупустынные и притундровые субарктические. Поскольку основную массу опада в лесу дает древостой, все определяет его структура, породный состав, возрастной этап, тип леса. По обилию опада древостой с преобладанием той или иной породы в российских лесах составляют следующий убывающий ряд: буковый, еловый, березовый, осиновый сосновый, дубовый, лиственничный.

Высокие значения опада отмечаются в сложных по составу древостоях с нижними ярусами из темнохвойных пород. В российских лесах при прочих равных доля древостоя в опаде снижается от зоны широколиственных и смешанных хвойно-лиственных лесов на юг (в лесостепь) и на север (в сторону субарктических лесов). В притундровой зоне (подзоне) возрастает доля кустарничков и мхов. В экстремальных условиях обитания

лесных сообществ доля опада от мхов, кустарничков и трав может приближаться к величине опада древесного яруса. Общая масса мертвого органического вещества определяется не только опадом, но также отпадом – (отмершими деревьями, сухостоем, буреломом, валежником).

В сильно усредненном виде структура опада в таежном лесу выглядит следующим образом. Хвоя, листва, цветы, молодые побеги, чешуйки, образующие так называемую «зеленую часть» опада, составляют 40–50 % массы; кора, сучья, ветви («многолетняя надземная часть») – 30–40 %. Остальное (5–20 %) приходится на подземную часть – на «корневые остатки». Понятно, что соотношение частей во многом зависит от структуры, породного состава, от продуктивности насаждения. Основную массу опада в сосняках и в ельниках представляли хвоя, листья и ветви и остатки кустарничков, в березняке – листья березы и остатки кустарничкового яруса.

Опад в северотаежных лесах определялся Б.Д. Зайцевым, (1964) на примере насаждений Исакогорской дачи (табл. 47). По данным Б. Д. Зайцева, (1964) в Исакогорском лесничестве, под Архангельском средняя масса опада в сосняках лишайниковых составляет 0,9 т/га; в брусничных – 1,9 т/га, в черничных – 2,0 т/га. Обширная информация по величине опада в лесах под Обозерской (граница между северной и средней тайгой) приводит А.А. Молчанов, (1961, 1968)

Таблица 47. Масса растительного опада в лесах Исакогорской дачи (по Б.Д. Зайцеву, 1964)

Тип леса	Состав древостоя		Полнота	Опад т/ га	
	1 ярус	2 ярус		воздушн. сухой вес	абсолютно сухой вес
Сосняк лишайниковый	10 С	–	0,5	0,9	0,8
Сосняк брусничный	8С2Е+Б	–	0,8	1,8	1,5
Сосняк черничный	5С3Е2Б	8Е2Б	0,8	2,0	1,6
С. чернично-сфагновый	6С3Е2Б	–	0,9	2,7	2,3
Ельник приручейный	8Е2Б	–	0,9	2,6	2,1
Ельник кисличный	4Е5Б 1С	10 Е	0,9	3,4	2,8
Березняк разнотравный	7Б12С1Е	–	0,9	3,1	2,6

В зависимости от возраста, породного состава, полноты и типов леса величина этого показателя колеблется от 1,1 до 3,9 т/га. Интересные данные об изменении величины опада в сосняках с увеличением их возраста в Подмосковье приводит Л.Н. Быкова (цитируется по. Вайчису, 1975).

Сосняк I класса возраста 2496 кг/га

II “ “ 2356

III “ “ 2003

IV “ “ 1304 кг /га.

Средняя величина опада в сосняках на севере Литвы оценивается 3 т/га с колебаниями по годам от 2224 до 4688 кг/га. Характерно, что не остаются без изменения не только общая масса опада, но и фракционная его структура. Изменяется также биохимический состав органического вещества. То есть поступление минеральных веществ в почву с мертвой органикой зависит во многом от содержания этих элементов в компонентах леса.

Структуру отмирающей органики в ельнике кисличном Новгородской области по результатам трехлетних исследований В.В.Смирнова, (1967) характеризуют данные табл. 48. Средний запас опада оценен в 2,9 т/га. Основная масса опада – хвоя ели. На эту фракцию приходится в среднем 58 % массы опада. Далее в порядке снижения участия учитываемые фракции составляют следующий ряд: ветви ели – смесь – труха без выявленной точно природы, хвоя сосны, листья березы, цветы ели, лишайники и др. Наибольшая изменчивость отмечается в массе репродуктивных органов. Коэффициент варьирования по массе опада в целом невысокий (14,0 %).

Для анализируемого опада характерна относительная равномерность во времени, что свойственно обычно еловым насаждениям. Отмечено среднесуточное увеличение массы отмирающей органики в дождливую погоду.

Интересная информация о составе и структуре опада в лесных сообществах разного породного состава получена в Подмоскowie при изучении парцеллярной структуры еловых с примесью лиственных (дуб, липа, береза, осина) насаждений (Карпачевский и др., 1971). Выявлены существенные различия в опаде по парцеллам преобладающих древесных пород. В дубо-ельнике в еловых парцеллах на поверхность почвы поступает значительно больше опада (454 г/м^2), чем в березовой (до 350 г/м^2), в дубово-медуничной (300 г/м^2), осиново-снытьевой (280 г/м^2) или в олке насаждения (209 г/м^2). При этом опад существенно различается по составу, по соотношению «активной» (быстро разлагающейся) и «неактивной» (медленно разлагающейся) частей. Примечательно, что на характер опада оказывают различия в морфологических свойствах элементов дерева. Дубовая и березовая листва часто заносится в парцеллы другого состава. До 40 %

Таблица 48. Структура опада в ельнике кисличном по данным трехлетних наблюдений (по В.В. Смирнову)

Фракции	Абсолютный вес кг/га по годам				Коэфф. вариации, %	Относительный вес по годам, %			
	1960	1961	1962	Среднее		1960	1961	1962	Среднее
Хвоя ели	1293	1804	1906	1668	20	51,78	55,09	66,77	57,88
« сосны	60	109	87	86	29	2,42	3,18	3,05	2,88
Листья березы	0	21	7	9	96	0,00	0,61	0,23	0,28
« рябины	4	42	90	45	96	0,16	1,22	3,16	1,51
« других пород	82	23	0	35	98	3,28	0,77	0,00	1,35
Почечные чешуи	63	41	89	64	38	2,52	1,18	3,12	2,25
Цветы ели	133	9	75	72	86	5,32	0,26	2,63	2,74
Шишки ели	268	291	83	214	53	10,74	8,51	2,90	7,38
« сосны	38	17	37	31	38	1,50	0,49	1,30	1,10
Сережки березы	3	0	0	1	173	0,13	0,00	0,00	0,04
Семена хвойных	22	6	3	10	102	0,90	0,16	0,10	0,39
« березы	2	0	0	1	122	0,08	0,00	0,00	0,03
Ветви ели	358	724	324	469	10	14,33	22,01	11,34	15,89
« лиственных	0	8	13	7	94	0,01	0,23	0,44	0,23
Кора	23	17	34	25	34	0,93	0,52	1,19	0,88
Лишайники	43	94	49	62	45	1,70	2,83	1,72	2,08
Фауна	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,00	0,01
Смесь (труха)	105	86	59	84	28	4,19	2,93	2,05	3,06
Всего	2497	3292	2856	2883	14	100,00	100,00	100,00	100,00

опавшей хвои ели также может поступать на другие парцеллы. Лист осины преимущественно ложится под материнским деревом. Различия во влиянии на круговорот веществ насаждений разных пород хорошо иллюстрируют материалы Н.В. Ремезова, (1959).

По мнению известного специалиста в области круговорота элементов в лесу, количество элементов питания, ежегодно вовлекаемое в лесных биогеоценозах определенной структуры в биологический круговорот, сравнительно мало изменяется по годам. Начиная с возраста приспевания, а в насаждениях широколиственных пород – уже со среднего возраста структура вносимых с опадом элементов мало изменяется также с увеличением возраста. Наибольший вклад всех элементов в круговорот среди частей насаждения дают листья или хвоя. Затем идут тонкие ветви, крупные ветви и ствол. Мелкие корни по содержанию азота и зольных элементов близки к тонким ветвям, толстые корни - к крупным ветвям. Наибольшее содержание в древесных растениях кальция, азота. Самым высоким содержанием азота отличаются листья. Древесные растения характеризуются сравнительно высоким содержанием кремния, алюминия, фосфора, серы (табл. 49).

Таблица 49. Среднее содержание в листьях (хвое) различных древесных пород азота и зольных элементов (в % на высушенное при 100° вещество; по Ремезову, 1955)

Порода	Si	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	K	S	P	N
Сосна	0,07	0,16	0,01	0,05	0,33	0,09	0,53	0,13	0,15	1,28
Ель	0,49	0,22	0,01	0,012	0,34	0,10	0,61	0,13	0,21	1,12
Береза	0,06	0,18	0,01	0,015	1,43	0,23	0,36	0,06	0,17	1,44
Осина	0,58	0,07	0,02	0,02	1,68	0,26	1,42	0,14	0,25	2,49
Дуб	0,44	0,03	0,02	0,04	1,16	0,23	1,11	0,09	0,11	2,54
Липа	0,16	0,25	0,04	0,05	1,48	0,29	1,72	0,21	0,22	2,81
Ясень	0,39	0,10	0,01	0,06	2,72	0,51	1,78	0,23	0,65	1,52
Вяз	2,59	0,09	0,02	0,01	2,39	0,40	1,63	0,41	0,36	1,31
Клен О.	0,87	0,06	0,02	0,08	2,36	0,35	1,61	0,40	0,45	1,60
Ольха черная	0,07	0,29	0,03	0,03	0,71	0,22	0,39	0,29	0,13	—

Изучение химического состава древесных пород было бы бессмысленным, если растения разных видов не отличались содержанием отдельных элементов. В приведенном в таблице перечне элементов наибольшим содержанием азота обладает липа. Далее в порядке снижения этого элемента идут дуб и осина. По данным М. Вайчиса, (1975) чемпионом по содержанию азота являются листья рябины. Самым малым содержанием азота фосфора отличаются хвойные породы, характеризующиеся вообще за-

метно меньшим зольным составом, чем лиственные. Серы больше накапливается в листьях вяза и клена.

Неодинаковое содержание элементов в опаде древесных пород являются причинами различий в биохимических процессах, в объеме и интенсивности биологического круговорота. В конечном счете все это выливается в различия в плодородии почвы, в продукционном ее потенциале.

Сопоставление содержания химических элементов в одних и тех же частях сосен, берез, лип и др. (ветви, листья, корни) в насаждениях разных типов леса не дало однозначных результатов. По исследованиям Н.П. Ремезова, (1955), в хвое сосны из разных типов леса существенных различий не выявлено. Лишь в отдельных пунктах отмечается пониженное содержание азота, фосфора, калия и серы. Наряду с этим выявлены различия у ели, в содержании кальция, калия, наибольшее содержание кальция отмечено в хвое ели ельника приручейного и меньше всего в ельнике черничном. Установлены различия между типами лесорастительных условий по содержанию азота, кальция в листьях березы, осины.

Таким образом, лиственные породы повсеместно отличаются благоприятным влиянием на почвообразовательный процесс, Это воздействие оказывается неодинаковым у разных древесных пород и в разных ТЛУ.

Вклад опада в биологический круговорот насаждений зависит во многом от его химического состава, т.е. от содержания в мертвых частях растительности тех или иных химических элементов. Представления о содержании в разлагающемся лесном опаде азота и зольных элементов дают материалы табл. 50.

Таблица 50. Содержание элементов азота и зольных элементов в опаде сосняка черничного (в числителе летний опад, в знаменателе — зимний; Литва, по М. Вайчису, 1975)

Фракции опада	Сы- рая зола	Зольные элементы								N
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Листья	4,99	0,09	0,12	0,04	0,21	2,47	0,11	0,39	0,39	1,76
	5,40	0,07	0,18	0,02	0,18	3,09	0,25	0,23	0,19	1,62
Хвоя	2,98	0,25	1,04	0,04	0,01	1,19	0,02	0,07	0,14	0,96
	2,54	0,12	0,89	0,04	0,09	0,71	0,17	0,07	0,31	1,28
Ветви	2,50	0,10	0,76	0,34	0,01	0,81	0,11	0,04	0,12	0,94
	1,84	0,22	0,64	0,18	0,03	1,00	0,06	0,09	0,09	0,83
Кора	2,81	0,09	1,05	0,11	0,18	0,81	0,09	0,07	0,07	0,67
	2,91	0,46	0,49	0,17	0,03	1,00	0,13	0,03	0,47	1,23
Шишки	0,75	0,27	0,03	0,02	0,01	0,17	0,07	0,03	0,14	0,51
Мелкие остатки	3,71	0,32	1,01	0,25	0,01	1,33	0,20	0,18	0,23	1,52
	3,84	0,65	1,04	0,18	0,17	1,27	0,14	0,18	0,13	1,36

Как и в других случаях, основной вклад в круговорот вещества в сосняках вносит фракция листьев, мелких остатков и хвой. Имеют место различия в содержании элементов между летней и зимней частями фракций. Летом в опаде листьев больше кальция, азота, фосфора, калия. Значительно беднее этими элементами хвоя, но в ней больше содержание алюминия и железа. Так называемая «труха» оказалась богаче всего кремнием и магнием. Очевидно, что отмеченные различия не могут не сказываться на объемах общего биологического круговорота и на его структуре.

Исследования в Литве показали, что наибольшей зольностью (содержанием азота и зольных элементов в опаде отличаются листья рябины (8,3 %). Далее листовые фракции опада составили убывающий ряд: молодая хвоя ели (6,2 %), листья дуба (5,3 %), листья березы (3,3 %). Оказалось, что хвоя ели богаче кремнеземом по сравнению с хвоей сосны. Больше всего СаО содержится в листьях рябины и в хвое древостоев и подроста. По содержанию азота на первом месте стоят листья рябины и березы, соответственно 2,39 и 2,17 %. Немного отстает от них хвоя сосны (2,02 %). На подзолистых почвах северной Литвы главное влияние на почву оказывает опад сосны и березы, поскольку эти породы здесь преобладают. Особенно благоприятно влияние березы, что согласуется с известными данными многочисленных исследований в таежной зоне.

Интенсивность минерализации растительных остатков (лесной подстилки) зависит от содержания в органике Са и N и буферности против кислот (T.S. Coile, 1940, цитируется по М. Вайчису, 1975). Потери органического вещества при разложении подстилки зависит прежде всего от лесобразующей древесной породы (табл. 51).

По разным источникам (Б.Г. Розанов, 1961 в Беловежской пуше; Н.П.Ремезов, 1961 в дубравах Брянщины; А.П. Шлейнис, 1965 в дубравах Прибалтики; А.П. Утенков, 1966 в дубравах Белоруссии называют величины годового разложения лесной подстилки в первый год в интервале 50— 70 % от исходной массы потери при минерализации у хвойных пород. Опад ели и сосны к тому же отличаются самым низким содержанием зольных веществ. Наибольшая потеря при минерализации у ясеня и ильмовых. Примечательно, что опад этих древесных пород имеет самые высокие значения зольности.

Трансформированный (разлагающийся) опад, представляющий собой вклад насаждения в биологический круговорот, во многом зависит от скорости минерализации мортмассы. Складывающийся биологический

круговорот вещества в лесном биогеоценозе может быть представлен классической схемой (рис. 84).

Таблица 51. Ряд нарастания разложимости древесных остатков в лесной подстилке

Остатки древесной породы	Потеря массы органики, %	Зольность, %	Кислотность рН
Бук	44,3	6,3	4,22
Дуб	45,6	7,3	4,32
Ель	46,1	3,7	5,08
Сосна	46,1	2,7	4,89
Ольха черная	49,1	6,6	4,48
Береза	55,5	7,8	5,99
Клен	57,1	10,8	4,49
Ильм	65,1	26,5	6,24
Ясень	70,6	13,7	5,91

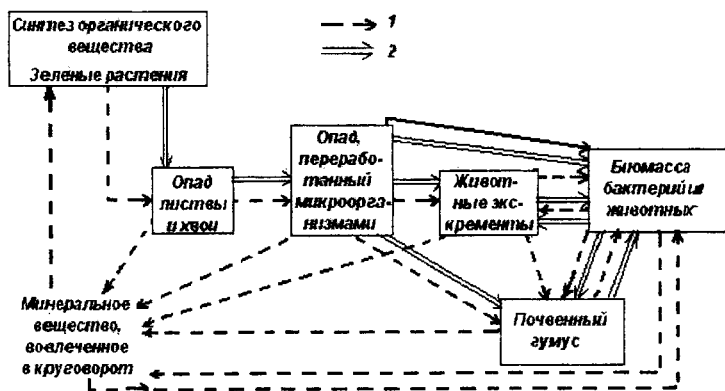


Рис. 84. Круговорот органического вещества в почве (Laatsch, 1957):
1 — преобразование органического вещества, 2 — круговорот минерального вещества

Из рассмотренных в разных источниках материалов, самой низкой разлагаемостью в первый год в «зеленой» части опада характеризуются листья дуба; в массе «бурой» части — ветви и кора ели. Наибольшей разлагаемостью характеризуются повсеместно листья рябины и березы. Соответственно, в разных ТЛУ состав подстилок будет неодинаковым, в т.ч. по содержанию различных форм азота (рис. 85).

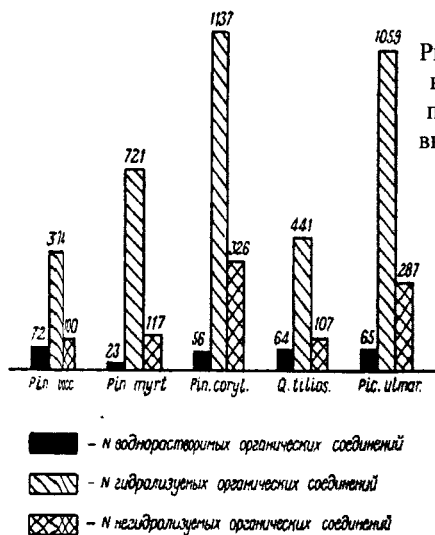


Рис. 85. Формы органического азота в лесной подстилке различных типов насаждений (в мг на 100 г почвы), по Ремезову и Погребняку, 1965.

Лесная подстилка накапливается в насаждениях постепенно, начиная с молодого леса и последовательно увеличиваясь с возрастом и увеличением массы опада. Одновременно, с накоплением мощности и массы происходит «минерализация» — с образованием гумуса. Соотношение между накоплением и минерализацией подстилки со временем не остается без изменений. Более того, изменение этого соотношения служит надежным и знаковым показателем происходящих в местообитании процессов почвообразования.

Многие исследователи отмечают, что разлагаемость материала лесной подстилки зависит во многом от условий увлажнения. Отклонения от неких средних для типа леса значений влажности, как в сторону снижения, так и в направлении увеличения, приводит к снижению темпов минерализации лесной подстилки.

Отношение «подстилка: опад» — опад-подстилочного коэффициента (ОПК) в тропических лесах близко к 1:1. В полосе умеренного климата в лесах широколиственной зоны значение этого показателя укладывается в интервал 3—15. В зоне субарктического климата, в экстремальных условиях произрастания коэффициент достигает 60.

Соотношение подстилки и опада в таежных лесах европейского Севера существенно варьирует, в зависимости от лесорастительных условий (от ТЛЮ). Наименьшие значения (3—5) ОПК отмечены в насаждениях кис-

личного ТЛУ, на долю которых в тайге приходится всего несколько процентов. В сосняках и ельниках зеленомошной группы ТЛУ ОПК колеблется от 5 до 15. Значения его увеличивается в сторону высоких широт.

Представляют интерес сопоставление формул поступления и потребления азота и зольных элементов лесными насаждениями. По данным Л.Е. Родина и Н.И. Базилевич (1965) в еловых лесах южной тайги европейской части России эти формулы выглядят следующим образом.

Ряд потребления

	P
N	Mg Fe
> K > Si >	Al > Na
Ca	Mn

Ряд поступления

		Mg	
	K	P	Fe
N > Ca > Si >		Al >	Mn
		S	Na

Лесная подстилка

Лесной опад со временем трансформируется в лесную подстилку и затем в гумус. Название «лесной подстилки» связано с крестьянским бытом, с использованием мертвой органики из леса в качестве подстилки скоту. Переходы от опада к подстилке и от подстилки к гумусу довольно неопределенны и весьма изменчивы по слоению слоя разлагающейся разными темпами органики, по соотношению массы. Особенно сложно отделить опад от подстилки. Условно принято считать опадом органическое вещество, выпавшее и находящееся в лесу в течении календарного года. Далее органика, независимо от степени разложения, относится к подстилке. При всей условности, разделение мортмассы (мертвой органики) в лесу на названные составляющие имеет важное значение, поскольку соотношение между ними является своеобразным индикатором интенсивности почвообразовательных процессов.

С опадом в лесных насаждения ежегодно поступает к лесной подстилке 4,9–6,2 ккал/г. В подстилке таежных лесов накапливается 8,5–11,0 тыс. ккал/м² энергии. Теплотворность мортмассы подстилок оце-

нивают в среднем 5 ккал/г. По мере минерализации органики энергетический ее потенциал, теплотворность, а также зольность снижаются.

Лесная подстилка – продукт леса, его важнейший компонент. Этот компонент имеет большое значение для всех других компонентов лесного сообщества. В природе лесной подстилки двойственная сущность сложных взаимоотношений леса и окружающей среды. Лесная подстилка выполняет в лесном сообществе множество функций. Составляя слой достаточно рыхлой, но связной органической массы, сложенной из разложившихся в разной степени остатков растений, лесная подстилка служит эффективным теплоизолятором и терморегулятором в лесном местообитании.

Благодаря этому слою, почва медленно прогревается, но зато также медленно остывает (теряет тепло). Глубина промерзания, как уже отмечалось, под слоем подстилки значительно меньше. Слой органики играет роль эффективного предохранителя испарения почвенной влаги. Благодаря лесной подстилке поверхность почвы никогда не пересыхает. Под слоем органической массы складываются несколько иные по сравнению с открытым местом, все как химические, так и физические свойства почвы.

Лесная подстилка и нижележащие слои почвы одновременно является средой обитания множества простейших, паукообразных, прямокрылых, кольчатых червей а также микроорганизмов и простейших. В этом биокосном теле создается своя особая биогенная среда, с характерными водным, солевым, тепловым и воздушным режимами. Лесная подстилка является средой обитания для множества видов грибов. Большинство видов организмов, обитающих в подстилке, играют роль редуцентов, своеобразных утилизаторов мертвой органики, переработчиков органики в простейшие вещества – углекислоту, воду, соединения азота, фосфора, калия.

Каждому типу лесных почв соответствует определенный животный мир и характерная растительность. В псевдоподзолистых почвах Литвы мезофауна по массе составляет следующий убывающий ряд:

- Lumbricidae (дождевые черви);
- Curculinidae (сем. Долгоносики);
- Myriapoda (класс Многоножки);
- Castropoda (Брюхоногие, класс улитки);
- Carabidae (сем. Жужелицы);
- Compodeidae.

По данным немецких экологов (Бауэр, Вайничке, 1971) в дерновых лесных почвах Саксонии среди животного населения (микро- и мезофауна) составляют в целом 7 %. В этой массе масса бактерий составляет около 40 %,

на грибы и водоросли приходится также 40 %. Дождевые черви составляют 12 %, другая мезофауна – 5 %. В среднем 93 % вещества почвы составляет минеральная ее составляющая.

Разложение органики подстилки делает этот компонент леса главным поставщиком углекислоты, остро необходимой зеленым растениям. Получается, что лесная подстилка – важнейшее звено в биологическом круговороте вещества и энергии. Это своеобразное «горлышко бутылки», через которое «протискиваются» встречные потоки вещества и энергии в непрерывном биологическом круговороте. И параметры этого горлышка (масса, состояние и структура задействованной органики и заключенная в ней энергия) определяют эффективность функционирования биогеоценоза. Естественно, с мощностью и биохимическими свойствами подстилки связаны многие показатели продуктивности древостоев, структура всех других компонентов биогеоценоза.

Лесная подстилка накапливается в насаждениях постепенно, начиная с молодого леса и последовательно увеличиваясь с возрастом и увеличением массы опада. Одновременно, с накоплением мощности и массы происходит ее минерализация – с образованием гумуса. Соотношение между накоплением и минерализацией подстилки со временем не остается без изменений. Более того, изменение этого соотношения служит надежным и знаковым показателем происходящих в местообитании процессов почвообразования.

ОПК имеет важное значение при оценке потенциальных возможностей лесного сообщества, а также при установлении стадии онтогенеза, на каком оно сегодня находится. Дело в том, что соотношение подстилки и опада со временем изменяется в определенной закономерности. ОПК в лесном БГЦ – показатель интенсивности биологического круговорота, показатель «биологической активности» в его почвенном блоке, т.е. индикатор интенсивности почвообразовательного процесса.

И.И. Смольянинов, (1969), рассматривая эти изменения, предложил в цикле развития лесного сообщества выделять три периода: «интенсивного наращивания мощности подстилки», «максимальной мощности» или «стабилизации ОПК» и «медленного уменьшения мощности подстилки». На первом периоде в развитии насаждения опад превышает минерализацию органики, на третьем минерализация идет быстрее, чем поступает опад. Третье состояние, соответственно, показывает на установление некоего баланса между приходом и расходом **мортмассы**. Как сама продолжительность цикла, так и его структура (соотношение периодов) неодинаковы в

географическом плане и в конкретном районе определяются емкостями биологических круговоротов конкретных насаждений разных типов леса.

И.И. Смолянинов известный почвовед лесоводственного направления, рассматривая взаимоотношения между древесной породой и почвой, предлагает эти целостные процессы круговоротов разделять на процессы-звенья, представляющие собой последовательные этапы прохождения химического элемента общего цикла биологического круговорота (рис. 86).

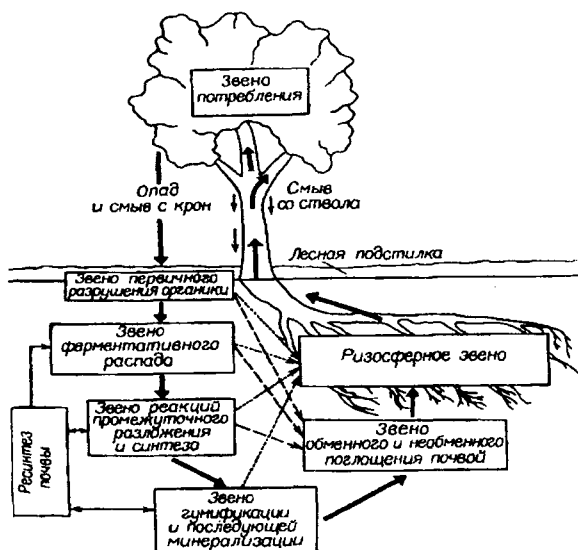


Рис. 86. Биологический круговорот веществ в лесу
(по И. Смолянинову, 1969)

Ученый считает, что целое (на примере почв) является не простым единством своих частей, а подвижным, развивающимся единством. Цикл круговорота между растением и почвой в лесу совершается посредством последовательного прохождения элементами БГЦ ряда частей-звеньев, отличающихся сущностью идущих на каждом этапе процессов.

1. Звено первичного разрушения органики. Разрушение мортмассы начинается с ее измельчения. Чем мельче оказываются частицы подстилки, тем выше скорость их окисления. Измельчение идет за счет «работы» мезо- и микрофауны. Одновременно сохраняют силу явления физического выветривания (изменчивости температуры и влажности субстрата).

2. Звено ферментативного распада. Измельченная органика на поверхности почвы подвергается мощному действию ферментатов, выделяемых микрофлорой почвы и корневыми системами растений. Чем сложнее структура ценоза, чем богаче и разнообразнее опад и лесная подстилка, тем больше активность микрофлоры и интенсивней работа ферментов. Наиболее активными веществами здесь выступают каталаза, инвертаза и протеаза. Виды ферментов характеризуются определенной специализацией и наибольшую активность имеют на определенных субстратах.

3. Звено реакций промежуточного разложения и синтеза. Химические элементы на этом звене участвуют в превращениях бесчисленного класса соединений, их осколков промежуточного характера между бывшими устойчивыми соединениями и соединениями органических остатков. Идет процесс распада углеводов, жиров, аминокислот. Часть образующихся осколков поглощаются корнями растений, т.е. начинается уже синтез нового вещества.

Далее идут достаточно сложные звенья гумификации и последующей минерализации с образованием (под влиянием ферментов темноокрашенных гуминовых и светлоокрашенных фульвокислот, обменного и необменного поглощения почвой (идет минерализация гумусовых веществ и освобожденные элементы поступают в корни); ризосферных превращений элементов в биокруговороте (звено ризосферы), звено потребления.

Такой последовательно дифференцирующий, дискретный подход к рассмотрению сложнейших явлений минерализации веществ лесных подстилок, представляется весьма плодотворным. Эту идею позднее подхватили и развили В.В. Никонов и Н.В. Лукина работами в лесных экосистемах Кольского полуострова.

Информативным показателем интенсивности идущих процессов минерализации органики а разных типах местообитаний может служить активность дыхания подстилки и почвы, которые напрямую связаны с активностью некоторых ферментов (табл. 50).

Абсолютные значения характеристик лесной подстилки, соотношение между подстилкой и опадом на разных стадиях онтогенеза лесного БГЦ при прочих равных не одинаковы в лесах разных природных зон, а в пределах зоны (подзоны, провинции) – по типам местообитаний (по типам леса). В бореальной зоне в целом накопление подстилки идет более высокими темпами, чем ее минерализация. С продвижением на север это свойство усиливается. И в биогеоценозах некоторых притундровых насажде-

ний масса подстилки может достигать 50–80 т/га, т.е. составлять 40–60 % общей массы органического вещества на участке

Таблица 50. Дыхание почвы и активность некоторых ферментов
(по Смольянинову, 1969)

Тип местообитания	Дыхание, мг $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{ч}$		Активность				
	подстилка	почва	Каталаза мл $\text{O}_2/1\text{г}/5\text{ мин}$		Инвертаза г сахара/100 г		Протеаза, мг аминного N/г /сутки
			подстилка	почва	подстилка	почва	
Бор свежий	33,2	24,8	5,88	1,03	36,26	3,22	0,401
влажный	17,2	30,9	11,69	1,69	7,09	0,85	0,323
сырой	23,7	23,2	7,66	0,75	6,51	0,84	0,106
Суборь свежая	38,8	34,1	5,55	1,61	40,45	1,42	0,620
влажная	33,4	36,3	6,84	1,44	8,58	2,64	0,661
Дубрава свежая	111,6	120,4	7,14	1,71	146,39	4,24	1,277
влажная	147,0	87,8	7,81	2,18	161,67	6,40	1,604

В южнотаежных лесах минерализация мортмассы в целом идет активной, чем ее пополнение. Накопление органики здесь может иметь место лишь в крайне неблагоприятных условиях (в заболоченных местообитаниях). При прочих равных мощность лесной подстилки в хвойных лесах таежной зоны снижается, а интенсивность ее минерализации – усиливается при увеличении в составе лиственных пород.

Свойство лесной подстилки во многом зависят от морфологических и особенностей опада и от химических его свойств, т.е. по существу – от структуры насаждения. Известно, что хвоинки ели, вследствие одиночного их характера и мелких размеров на поверхности почвы образуют достаточно плотный слой, затрудняющий воздухообмен. Напротив, хвоя сосны, кедра, обычно изогнутая, с «растопыренными» пучками образует более рыхлый слой. Достаточно плотно ложится листва дуба, осины, хотя в осинниках и дубравах слой листового опада всегда подстилается обильно мелкими сучьями, не позволяющими листве образовать «изоляцию». Слой мертвой органики здесь всегда хорошо аэрирован. Самая благоприятная обстановка для утилизации опада создается в березовом лесу. Сравнительно богатая подстилка образуется в букняках, ольшанниках. Листья этих

пород хотя и несколько грубоваты, медленней разлагаются, однако масса их значительна и пополнение ее происходит регулярно.

Наибольшие запасы лесной подстилки накапливаются в лесах таежной зоны, в особенности в ее северных регионах. Значительно затруднена минерализация подстилки в заболоченных и отундровелых местообитаниях. В таких биогеоценозах запасы мертвой органики могут достигать 100 тонн на га и более. Снижается мощность подстилки в зоне смешанных лесов. Здесь темпы минерализации мортмассы остаются соразмеримыми с темпами ее накопления.

При большом разнообразии местообитаний лесных экосистем формирование лесной подстилки и опада в насаждениях протекает при самых разных сочетаниях теплообеспеченности и увлажнения. В многолетних циклах процессы накопления и минерализации мортмассы то ускоряются, то блокируются (тормозятся). Не остаются неизменными свойства массы мертвой органики, соотношение между отдельными ее фракциями, между неразложившейся и минерализующейся ее частями.

В районах с низкими температурами и высоким увлажнением в подстилку ограничивается доступ кислорода. Ослабляется жизнедеятельность микроорганизмов, падают темпы минерализации мертвой органики. В итоге почвообразование идет в направлении накопления мортмассы, ее оторфования. Напротив, в азированных местообитаниях, в более благоприятных тепловых условиях минерализация мертвой органики опада идет активней и со временем постепенно нарастает. В ряде местообитаний подстилка может вообще не образовываться или формироваться лишь рудиментарно. Обе из рассмотренных «крайних» ситуаций неблагоприятны для леса. Ближе к оптимуму некие средние между рассмотренными ситуации.

По характерным биохимическим направлениям формирования лесных подстилок, по их структуре, по свойствам образующегося в каждом случае гумуса П. Мюллер предложил различать два типа гумусообразования: образование подстилки типа «муль» и типа «мор». Подстилка типа муль – рыхлая, рассыпчатая масса, продукт тесного биохимического взаимодействия органического вещества гумуса с минеральной частью почвы. Эта масса населена дождевыми червями, простейшими беспозвоночными и многими видами микроорганизмов, активно участвующими в разложении вещества подстилки. Муль называют «мягким гумусом». Химическая реакция этой массы обычно нейтральная или слабо кислая. Здесь имеет место хорошая насыщенность основаниями, способствующая высокой биологической активности субстрата. Процессы образования простейших веществ – продуктов минерализации органики сравнительно быстротечны.

Мор, напротив – подстилка грубая по сложению и составу. Характерная черта этой рыхлой торфянистой бесструктурной массы обилие гифов грибов и кислая химическая среда. Черви и активные по разложению органики микроорганизмы в такой подстилке отсутствуют. Процессы разложения остатков идут медленно с выделением в окружающее пространство – органических кислот. Подстилку этого типа называют также грубым, кислым или сырым гумусом. Такая подстилка бедна доступными растениям элементами минерального питания. Классификация Мюллера явилась серьезным вкладом в развитие лесного почвоведения, в познание природы плодородия почв и управление этим плодородием. Она широко используется российским лесоводством и поныне. Исследования немецких лесоводов приводят следующую обобщенную характеристику известных типов гумуса (вещества подстилок; цитируется по Л. Бауэру и Х. Вайничке, 1971; табл. 53).

Таблица 53. Важнейшие формы гумуса лесных почв

Формы гумуса	pH	C/N	Минерализация гумификация
Грубый гумус (мор)	3,5–4,5	30–40	Медленная
Модер	4,0–5,0	20–25	Средняя
Мягкий гумус (муль)	5,5–7,0	10–20	Быстрая

В последующем, по мере углубления представлений о процессах, идущих в мертвой напочвенной органике, почвоведомы - лесоводами было предложено отдельно рассматривать третий, промежуточный тип подстилок – подстилку типа «модер». Это трухлявый умеренно грубый со следами оторфованного слоя органики. По свойствам и характеристике он имеет признаки как муля, так и мора.

Органические вещества, включая гумус, вместе с накопленными подстилкой минеральными элементами, со временем поступают в виде растворов в почву. Установлено, что основу органического вещества в этих потоках составляют две группы кислот: гуминовые и фульватные кислоты (Сг и Сф). Соотношение этих веществ определяет основные свойства органогенных слоев почвы. Профессором С.В. Зонном предложена удачная классификация подстилок, основанная как раз на разном соотношении Сг и Сф (табл. 54).

Таблица 54. Группировка лесных подстилок по С.В. Зону, (1964).

Группа по способу разложения	Доля гуминовых кислот	Гумусонакопление в горизонте А	Действие на минеральн. часть
Фульватная	менее 0,2	отсутствует	наиболее агрессивное
Гуматно-фульватная	0,2–0,5	слабое	агрессивное
Фульватно-гуматная	0,5–0,7	среднее	слабо агрессивное
Гуматная	более 0,7	сильное	инертное

Фульватный тип подстилки характерен в основном для притундровых и северотаежных, преимущественно темнохвойных лесов, гуматно-фульватная - для хвойных и хвойно-широколиственных. Подстилки фульватно-гуматного типа свойственны широколиственным и смешанным лесам; гуматного – для лесостепи и широколиственных лесов. Характер и свойства лесных подстилок хорошо согласуются с типами лесных биогеоценозов, с типами леса таежной зоны

По данным С.П. Кошелькова, (1967) таежным лесам свойственны следующие типы лесных подстилок: ельникам – слабогумусовые, гумусовые, торфяные; соснякам – сухогумусовые сухоторфянистые, торфяные. Каждый из перечисленных типов характеризуется определенным содержанием общих углерода и азота, доступными формами азотсодержащих веществ, кислотностью и суммой обменных оснований. Наибольшие запасы углерода отмечены в торфяных и торфянистых подстилках. Азот же здесь напротив в малодоступной форме.

Мулловые подстилки в отличие от грубых и кислых характеризуются активно текущими процессами нитрификации. Различия в темпах минерализации органики и в ходе нитрификации органики в этих условиях обусловлены структурой древостоев и следовательно – структурой опада. Примесь в ельниках березы повсеместно оказывает благоприятное влияние на свойства подстилки. Способствуют гумификации органогенных горизонтов такие породы, как липа, лещина, лиственница, бук, ильмовые, ольха, граб, ясень. Знание вклада названных пород в течение процессов биологического круговорота позволяет лесоведам в определенной степени управлять почвообразованием.

Таким образом, лесная подстилка, защищая поверхность почвы, способствует поддержанию слоя в рыхлом состоянии, благоприятном для прорастанию семян и приживания всходов, Такая подстилка не препятствует свободному проникновению влаги в глубь почвы и препятствует иссушению поверхностного слоя. Разные элементы (части) лесных подстилок содержат неодинаковое количество питательных веществ. Весьма по-

казательными оказываются в этом отношении данные по южной тайге. Н.П. Ремезова с коллегами, (1959; табл. 55).

Таблица 55. Обеспеченность элементами питания разных слоев подстилки и потребление их насаждениями разных

Элемент питания	В слое				Потребление
	A' ₀	A'' ₀	A''' ₀	всего	
Ельник 60 лет					
Ca	35,5	97,1	77,0	209,6	44,0
Mg	3,0	24,7	30,4	58,1	10,0
K	6,9	10,7	9,1	26,7	18,0
P	4,0	9,0	9,1	22,1	14,6
S	3,7	6,6	8,1	18,4	15,2
N	33,8	119,3	133,7	236,8	40,0
Березняк 60 лет					
Ca	14,4	83,7	135,7	233,8	63,0
Mg	3,4	29,4	29,3	52,1	8,0
K	3,3	10,9	5,4	19,6	45,0
P	2,2	12,7	18,5	33,4	12,0
S	1,4	12,7	45,6	59,7	6,0
N	14,5	108,7	128,1	257,3	67,0

Согласно табл. 55, существенных различий между насаждениями в распределении элементов питания по профилю органогенного слоя не прослеживается. Доля практически всех элементов возрастает по мере разложения (минерализации) органики – повышается с глубиной органогенного слоя. В березняке ощутимо выше общая масса элементов и прежде всего азота и кальция. Различаются насаждения также по массе потребленных элементов фосфора и серы. Налицо проявление почвоулучшающий (в сравнении с елью) эффект березы на участке.

Лесная подстилка представляет собой благоприятную среду для размножения грибов, бактерий, с которыми связана биологическая активность в ее среде. Разложение органики лесных подстилок в зависимости от их состава, мощности и микроклиматических условий местообитания протекает разными темпами. Различия прослеживаются как по слагаемым ее фракциям, так и по вертикальному профилю.

Часть материалов подстилки под действием содержащихся в них ферментов, влаги, комплекса физических условий полностью минерализуется, образуя воду, углекислоту, метан, минеральные соли. Другая, служащая пищей армии простейших, проволочников, ногохвосток, клещей, червей и др. идет на построение тел этих организмов. Часть органики подстилок под влиянием грибов и бактерий превращается в новые сложные органические соединения, в гуминовые и фульвокислоты и их соли.

Большую роль в минерализации вещества лесных подстилок играют ферменты, большую часть которых в органогенном горизонте «производят» микроорганизмы. Часть ферментов содержатся в клетках самих умерших растений.

Интенсивность минерализации почвенной органики хорошо индицируется интенсивностью дыхания почвой. Последнюю легче всего оценивать по удельной массе выделяемой углекислоты за единицу времени. Этот показатель в почвоведении называют биологической активностью подстилки (почвы). Наибольшей биологической активностью в лесу при прочих равных характеризуются горизонты подстилки и наиболее насыщенные активными (тонкими) корнями горизонты ризосферы. Эти горизонты оказываются наиболее насыщенными микроорганизмами, без деятельности которых невозможно образование гумуса. Гумус по-существу является продуктом жизнедеятельности многих поколений полчищ микроорганизмов. Существенно, что разные формы микроорганизмов характеризуются своими особенностями жизнедеятельности, обладают избирательным воздействием на разные фракции подстилки.

Различия в структуре опада и в составе подстилки, обусловленные структурой насаждений разных типов леса обуславливают высокую изменчивость содержания гумуса в почвах и в сезонной его динамике (рис. 87).

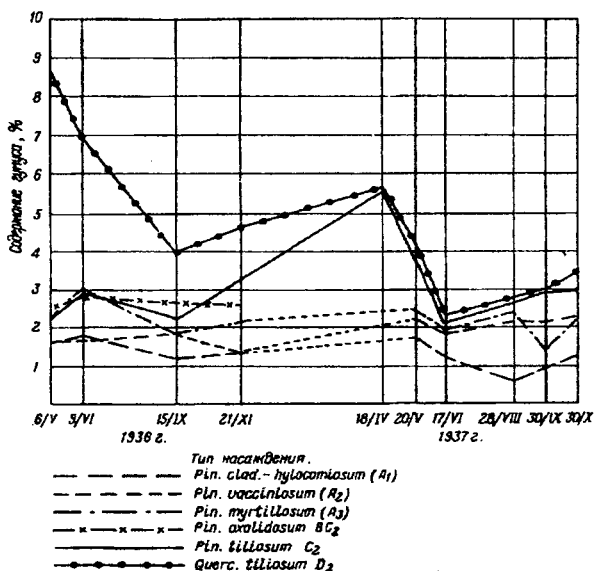


Рис. 87. Изменение содержания гумуса в течение вегетационного периода в почвах разных типов насаждений (по Н.П. Ремезову, П.С. Погребняку, 1965)

Последствия деятельности редуцентов еще более разнообразятся, в связи с различиями в структуре подстилки, обусловленными разной структурой древостоя, географическими условиями местообитаний. Может проявляться влияние деятельности человека (рубки, пожары, рекреация и т.п.).

Активная ризосфера

В разложении подстилки кроме микроорганизмов большое участие принимают грибы, прежде всего – актиномицеты. Очень разнообразна также бактериальная флора. Среди бактерий различают группы аммонифицирующих, нитрифицирующих денитрифицирующих и др. Биологическая активность лесных почв неоднородна по площади насаждения. Большое влияние на активизацию минерализации подстилки оказывают корневые системы деревьев, выделение корнями активных биохимических веществ.

Под влиянием деятельности корневых систем и смыва с крон минеральных веществ в центрах размещения деревьев появляются круговые «почвенные гнезда», «чаши», отличающиеся химическими свойствами от свойств межкроновых пространств. Наиболее активны в этом отношении липа, дуб, ясень, тополь. Под деревом липы «чаша-аномалия» прослеживается уже через 3–5 лет. Содержание гумуса, участие Са, Mg здесь в три раза выше, чем под елью и в пять раз больше, чем под сосной. Весьма важно, что почвы под одной породой в разных местообитаниях более схожи, чем почвы под разными породами в одном местообитании. (типе леса). На месте дерева образуется своеобразное экологическое поле, которое прослеживается в течении многих десятков лет.

При рассмотрении складывающегося баланса питательных веществ в лесных почвах не всегда учитывается обстановка в ризосфере. В частности, весьма важной оказывается роль тонких корневых окончаний и сосредоточенных на них микроорганизмов. Исследования А.И. Ахромейко, (1965) показывают, что роль тонких корневых окончаний и находящихся на них микроорганизмов далеко не исчерпывается увеличением биологической активности и тем самым повышением в ризосфере доли доступных форм зольных элементов.

Наблюдаемое повсеместно массовое отмирание корневых окончаний в процессе их замены, особенно четко проявляющееся в периоды ухудшения условий увлажнения, служит значимой статьей поступления зольных

элементов в ризосферу. Особенно велико количество питательных веществ в микроорганизмах, также отмирающих вместе с корневыми волосками и поставляющих питательные вещества живым корням. Основной пищей для ризосферных организмов служат корневые выделения, «непосредственно и немедленно» поглощаемые сосредоточенными на них микробами. Среди процессов прямого воздействия на почву – биохимическое воздействие корневых систем древесной и иной лесной растительности. Это воздействие проявляется в нескольких направлениях. Имеет значение прежде всего выделение в ризосферу корневыми системами в живом виде метаболитов, а в мертвом виде - продуктов разложения органики (при гниения отмирающих корней), Это воздействия биохимического свойства. По мнению А.И. Ахромейко, (1965) корневые выделения являются для древесных растений такими же физиологическими процессами, как фотосинтез, транспирация, дыхание.

Однако у разных древесных пород эта ритмика неодинакова, хотя большей частью имеет суточный и сезонный режимы. Опыты, проведенные Ахромейко с сеянцами дуба и ясеня показали, что при нормальном функционировании происходит обогащение прилегающей к корням растений почвы фосфором. Установлено, что корневые выделения являются пищей многочисленным микроорганизмам, обитающим в ризосфере и способствуют таким образом активации биохимических процессов разложения мортмассы.

Удалось установить, что через корневые выделения происходит передача питательных веществ от одного дерева другому. Наиболее активно передача происходит от липы к липе и от дуба к клену. Передача происходит при контакте корней, возраст, вид, род, семейство растений не имеет значения. Опровергнуты утверждения исследователей, что передача элементов питания от растения к растению может происходить только при срастании их корней.

Влияние корневых выделений интенсифицирует почвообразовательный процесс также посредством прямого воздействия на грунт. Химически активные вещества способствуют расщеплению минералов почвенной толщи, как первичных, так и вторичных. По каналам отмирающих корней в толще почво-грунта распространяется влага обогащенная кислородом, углекислотой. В результате усиливающегося выветривания, увеличивается мощность почвенного слоя.

Роль корневых выделений и обусловленного корневой аэрацией усиления выветривания почвообразующей горной породы пополняется

влиянием на почвообразовательные процессы отмирающих корней и массы микроорганизмов. Постепенное отмирание всасывающих корней и сосредоточенных вокруг их массы микроорганизмов обогащают ризосферу доступными элементами питания, способствует усилению выветривания горных пород (первичных и вторичных минералов).

По мнению Ахромейко в серых лесных почвах масса микроорганизмов доходит до 10 т на гектаре. Содержание азота в бактериальной массе достигает 250, P_2O_5 – 100 кг, K_2O – 60 кг, Na_2O – 50 кг, CaO и MgO – 24 кг на га. Сосна или дуб в 60 летнем возрасте содержат 15–20 кг P_2O_5 , 60 кг N, 30 кг K_2O . В процессе функционирования и обмена веществ сосновое или дубовое насаждения будут ежедневно в течение вегетации выделять в почву в порядке физиологических процессов около 6 % поглощаемых веществ что значительно превышает сумму поглощенных и связанных микроорганизмами элементов.

Роль отмирающих корней в снабжении почв питательными веществами рассмотрена А.Я. Орловым (цитируется по Н.П. Ремезову и П.С. Погребняку, 1965). Обстоятельно проанализированы фракционная структура корневых систем в культурах ели 25 и 50 летнего возраста. Ученый приводит следующие расчеты и логику осмысления полученных результатов. В ельнике 50 летнего возраста корни с диаметром 0,5 см составляют 1,8 т/га. Из этой величины следует вычесть вес корней диаметром 0,3–0,5 мм, представляющих собой многолетние образования. Следовательно масса корневых окончаний и наиболее тонких проводящих тонких корней (предмет исследований) составляет примерно всего 5–8 % или примерно 1,2 т/га. Если принять среднюю продолжительность жизни корневых окончаний в 2 года, то ежегодный отпад сосущих корней составит 0,6 т/га. Средняя продолжительность минерализации проводящих корней в ризосфере – 3–5 лет (4 года). Тогда ежегодная величина отпада сосущих корней около 0,5 т/га, что близко к величине ежегодного отмирания. Получается: существует определенный баланс между этими величинами.

Существенно, что отмирающие сосудистые корни будут обогащать подвижными соединениями верхние горизонты почвы, где в основном и расположены эти элементы корневых систем деревьев.

Представление о параметрах биологического круговорота в лесных биогеоценозах дает рис. 88, характеризующий основные потоки элементов-биофилов в дубовом лесу с подлеском в штате Калифорния.

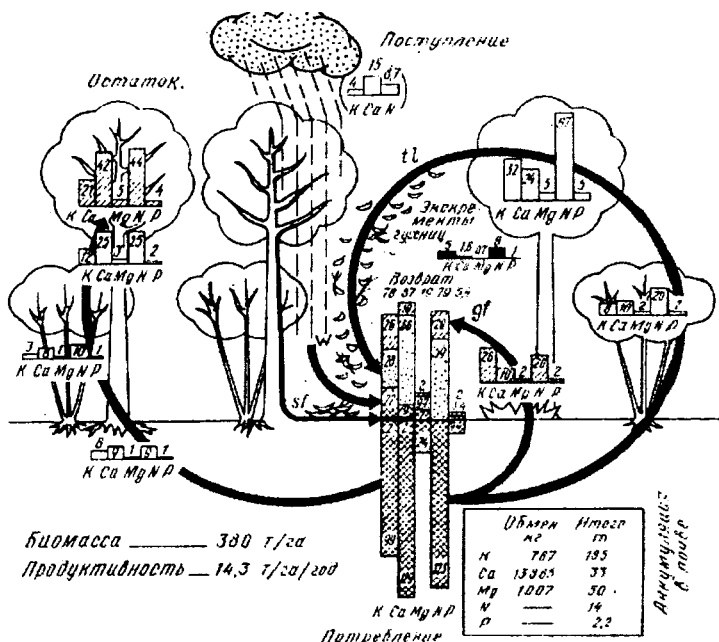


Рис. 88. Годовой круговорот питательных веществ: калия, кальция, магния, азота и фосфора (кг/га в дубовом лесу с подлеском в Калифорнии; по С. Спурр и Б. Барнес, 1984)

В бореальной зоне составляющие биологического круговорота будут несколько иными. По данным многих почвоведов (Зайцев, Ремезов, Роде, Зонн, Вайчис и др.) в зоне хвойно-широколиственных лесов и в особенности в таежной зоне не только ниже общая биомасса, но и меньше участие в круговороте таких элементов, как азот, калий, кальций.

Парцеллярность почв

Почвоведрами, в том числе специалистами по лесным почвам давно обсуждается явление пестроты почв (Щербаков, 1961; Дылис и др., 1961; Карпачевский, Киселева, 1968, Карпачевский и др., 1969, 1971 и др.). Хотя мнения на причины этого явления различны, большинство ученых считают, что происхождение мозаичности свойств почв не обходится без влияния лесной растительности.

Исследования почв в связи со структурой елово-широколиственных лесов Подмосквья (Карпачевский и др., 1971) убедительно показывают на существенное влияние растительного покрова на свойства почв. Анализ парцеллярной структуры распространенных типов ельников дубово-волосисто-осоковых, липо-ельников, дубо-липняков, ельников липовых, ельников зеленомошно-волосистоосоковых и др. показал на наличие пестроты почвенных свойств.

Вслед за предшественниками цитируемые исследователи приходят к однозначному выводу о существовании двух типов пестроты почвенных условий: *межбиогеоценотической* и *внутрибиогеоценотической*. К первой группе относят чередование свойств почв в пределах катены, и в связи с мезо-и макрорельефом, обусловленное сменой биогеоценозов. К второй группе относят изменения почвенного покрова, обусловленные неоднородностью внутренней структуры биогеоценозов. Эта изменчивость в пределах одного БГЦ одного типа леса в первую очередь связана с парцеллярной структурой насаждений.

Оказалось, что условия почвообразования в парцеллах часто существенно различаются. Особенно велики различия между почвами группы еловых парцелл и парцелл лиственных пород. Эти различия обусловлены неодинаковым поступлением осадков и растворенных в них веществ на поверхность почвы (в зависимости от размеров и структуры крон в ярусе эдификаторов). Существенно различаются по парцеллам не только величина и структура опада, но также интенсивность его разложения. Различия в интенсивности минерализации органики обусловлены, в свою очередь различиями в химизме процессов разложения разных материалов и различиями в составе биоты редуцентов.

Итак, сходство парцелл по растениям - эдификаторам обуславливает однородность местообитаний по поступлению осадков, по структуре и массам опада. От почв парцелл лиственных пород к почвам еловых возрастает степень оподзоленности, морфологическая выраженность горизонта A_2 , уменьшается степень «дерновости» и, следовательно, гумусированность почв. Более высокая степень оподзоленности приводят к более легкому механическому составу в горизонте 0–40 см.

Разнокачественность легкоподвижных органических веществ, поступающих в почву в разных парцеллах, приводит к неодинаковому насыщению почвенного поглощающего комплекса. Выявлены достоверные связи между типами парцелл и содержанием обменных Ca, Mg, Al в их почвах.

Степень оподзоленности почв по парцеллам прослеживаются, прежде всего, по содержанию Al.

Важное место занимает физическое рыхлящее воздействие корней на почвообразующие породы главным образом биохимического характера. Прodelанные корнями «ходы» после их отмирания и разложения органики представляют собой каналы поступления в грунтовые толщи влаги, воздуха, активных биохимических веществ. Нельзя сбрасывать со счетов громадную силу гравитационного давления, силу тяжести, какую представляет масса древостоя. Можно предполагать, что наиболее неблагоприятно гравитационное (сила тяжести) воздействие на почву в насаждениях с поверхностными корневыми системами.

Сложная биологическая (биокоcная) система «почва-лес-почва» является динамическим образованием. Она постоянно функционирует в режиме биологического круговорота, подчиняясь общим природным закономерностям, в том числе нескольким видам ритмики. Четко проявляется тесная взаимосвязь протекающих в почвенном покрове процессов с климатическими факторами. С определенного уровня эволюционного развития лес начинает оказывать существенное влияние на почвенный покров.

Емкость и интенсивность биологического круговорота в лесу во многом зависит от климатических условий. Комплекс климатических факторов (теплообеспеченность, условия увлажнения и др.) определяют как объемы и структуру включающейся в круговорот фитомассы опада, так и скорости прохождения ее по цепочке аккумуляция – разложение – минерализация. Лесной полог создает свой специфический микроклимат, существенно влияющий на течение всех метаболических процессов

Весьма существенный акцент в затронутый вопрос о воздействии лесных экосистем на почвенные условия, вносит развивающееся в последние десятилетия учение о закономерной, природно обусловленной неоднородности, пестроте почвенных условий в пределах лесного биогеоценоза. Явление это давно известно фитоценологам, однако, на него долгое время принято было «закрывать глаза», поскольку оно не вписывалось в классические представления о всемерно согласованном взгляде на «однородности» (неделимость) фитоценоза.

На разнокачественность свойств почв парцелл еловых и смешанных лесов Подмоскoвья оказывает привнос в насаждения химических элементов с пылью и осадками. обстоятельные исследования этого вопроса выполнены под руководством Л.О. Карпачевского (Карпачевский и др, 1971 и др.). Осадки, проходя через полог насаждения, обмывая листву, кору и ветви

деревьев, существенно изменяют свои свойства, изменяются количественно. Вместе с осадками на поверхность почвы поступают такие элементы, как N, P, K, Ca, Na. (элементы – биофилы). В осадках обнаруживается также множество других химических элементов (Mn, Fe, Ni, Ca, Cr, S). Просачиваясь сквозь кроны, осадки приобретают более кислую реакцию и приобретают большую химическую активность.

В районах исследований (Подмосковье) в атмосферных осадках содержится Na + K – 0,3–8,1 мг/л, Mg – 4,48 мг/л, Ca – 5,55 мг/л. Экологи отмечают значительное участие в дождевых осадках NH_4 . В пересчете на гектар площади количество поступающих ингредиентов достигает существенных значений: 11 кг/га; Na + K 22 кг/га; Mg 22 кг/га Ca – до 26 кг/га и некоторых других элементов. Примечательно, что концентрация химических элементов в осадках изменяется в течение года (табл. 56).

Таблица 56. Концентрация химических веществ в осадках (мг/л) открытых мест по А.А. Колодяжной (цитируется по Карпачевский и др., 1971)

Срок	Na+K	Mg	Ca	NH_4	NO_2
Январь	2,20	0,22	0,80	0,05	0,01
Февраль	1,75	0,28	0,90	0,04	0,01
Март	1,80	0,25	0,75	–	–
Апрель	2,70	3,30	3,82	1,2	следы
Май	1,31	6,90	4,20	1,7	0,02
Июнь	1,20	3,50	1,50	–	–
Июль	1,70	5,40	12,50	0,20	0,01
Август	0,30	2,50	5,60	1,20	0,01
Сентябрь	0,40	0,90	3,60	3,00	0,01
Октябрь	0,93	7,70	3,32	1,70	1,70
Ноябрь	6,69	11,24	7,26	1,70	0,11
Декабрь	8,10	11,30	11,20	3,20	0,02
за год	2,34	4,72	4,62	1,16	0,16
В среднем за вегетацию	0,97	4,48	5,55	1,28	0,29

Учеными отмечены существенные различия в составе осадков, унесенных на открытых местах и прошедших через пологое леса. Это подтверждает мнения о том, что часть веществ поступает при смыве их с полого леса (с крон, со стволов деревьев). Анализ вод, стекающих по стволу, показал довольно значительные концентрации в них химических элементов (до 160 мг/л Ca; до 40 мг/л Mg; 20 мг/л K; 6 мг/л P_2O_5). Наиболее высокие концентрации отмечаются в токах по стволу ели. Показательно, что реакция

осадков проникающих под полог насаждений разных формаций преобладающих пород не остается одинаковой. Ель существенно подкисляет влагу (рН 3,7). Под березняками кислотность существенно варьирует (рН 3,5–6,4). Осадки, проникающие сквозь полог дуба – оказываются постоянно слабокислыми (рН 5,2–5,6).

Расчеты показывают на существенное варьирование количества и состава веществ, поступающих под полог насаждений разного состава. Высокое поступление калия отмечается в ельниках (9,5 кг/га в год). Под пологом березовых и осиновых парцелл поступает до 13,7 кг/га Са, под пологом дубовых куртин поступает 6,5–5,1 кг/га Mg. Оказалось, что в составе проникающих под полог леса осадков оказывается неодинаковое содержание ряда органических веществ.

Безусловно, привнос с пылью и осадками существенного количества химических элементов не может не сказаться на химических свойствах почв насаждений разного породного состава. Складывающаяся неоднородность биохимической ситуации в ризосфере насаждений под влиянием различий в структурно-биологических круговоротах изменяли общую картину лесорастительных условий. Это явление характерно для районов с высокими уровнями промышленных выбросов в окружающую среду, в особенности в районах деятельности предприятий, основывающихся на переработке сырья карбонатных горных пород.

При прочих равных наиболее благоприятные условия для леса складываются в местообитаниях лиственных пород. Под влиянием неоднородности складывающейся биохимической среды в ризосфере смешанных по породному составу насаждений отмечается различие в развитии корневых систем. Известно, что ход роста корней деревьев в большой степени зависит от почвенных условий..

Микориза и питание древесных растений

Особое место в обеспечении древесной растительности элементами питания и влагой занимает микотрофное питание. За счет микоризы существенно расширяется поглотительная способность корневых окончаний. Это удивительное изобретение природы, радикально усовершенствовавшее питание и влагообеспечение организмов двух полярно различающихся по уровню биологической организации царств высших растений и грибов. Усиление снабжения с помощью микориз питательными веществами древесных растений обуславливается по мнению ученых тремя факторами:

- повышением выделения корнями в этих условиях углекислоты и минеральных веществ;
- «усиленным перевариванием» содержащих азот, фосфор и калий гиф гриба;
- способностью микориз усваивать и передавать растениям недоступные для них питательные вещества, находящиеся в почве в виде различных органических соединений.

Так называемое симбиотическое сожительство грибов с корнями древесных пород довольно широко распространено в лесах всех природных зон. Различают несколько форм реализации такого симбиоза. С позиций анатомического строения принято выделять микоризу *эктотрофную* и *эндотрофную*. Первая форма обязана исключительно базидиальным грибам, вторая – фитомицетам. Базидиальные грибы сожительствуют с древесными породами, фитомицеты – главным образом с травянистыми растениями. Исключение составляют лишь несколько видов (ясень тюльпанное дерево, некоторые виды плодовых образующих микоризу с фитомицетами).

Различные виды грибов способны образовывать разнообразные формы симбиоза микоризы. Можно говорить о породах – микоризообразователях факультативного типа, и видах отблагатных в отношении симбиоза с грибами. Первые связаны с грибами достаточно устойчиво и повсеместно, вторые – могут какое-то время или в ряде местообитаний обходиться без помощи грибов. Дендрологи различают *сильно микотрофные* и *слабо микотрофные* виды. К первым относят все хвойные, дуб, бук, граб, ко вторым – вяз, ивы, тополь, осину, липу, клены, рябину. Выделяют виды *немикотрофные* (эвкалипты, гледичия, белая акация).

Для эндотрофной формы микориз характерно образование плотного чехла из гифов грибов на молодых, не опробковевших окончаниях корней и внедрение гифов в межклеточные участки коры. Эктотрофная микориза характеризуется проникновением гифов грибов в клетки корней деревьев. Это более глубокая форма симбиоза. В местообитаниях древесных растений верхние горизонты почв пронизаны гифами микоризообразующих грибов, корневые волоски на корнях не образуются и корни контактируют с почвой только через грибной мицелий. С глубиной микоризность довольно быстро падает. Большая часть питательных веществ (прежде всего, азота и фосфора, а также калия, магния, железа) поступает в корни древесных растений через микоризу.

Принято считать, что микориза существенно улучшает с помощью гриба питание деревьев, ускоряет их рост. У большинства древесных растений благодаря микоризам, существенно увеличивается активная поглощающая поверхность, что имеет значение не только для мобилизации почвенных питательных веществ, но и для поглощения воды.

Особенно улучшается поступление в корень дерева азота, благодаря расщепления гумуса почвы грибом. Вследствие поставки грибом в корень дерева ростовых веществ отмечается активизация обмена веществ. Наиболее ощутима роль микоризы на почвах крайне бедных местообитаний. Гриб получает от сожительства стабильное обеспечение и снабжение растворенными углеводами. Есть предположение, что гриб получает от растения симбионта некое ростовое вещество, обеспечивающее нормальное развитие гриба, способность образовывать спорофору. Эффективность симбиоза древесных растений с грибами взята на вооружение лесоводами. Искусственное «заражение» грибом используется при рекультивации неудобий и нарушенных промышленностью, сильно загрязненных земель.

К числу явлений прямого влияния на свойства почв относится формирование растительным покровом леса специфического микроклимата почвы. При рассмотрении этого аспекта следует заметить, что отнесение его целиком в пользу фактора прямого действия не совсем корректно, поскольку отделить в последствиях природу прямого и опосредованного влияния на тепловой и влажностный режим почвы здесь весьма затруднительно.

Среди микроклиматических следствий влияния древесного полога важное значение занимает формирование теплового режима почвы. В лесу, как известно, поверхность почвы нагревается значительно меньше, чем на открытом месте. Вместе с тем, под пологом насаждения значительно уменьшается тепловое длинноволновое излучение почвы, т.е. лес способствует снижению потерь тепла за счет излучения.

Интенсивность метаболических процессов в почвенной среде в большой степени зависит от теплового, водного и воздушного режимов. Имеет значение также режим освещенности. Активность микрофлоры и фауны почв подчиняется определенной ритмике, связанной с суточными и сезонными изменениями микроклимата леса.

Очевидно, что влияние леса на микроклимат почвы во многом зависит от свойств насаждения. В высокосомкнутых сообществах, в темнохвойных лесах, в букняках (бучинах) и в сложных по форме насаждениях

разница в тепловых условиях между лесом и открытыми участками всегда будет больше, чем в сосняках, лиственничниках, в березняках.

Различия в тепловых режимах почв между участками прослеживаются не только на поверхности, но также на некоторой глубине. Вниз по почвенному профилю разница в тепловых условиях разных с местообитаний уменьшается но не исчезает полностью. Известно, что на глубине 1,0 м разница среднегодовых температур между участками леса и открытыми может достигать 2,0 градусов.

Очень важно, что температурный режим лесных почв меньше подвержен колебаниям, как в суточном, сезонном, так и многолетнем ритмах. Почва в лесу значительно позднее и на значимо меньшую глубину промерзает. Это обстоятельство имеет исключительно важное значение для поддержания благоприятного режима стока: значительно большая часть стока предстает в виде грунтового-почвенного, в то время как на открытых участках в стоке преобладает поверхностная составляющая.

Свои специфические особенности имеют влажностный и воздушный режимы в почвах под лесом. Режим увлажнения в лесу, как уже отмечалось, во многом определяется уровнем грунтовых вод, физико-механическими свойствами почвообразующих пород, выраженностью рельефа, а также – режимом и суммой осадков. На условия почвенного увлажнения оказывают влияние корневые системы растительности, прежде всего древостой. Ранее это обстоятельство рассматривалось. Корни рыхлят почву, увеличивая ее скважность, проделывая глубокие каналы. Проникая глубоко внутрь почвы и подпочвы, выходя на дневную поверхность, мигрируя по генетическим горизонтам, воздействуя на материнскую породу, почвенные воды не только растворяют и извлекают питательные элементы, но и участвуют в важнейших последующих процессах почвообразования. Установлено, что наиболее благоприятно воздействуют на почву древесные породы с мощным развитием и широким разветвлением корневых систем (лиственница, бук, береза, ясень, дуб). Принято считать, что смешанные по составу пород насаждения обладают большим почвоулучшающим эффектом, чем чистые по составу.

На свойства почв в тайге Прибайкалья оказывают влияние условия и режим увлажнения, в свою очередь формирующиеся под влиянием структуры насаждений (Горбатенко, 1979). Различия, обусловленные составом пород и экспозицией склонов, начинают проявляться уже в период снеготаяния. Интенсивность снеготаяния и поверхностный сток в этот период зависят главным образом от двух факторов суточной суммы температур и

сомкнутости полога, зависящей от состава древостоя и строения полога. Полог кедровника баданового снижает коэффициент стока в период снеготаяния в 3,4 раза, а в период дождей – в 4,9 раза.

Существенное значение для микроклимата почв имеет влияние полога насаждений на осадки. В насаждениях разного породного состава и структуры полога в результате перераспределения осадков пологом леса все показатели условий увлажнения почв оказываются разными (Карпачевский и др., 1971). Исследования Подмоскovie показали, что во всех типах еловых лесов в еловые парцеллы попадает в среднем лишь 31–58 % осадков, проникающих в окна, в парцеллы дуба 59–87 % в парцеллы березы – 67–100 %. Соответственно, почвы пятен ели в таких насаждениях будут характеризоваться определенной сухостью.

Таким образом, лесные насаждения оказывает огромное влияние на почвообразовательный процесс занятых ими земель, придавая ему определенную специфику.

Представления об ухудшении ряда свойств почв занятых лесной растительностью пока остаются не подтвержденными. Если свойства лесных почв и оказываются менее благоприятными, то это скорее всего следует относить на присутствие нелесной растительности.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Леса, представляя на пространствах России наиболее значимую по распространению и самую существенную по результирующему эффекту влияния на среду биосферы составляющую, оказывающие огромное социальное и экономическое влияние на развитие цивилизации, вправе надеяться на более внимательное к ним отношение человека. Пока что россияне не показывает себя подлинными хозяевами доставшего им богатства, не озабочены сохранением и рачительным использованием многообразия сырьевых, экологических, нравственных и оздоровительных прижизненных полезностей леса.

К сожалению, не очень обременены россияне также знаниями о жизни и функционировании этого удивительного явления природы, хотя школьное образование дает вобщем-то неплохие представления о природе родного края, о многообразии жизни в распространенных ландшафтах. Возможно, не способствует развитию интереса к жизни лесных экосистем их «всюдность», их широкая представленность в мире. Для многих россиян лес всегда рядом, всегда открыт, всегда доступен и к тому же не способен о себе заявить, не может пожаловаться на невнимание и на обидчиков.

Лес выделяется из себе подобных природных экосистем высоким средообразующим эффектом. Являясь прямым продуктом комплекса природных условий своего местообитания, лесное сообщество существенно влияет на эту среду, преобразует ее. Лесное сообщество является важнейшей составляющей климатических условий территорий на разных уровнях: от глобального до местного (локального), до микроклимата. Через активное подключение к биосферному круговороту вещества лес выступает в роли деятельного агента почвообразования и сохранения почв. При этом лесное почвообразование отличается рядом специфических особенностей.

Очень сложные взаимоотношения складываются у леса с влагой биосферы. Именно благодаря огромной физиологической фильтрующей преобразующей химическую природу этой субстанции роли леса поддерживается на планете статус воды, как возобновляемого природного ресурса. Вода выполняет множество незаменимых для поддержания жизни функций на планете. Не случайно воду называют «основой жизни и самой жизнью».

Автор хотел бы надеяться, что представленное в книге возможно излишне упрощенное, местами поверхностное рассмотрение перечня эколо-

гических факторов существования леса и характера взаимоотношений с этими факторами лесных сообществ разных природы и географии, помогут вызвать интерес у читателей, прежде всего студентов, аспирантов природоохранных лесобиологических и экологических направлений.

Действующие в стране университеты, Институты системы РАН и Научные отраслевые институты прикладного типа сегодня располагают огромным научным багажом по многим вопросам, в том числе по вопросам Лесоведения, лесной экологии.

Автор не оставляет надежду второй том книги посвятить рассмотрению не менее сложных взаимоотношений лесных экосистем с экологическими факторами в условиях антропогенеза. Огромный интерес представляют вопросы взаимоотношений лесных экосистем и промышленной лесоэксплуатации, взаимоотношения с лесным пожарами, с осушительной гидролесомелиорацией, с техногенным загрязнением среды обитания.

ЛИТЕРАТУРА

Акулова Е.А., Жмур Д.Г., Цельникер Ю.Л. Количество и спектральный состав света под пологом леса разной сомкнутости и состава / [Текст] // Ботан. журнал. 1966. Т. 51. № 6.

Алексеев В.А. Некоторые вопросы оптических свойств леса / [Текст] // Проблемы экологии и физиологии древесных растений. Л.: Изд-во ЛТА. 1963.

Алексеев В.А. О пропускании солнечной радиации пологом Древо-
стоев // Световой режим, фотосинтез и продуктивность леса. М. Наука. 1967.

Алексеев В.А. К характеристике режима фотосинтетически активной радиации (ФАР) под пологом сосновых древостоев Ленинградской области / [Текст] // Механизмы взаимодействия растений в биогеоценозах тайги. Л. Наука. 1969. С. 5–24.

Алексеев В.А. Приход ФАР на уровне отмирающих ветвей как показатель теневыносливости сосны обыкновенной / [Текст] // Лесоведение. 1973. № 4. С. 40–45.

Алексеев В.А. Световой режим леса. / [Монография] Л.: Наука. 1975. 225 с.

Аристовская Т.В. Микрофлора как важнейший компонент биогеоценоза / [Текст] // Лесоведение. 1967. № 4. С. 47–54.

Афанасьев А.П. Фанерозойские коры выветривания Балтийского щита / [Монография] Л.: Наука. 1977. 244 с.

Ахромейко А.И. Физиологическое обоснование создания устойчивых насаждений. М.: Лесн. пром. 1965. 312 с.

Базилевич Н.Л. Биологическая продуктивность экосистем северной Евразии / [Монография]. М.: Наука. 1993. 293 с.

Базилевич Н.И., Родин Л.Е. Запасы и годичный прирост надземной и подземной фитомассы в биогеоценозах различных природных зон / [Монография] М.: 1965. 234 с.

Бгатов В.И. История кислорода земной атмосферы / [Монография]. М.: Недра. 1985. 88 с.

Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока / [Монография]. Л.: Наука. 1987. 278 с.

Бобкова К.С. Фитомасса древостоев // Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов Европейского Севера / [Текст] Л. 1981. 186 с.

Бобкова К.С. Еловые леса северной подзоны тайги / [Текст] // Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. С.-Петербург.: Наука. 2006. С. 99–198.

Бобкова К.С., Патов А.И. Еловые леса крайне северной подзоны тайги (притундровой зоны) // [Монография] // Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. С.-Петербург.: Наука. 2006. С. 34–51.

Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Углеродный цикл в еловых экосистемах / [Монография] // Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. С.-Петербург.: Наука. 2006. С. 265–288.

Бобкова К.С., Галенко Э.П. Приrost и эффективность использования солнечной радиации / [Монография] // Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов Европейского Севера. Л. 1981.

Богдановский Г.А. Химическая экология / [Монография] М. МГУ. 1994. 237 с.

Будыко М.И. Климат и жизнь / [Монография] // Гидрометеиздат. 1971. 472 с.

Будыко М.И. Эволюция биосферы / [Монография] Л.: Гидрометеиздат. 1984. 488 с.

Будыко М.И., Ефимова Н.А. Использование солнечной энергии природным растительным покровом на территории СССР / [Текст] // Ботан. Журн. 1968. Т. 53. № 10. С. 1384–1389.

Булавко А.Г. Прогнозирование изменений водного баланса вод влиянием хозяйственной деятельности / [Монография]. Л.: Гидрометиздат. 1971. 304 с.

Буренина Т.А., Онучин А.А., Стаканов В.Д. / Распределение жидких и твердых осадков / [Текст] // Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Новосибирск: СО. РАН. 2002. С. 48–49.

Бязров Л.Г., Дылис Н.В., Жукова В.М., Носова Л.М., Солнцева О.Н., Успенская Н.М., Уткин А.И. Основные типы широколиственно-еловых лесов и их производных Малинского лесничества Краснопахинского лесхоза Московской области / [Текст] // Биогеоценотические исследования в широколиственно-еловых лесах. М.: Наука. 1971. С. 7–150.

Бяллович Ю.П. О некоторых биогеоценотических основах теории фитомелиорации / [Текст] // Теоретические проблемы фитоценологии и биогеоценологии. М.: Наука. 1970.

Бяллович Ю.П. Системы биогеоценозов / [Текст] // Проблемы биогеоценологии. М.: Наука. 1973. С. 37–46.

Бяллович Ю.П. Биогеоценоотические основания теории систем лесов / [Текст] // Проблемы биогеоценологии // М.: Наука. 1973 С.47–57.

Вайчис М.В. Генезис и свойства лесных почв южной Прибалтики [Монография] Вильнюс: Минтис. 1975. 412 с.

Варфоломеев Л.А., Сунгуров Р.В. Почвенная экология лесных культур на Севере / [Монография] / Архангельск: СевНИИЛХ. 2007. 244с.

Ведь И.П., Поляков А.Ф. О методике изучения конденсационных осадков в лесах Крыма / [Текст] // Лесоведение. 1971. № 2. С. 90–95.

Вернадский В.И. Биосфера / [Монография] // Избр. соч. т.V Л. 1960. 422 с.

Возможности современных и будущих фундаментальных исследований в почвоведении / [Монография]. Перевод с англ. книги Garrison Spósito and Robert J. Reginato "Opportunities in Basic Soil Science Research" / Под научн. редакц. В.О. Таргульян. М: Геос. 2000. 138 с.

Волобуев В.Р. Климатические условия и почвы / [Текст] // Почвоведение. 1956. № 4. С.48–52.

Волосевич И.В. Закономерности широтной изменчивости роста древесной растительности в лесах Европейского Севера и их практическое использование [Текст] // Лесоводственные исследования на зонально-типологической основе Архангельск; АИЛиЛХ. 1984. С. 27–38.

Воробьев Д.В. Типы лесов европейской части СССР / [Монография] Киев. Изд-во Ин-та лесоводства АН УССР. 1953. 450с.

Воробьев Д.В. Лесотипологическая классификация климатов / [Текст] // Труды Харьк. с.-х. инст. Т. XXX. Харьков. 1961. С 235–250.

Воробьев Д.В. Методика лесотипологических исследований / [Монография] // Киев.: Урожай. 1967. 388 с.

Воронков Н.А. Влагооборот и влагообеспеченность сосновых насаждений / [Монография]. М.: Лесн. пром. 1973. 184 с.

Воронков Н.А. Роль лесов в охране вод [Монография]. Л: Гидрометеиздат. 1988. 287с.

Воронков Н.А. Кожевникова Н.А. К вопросу о промерзании почв в лесах Подмосквья / [Текст] // Лесоведение. 1970. № 1. С. 82–87.

Воронков Н.А., Кожевникова С.А., Павлушкин Л.Т., Шомполова В.А. Гидрологическая и метеорологическая роль лесных насаждений разного породного состава / [Текст] // Лесоведение. 1976. № 1. С. 3–10.

Второв П.Н., Дроздов Н.Н. Рассказы о биосфере / [Монография] М: Просвещение. 1976. 128 с.

Выгодская Н.Н., Жукова В.М. Рассеянная и поглощенная радиация в осиновых фитоценозах разного возраста // Биогеоценотические исследования в широколиственно-еловых лесах. М.: Наука. 1971. С.280–289.

Выгодская Н.Н. Радиационный режим 30-летнего дубняка в суточной и сезонной динамике // Световой режим, фотосинтез и продуктивность леса. М.: Наука. 1967.

Выгодская Н.Н., Зукерт Н.В., Садовнича Е.А. Статистические характеристики радиационного поля в зависимости от сомкнутости древесного яруса еловых насаждений / [Текст] // Лесоведение. 1973. № 5 С. 22–30.

Высоцкий Г.Н. О взаимных отношениях между лесной растительностью и влагой преимущественно в южно-русских степях / [Монография] СПб. 1904. 221 с.

Высоцкий Г.Н. О гидроклиматическом значении лесов для России / [Избранные труды] М. 1960. С. 125–150.

Гаврилова М.К. Радиационный режим в лиственных лесах Юго-Запада Якутии / [Текст] // Лесоведение. 1969. № 1. С. 16–23.

Галенко Э.П. Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса европейского Севера // Л.: Наука. 1983. 128 с.

Галенко Э.П. Фитоклиматический режим / [Монография] // Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Северо-Востока. Сыктывкар. 1993. 176 с.

Галенко Э.П. Фитоклиматические условия функционирования ельников / [Текст]//Коренные еловые леса: биоразнообразие, структура, функции. С.-Пб.: Наука. 2006. С. 192–214.

Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов / [Монография] М: Изд-во Моск. ун-та. 1988. 234 с.

Горбатенко В.М. Трансформация элементов водного баланса темнохвойной темнохвойными лесами хребта Хамар-Даман / [Текст] // Средообразующая роль лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск.: Наука. 1979. С. 49–69.

Горбатенко В.М. Трансформация элементов водного баланса темнохвойными лесами хр. Хамар-Дабан / [Текст] // Средообразующая роль лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск: Наука. 1979. С. 136–161.

Горышина Т.К. Экология растений [Учебное пособие] / М.: Высш. школа. 1979. 368 с.

Гукасян А.Б. Микроорганизмы как компоненты лесного биогеоценоза Проблемы лесоведения Сибири. М.: Наука. 1971. С. 170–182.

Дадыкин В.П., Кононенко Н.В. О теплотворной способности органического материала древесных растений / [Текст] // Лесоведение. 1975. № 2. С. 30–37.

Дмитриев Е.А., Карпачевский Л.О., Соколова Т.А., Строганова М.Н., Шоба С.А. Организация дерново-подзолистой почвы и структура лесного биогеоценоза // Структурно-функциональная организация биогеоценозов. М.: Наука. 1980. С. 184–219.

Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения. [Учебник для вузов] / М. 1999. 316 с.

Дьяков В.Н. Влияние состава насаждений на водный режим горных почв Карпат / [Текст] // Лесоведение. 1976. № 1. С. 11–17.

Дьяконов К.Н. Эффективность использования солнечной энергии растительных ПТК Центральной Мещеры / [Текст] // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1996. № 1. С. 45–52.

Дылис Н.В., Уткин А.И., Успенская И.М. О горизонтальной структуре лесных биогеоценозов // Бюллетень Московск. общ-ва испыт. Природы, отдел биолог. 1964. 69. № 4.

Дылис Н.В., Карпачевский Л.О., Носова Л.М., Чернова Н.М. Преобразование структуры и развития дубравы при внедрении ели / [Текст] // Лесоведение. 1975. № 2. С. 11–20.

Ефимова Н.А. Фосинтетически активная радиация на территории СССР / [Текст] // Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М.: Наука. 1966.

Ефимова Н.А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова / [Монография] // Л.: Гидрометеиздат. 1977. 216 с.

Животовский В.В., Иванов В.Ф., Костин Н.В. Динамика уровня грунтовых вод в сосновых насаждениях Южной Карелии / [Текст] // Моделирование лесных биогеоценозов. Петрозаводск: Кар. НЦ РАН. 1986. С. 12–17.

Зайцев Б.Д. Лес и почва / [Монография] М.: Лесн. пром. 1964. 163 с.

Зеланд М.Г., Иванов В.Ф. Строение и некоторые свойства подзолистых почв в связи с производительностью сосновых древостоев // Моделирование лесных биогеоценозов. Петрозаводск.: Кар. Фил. АН СССР. 1986. С. 68–99.

Зеланд М.Г. Режим кислорода в почвенно-грунтовых водах сосновых насаждений Южной Карелии // Моделирование лесных биогеоценозов Кар. Фил. АН СССР. Петрозаводск. 1986. С. 17–30.

Зеликов В.Д., Колюкаева М.П. / Почвоведение [Учебник] М: Лесн. пром. 1973. 230 с.

Золотокрылин А.Н. Микрометеорологические исследования в хвойных насаждениях Подмосквья / [Текст] // Лесоведение 1975 № 5. С. 3–11.

Зонн С.В. Влияние леса на почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 64 с.

Идзон П.Ф. Критерий водоохраной роли леса и его применение / [Текст] // Лесоведение. 1976. №.1. С. 18–27.

Кадетов Н.Г. Экологические подразделения биосферы и роль ООПТ в сохранении биоразнообразия / [Текст] // Роль особо охраняемых природных территорий в решении экологических проблем / Сб. материалов Всеросс. Научно-практич. конференции. Йошкар-Ола. Мар. Гос. техн. ун-верс. 2008. С. 11–14.

Казимиров Н.И. Экологическая продуктивность сосновых лесов. (Математическая модель)/[Текст] Петрозаводск: Карельск. НЦ РАН. 1995. 120 с.

Казимиров Н.И., Зеланд М.Г., Лядинский А.Г., Преснужин Ю.В. Проточность грунтовых вод, механический состав почвы и производительность сосновых насаждений / [Текст] // Моделирование лесных биогеоценозов, Кар. Фил. АН СССР. Петрозаводск. 1986. С. 40–68.

Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы / [Монография]. М.: Лесн. пром. 1981. 264 с.

Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе/ [Монография] М.: МГУ. 1977. 312 с.

Карпачевский Л.О., Киселева Н.К., Леонова Т.Г., Попова С.И. Пестрота почвенного покрова и ее связь с парцеллярной структурой биогеоценоза / [Текст] // Биогеоценозические исследования в широколиственных лесах. М: Наука. 1971. С. 151–224.

Карпов В.Г. Взаимные отношения между растениями, как фактор динамики лесного биогеоценоза // Лесоведение. 1967. 36. С. 23–35.

Китредж Дж. Влияние леса на климат, почву и водный режим / [Текст] М.: ИЛ. 1951. 459 с.

Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы / [Монография] / Отв. редактор проф. Н.Н. Филатов / Петрозаводск Кар. НЦ РАН. 2004. 224 с.

Коваль И.П., Битюков Н.Н. Экологические основы пользования лесом на горных водосборах (на примере Северного Кавказа) / [Монография] // Тр. НИИ горного лесоводства и экологии леса. Краснодар. 2001. 408 с.

Колосова М.И. Фитоценотическое значение строения проводящей системы древесных растений // Лесоведение. 19767. № 4. С. 26–34.

Коржинский С.И. Северная граница черноземной области восточной полосы Европейской части России. Тр. Общества естествоиспытателей. Казань 1988–1989.

Коровин А.И. Общие закономерности влияния низких температур и заморозков в начале вегетации на минеральное питание растений и эффективность удобрений / [Текст] // Устойчивость растений к низким положительным температурам и заморозкам и пути ее повышения М.: Наука. 1969. С. 144–152.

Кошельков С.П. Режим питания сосновых древостоев южной тайги // Лесоведение. 1967. № 4. С. 64–70.

Кошкарлова В.Л. // История развития растительности трансекта / [Текст] // Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Новосибирск.: Со РАН. 2002. С. 24–28.

Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения / [Монография]. Новосибирск. Наука. 1979.

Крестовский О.И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек / [Монография] / Л.: Гидрометеиздат. 1986. 118 с.

Крюденер А.А. Типы главных видов почво-грунтов // Лесной журнал. 1914 вып. 5.

Крюденер А.А. Основы классификации типов насаждений народно-хозяйственное значение в обиходе страны Ч. I, II. Петроград. Изд-во Управления уделов. 1916, 1917. 315 с.

Куркин К.А. Эколого-ценотический режим замкнутости луговых биогеоценозов / [Текст] // Проблемы билгеоценологии М: Наука. 1973. С. 137–148.

Лавриненко Д.Д. Взаимодействие древесных пород в различных типах леса / [Текст]. М.: Лесн. пром. 1965. 248 с.

Лавриненко Д.Д. Усовершенствование показателя увлажнения климата (W) Д.В. Воробьева с целью придания ему пригодности для различных климатических зон / [Текст] // Труды Харьк. с.-х. ин-та Т. 240. Харьков. 1977. С. 61–64.

Лаппо А.В. Следы былых биосфер или рассказ о том как устроена биосфера и что осталось от биосфер геологического прошлого / [Текст]. М: Мысль. 1987. 207 с.

Лархер В. Экология растений / [Монография] / Пер. с нем. М: Мир. 1978. 384 с.

Лебедев А.В. Водный и тепловой баланс природных комплексов / [Текст] // Среодобращающая роль лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск.: Наука. 1979. С. 79–135.

Лебедев А.В., Краснощеков Ю.Н. Водная эрозия, твердый сток и химизм вод // Среодобращающая роль лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск.: Наука. 1979. С.162–195

Лесные экосистемы Енисейского меридиана / [Монография] / Ответств. редактор докт. биол. наук, проф. Ф.И. Плешиков. Новосибирск.: Изд-во Сиб. отд. РАН. 2002. 356 с.

Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений / [Монография]. Пер. с нем. М.: Лесн. пром. 1974. 424 с.

Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и технические аспекты / [Монография] Апатиты.: Кольск. НЦ РАН. 1998. 316 с.

Лукина Н.В., Никонов В.В., Исаева Л.Г. Кислотность и питательный режим почв еловых лесов / [Текст] // Коренные еловые леса: биоразнообразие, структура, функции. СПб.: Наука. 2006. С. 215–232.

Львов П.Н. Европейский Север как лесоводственно-экономический район // Информ. бюлл. Научн. совета по компл. использ. таежн. террит. Иркутск. 1969. Т. 2. С. 83–89.

Мазинг В.В. Что такое структура биогеоценоза / [Текст] // Проблемы биогеоценологии. М: Наука. 1973. С. 148–157.

Манаков К.Н., Никонов В.В. Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера / [Монография]. Л. Наука. 1981. 196с.

Матвеев П.Н. Формирование снежного покрова в еловых лесах Тянь-Шаня / [Текст] // Лесоведение. 1968. № 1. С. 79–82.

Мелехов И.С. Значение и использование леса как составной части окружающей среды [Монография]. М: Изд. МЛТИ. 1977. 48 с.

Мелехов И.С. Лесоведение [Учебник] М.: Лесн. пром. 1980. 408с.

Мельчанов В.А. Накопление и таяние снега в лесу и на вырубках Среднего Урала / [Текст] // Лесоведение. 1973. № 5. С. 15–21.

Мигунова Е.С. Леса и лесные земли (количественная оценка взаимосвязей) / [Монография]. М: Экология. 1993. 364 с.

Молчанов А.А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах М. АН СССР. 1952. 488 с.

Молчанов А.А. Гидрологическая роль леса / [Монография] / М. Изд-во АН СССР. 1960. 454 с.

Молчанов А.А. Лес и климат / [Монография] М. АН СССР. 1961. 280.

Молчанов А.А. Лес и окружающая среда / [Монография]. М. 1968. 247с.

Молчанов А.А. Влияние леса на окружающую среду / [Монография] М: Наука. 1973. 359 с.

Молчанов А.Г. Радиационный режим березовых и еловых древостоев в зависимости от фенологического состояния/ [Текст] // Лесоведение. 1971. № 2. С. 31–37.

Никонов В.В. Почвообразование на северном пределе сосновых биогеоценозов / [Монография] Л.: Наука. 1987. 144 с.

Никонов В.В., Лукина Н.В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты.: Кольск. научн. центр. РАН. 1994. 315 с.

Огуреева Г.Н., Кривошук Д.А., Даниленко А.К. / Экологическое зонирование и экорегионы мира / [Текст] // География, общество и окружающая среда. Т 3. Природные ресурсы, их использование и охрана. М: «Городец». 2004. С. 388–392.

Осипов В.В. Расход воды на прирост органического вещества в некоторых биогеоценозах южной тайги / [Текст] // Лесоведение. 1971. № 2. С. 96–98.

Осипов В.В. К вопросу о влиянии леса на распределение осадков/ [Текст] // Лесоведение. 1967. № 4. С. 76–80.

Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир. 1975. 742 с.

Основы лесной биогеоценологии / [Монография] Под ред. В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса. М.: Наука. 1964. 574 с.

Орфанитский Ю.А., Орфанитская В.Г. Почвенные условия таежных вырубок / [Практические рекомендации]. М: Лесн. пром. 1971. 94 с.

Остапенко Б.Ф. Лесорастительное районирование и типология горных лесов. [Методические рекомендации] Харьков. 1979. 48 с.

Патриевская Г.Ф. Свет как экологический фактор в смене о растительности на залежах / [Текст] // Механизмы взаимодействия растений в биогеоценозах тайги. Л.: Наука. 1969. С. 71–83

Паулюквичус Г.Б. Оценка лесов в водоохранном и почвозащитном отношении [Текст] // Вопросы экономической оценки лесных земель. Вильнюс. 1973. С. 85–90.

Паулюквичус Г.Б. Роль леса в экологической оптимизации холмисто-моренных ландшафтов // Автореферат диссерт. На соиск. учен. степ. докт. биол. наук. по специальн. Экология, Красноярск. 1979. 35 с.

- Перельман А.И. Геохимия ландшафтов изд. 2. М.: Знание. 1975. 341 с.
- Пименова Г.С. Влияние леса на минимальный сток в зоне широколиственных лесов и в лесостепи европейской части СССР / [Текст] // Лесоведение. 1975. № 2. С. 3–10.
- Побединский А.В. Влияние рубок на стокорегулирующую роль лесов / [Текст] // Лесоведение. 1971. № 2. С. 26–31.
- Побединский А.В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов // [Монография] М.: Лесн. пром. 1979. 176 с.
- Погребняк П.С. Основы лесной типологии / [Учебник] М.: Изд-во. с.-х. литературы. 1955. 456 с.
- Пономарева В.В. Теория подзолообразовательного процесса. / [Текст] М.-Л.: Наука. 1964. 380 с.
- Поздняков Л.К. Мерзлотное лесоведение / [Монография] Новосибирск. 1986. 182 с.
- Поляков А.К. Радиационный режим под пологом сосновых древостоев / [Текст] // Лесоведение. 1967. № 4.
- Преснухин Ю.В., Смелягина З.И. Влияние глубины залегания грунтовых вод на производительность сосновых насаждений в условиях Карелии / [Текст] // Моделирование лесных биогеоценозов Петрозаводск.: Кар. Фил. АН СССР. 1986. С. 30–40.
- Прокушкин С.Г., Прокушкин А.С. Трофические условия в лесных сообществах на мерзлотных почвах / [Текст] // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск.: Наука. 2002. С. 68–72
- Протопопов В.В. Биоклимат темнохвойных горных лесов южной Сибири. [Монография] Новосибирск: Наука. 1965. 286 с.
- Протопопов В.В. Средообразующая роль темнохвойного леса / [Монография] Новосибирск: Наука. 1975. 328 с.
- Протопопов В.В. Анализ экологического значения темнохвойного леса / [Текст] // Проблемы лесоведения Сибири. М: Наука. 1971. С. 25–48.
- Раменский Л.Г. Основные закономерности растительного покрова и их изучение / [Текст] // Проблемы и методы изучения растительного покрова / Отв. редак. В.И. Всаилевич. Л. Наука. 1971. С. 5–33.
- Растительность европейской части СССР / [Монография] / Под редакц. С.А. Грибовой, Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко. Л.: Наука. 1980. 426 с.
- Рахманов В.В. Водоохранная роль лесов / [Монография]. М.: Гослесбуиздат. 1962. 235 с.
- Рахманов В.В. Водорегулирующая роль лесов / [Текст] // Труды Гидрометцентра СССР. Л: Гидрометеиздат. 1975. С. 18–24.

Рахманов В.В. Водорегулирующая роль лесов / [Монография] М: Лесн. пром. 1984. 241 с.

Раунер Ю.Л. Тепловой баланс растительного покрова / [Монография] Л. Гидрометеиздат. 1972. 210 с.

Ремезов Н.П. Еще о роли леса в почвообразовании / [Текст] // Почвоведение 1956. № 4. С. 70–79.

Ремезов Н.П. Биологический круговорот азота и зольных элементов в лесных насаждениях / [Текст] // Тр. Ин-та леса АН СССР. Т. 24. 1955.

Ремезов Н.П. и др. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР / [Монография]. М.: Изд-во МГУ. 1959. 188 с.

Ремезов Н.П., Погребняк П.С. Лесное почвоведение. М.: Лесн. пром. 1965. 324 с.

Риклефс Р. Основы общей экологии / [Монография] // перев. с англ. М: Мир. 1979. 424 с.

Роде А.А. Почвоведение / [Монография] М.: Гослесбумиздат. 1955. 524 с.

Родин Ю.Л., Базилевич, Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара / [Монография], М.: Изд-во АН СССР. 1965. 253 с.

Розанов Б.Г. К вопросу о миграции железа и алюминия при почвообразовании под пологом леса / [Текст] // Вестник Московск. Университета «Биолог. почвоведение» М.: МГУ. 1961.

Руднев Н.И. Радиационный и тепловой баланс леса / [Монография]. М. Лесн. пром. 1977. 126 с.

Рысин Л.П. Концепция биогеоценоза и современная лесная типология / [Текст] // Структурно-функциональная организация биогеоценозов / к 100-летию со дня рождения академика В.Н. Сукачева. М.: Наука. 1980. С. 23–50

Сахаров М.И. Зависимость температурного режима почвы от характера лесного покрова / [Текст] // Почвоведение. 1948. № 3. С. 157–166.

Сергеев Л.И. Морфо-физиологические исследования зимостойкости древесных растений / [Текст] // Физиология зимостойкости древесных растений. М: Наука. 1964. С. 5–20.

Серый В.С. Почвы лесов Архангельской области, их разнообразие и их распространенность / [Текст] // Некоторые вопросы лесоведения и ле-

соводства на Европейском Севере России / Сб. научных работ кафедры лесоводства и почвоведения. Архангельск: АГТУ. 2005. С. 77–86.

Смирнов В.В. Сезонный опад в лесных биогеоценозах / [Текст] // Лесоведение 1967. № 6. С. 62–75.

Смоляк Л.П., Петров Е.Г. Водное питание и продуктивность сосновых фитоценозов / [Монография] // Минск. 1978. 184 с.

Созыкин Н.Ф., Кожевникова С.А. Поглощение коротковолновой радиации лесным пологом / [Текст] // Материалы по лесной гидрологии и биогеофизике. М. Лесн. пром. 1965. С. 65–84.

Средообразующая роль лесов бассейна озера Байкал / А.В. Лебедев, В.М. Горбатенко, Ю.Н. Краснощеков, Н.Б. Решеткова, В.В. Протопопов / [Монография]. Новосибирск: Наука. 1979. 256 с.

Стаканов В.Д. Особенности радиационного баланса лесов Енисейского меридиана / [Текст] // Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Новосибирск.: СО РАН. 2002. С. 28–30.

Стаканов В.Д., Грешилова Н.В. Тепловой баланс лесной территории трансекта / [Текст] // Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Новосибирск.: СО РАН. 2002. С. 30–33.

Субботин А.И. Сток талых и дождевых вод с лесных и безлесных водосборов (процессы стока и методика исследований) / [Текст] // Докл. сов. Ученых на Международн. Симпоз по влиянию леса на внешнюю среду. Т. 1. М. 1970. С. 165–188.

Субботин А.И. Влияет ли лес на осадки? / [Текст] // Лесоведение. 1979. № 5. С. 13–18.

Сукачев В.Н. Вид и ареал в их взаимовлиянии / [Текст] // Избранные труды Т. 1. Основы лесной типологии и фитоценологии Л.: Наука. 1972. С. 146–148.

Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. Л. Гослесбумиздат. 1952. 599 с.

Тооминг Х.Г. Значение и некоторые результаты исследований КПД растений и растительного покрова / [Текст] // Проблемы биогеоценологии. М. Наука. 1973.

Томилинг Х.Г., Каллис А.Г. Значения и некоторые результаты исследований КПД растений и растительного покрова / [Текст] // Проблемы биогеоценологии. М: Наука. 1973. С. 203–212.

Тюрюканов А.Н. О чем говорят и молчат почвы / [Монография] / М. Агропромиздат. 1990. 224 с.

Утенкова А.П. Наблюдения за динамикой опада древесных пород в дубовых лесах Беловежской пуши / [Текст] // Ботаника. Исследования. Вып. 2. Минск. 1966.

Уткин А.И. Об энергетике лесных биогеоценозов / [Текст] // Структурно-функциональная организация биогеоценозов. М.: Наука. 1980. С. 51–68.

Федоров С.Ф. Исследования элементов водного баланса в лесной зоне Европейской территории СССР / [Монография] Л.: Гидрометеиздат. 1977. 264 с.

Федоров В.Д. Гильманов Т.Г. Экология / [Монография] Изд-во МГУ. М. 1980. 464 с.

Фортескую Дж. Геохимия окружающей среды / сокращ. Перевод с англ. "Environmental Geochemistry a holistic approach" под ред. М.А. Глазовской / [Монография] М.: Прогресс. 1985. 360 с.

Фриш Э.В. Сезонные явления природы в четырех соседних участках леса // Лесоведение. 1972. № 5. С. 77–81

Харитонов Г.А. О гидрогеологическом и противозрозионном влиянии леса в восточной части Среднего Урала / [Текст] // Лесоведение. 1970. № 6. С 14–24.

Хайретдинов А. Н. Леса Башкортостана. Уфа. 2004. 340 с.

Хмаладзе Г.Г. Классификация типов леса горной части бассейна р. Ингури / [Текст] // Труды Харьк. с.-х. ин-та. Т. 225. Харьков. 1976. С. 37–47.

Цветков В.Ф. Микроклимат и рост сосны в связи с комбинированными уходами за молодняками на Кольском полуострове/[Текст] // Сосново-литвенные насаждения Карелии и Мурманской области / Сб. научн. тр. Петрозаводск. Ин-т леса Кар. Ф. АН СССР. 1981. С. 123–137.

Цветков В.Ф. Закономерности роста сосны на Кольском полуострове / [Текст] // Изучение и охрана растительности Севера / Сб. научн. тр. Сыктывкар. 1984. С.76–85.

Цветков В.Ф. О ландшафтной и лесоводственно-географической структуре территорий притундровых лесов на Кольском полуострове / [Текст] // Проблемы притундровых лесов. Архангельск: АИЛиЛХ. 1995. С. 56–68.

Цветков В.Ф. Камо грядеши. Некоторые вопросы лесоведения и лесоводства на Европейском Севере / [Монография]. Архангельск: АГТУ. 2000. 254 с.

- Цветков В.Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск: АГТУ. 2002. 380 с.
- Цветков В.Ф. Лесной биогеоценоз / [Монография] Архангельск.: Арх. Центр РГО. 2004. 268 с.
- Цельникер Ю.Л. Радиационный режим под пологом леса / [Монография] М: Наука. 1969. 144 с.
- Цельникер Ю.Л. Экофизиологические основы теневыносливости древесных растений/ [Монография] М: АН СССР. 1978. 125 с.
- Цельникер Ю.Л., Князева И.Ф. Пульсация интенсивности света в лесу как фактор воздействия на фотосинтез подроста / [Текст] // Лесоведение 1973. № 3. С. 60–64.
- Чебакова Н.М., Парфенова Е.И. Монсеруд Р.А. Прогноз изменения фитомассы лесов в широтных и высотных зонах при потеплении климата / [Текст] // Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Новосибирск: СО РАН. 2002. С. 84–91
- Чертов О.Г. Экология лесных земель / [Монография] / Л.: Наука. 1981. 192с.
- Чертовской В.Г. Еловые леса европейской части СССР / [Монография]. М: Лесн. пром. 1978. 176 с.
- Читашвили С.Ш. Фотосинтез и продуктивность ели и пихты в подчиненных ярусах древостоев на Кавказе / [Текст]// Лесоведение. 1971. № 2. С. 23–35.
- Шлейнис Р.И. О различии почвообразования под еловыми и дубовыми лесами в северо-западной части СССР / [Текст] // Почвоведение .1965. № 3.
- Шульгин И.А. Солнечная радиация и растение / [Монография]. Л: Гидрометеиздат. 1967.
- Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги / [Монография] Под ред. докт. биол. наук. Карпова В.Г. Л.: Наука. 1969.
- Яценко-Хмелевский А.А. Лес как биологическая система / [Текст] / Тр. ЛТА. 1966. № 104.
- Bruning E. Sauerstofflieferung aus (den) Waldeln der Erde und ihre Bedeutung für die Reinerhaltung der Luft // Forestarchin / 1971. 42. № 2.
- Olson N., Dinerstein E., Wikramanyake E., Burges N/ et al. Terrestrial eco-regions of the world: a new map of life on Earth // BioScience 2001. Vol. 51 N 11. P. 933-938.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Лес многоликий	6
2. Лес в окружающей среде	13
3. Биосфера и лес	21
4. Климат и лес	53
5. Лес и климат	83
6. Главный фактор	125
7. Ведущий фактор	164
8. Самый необходимый	231
9. Почва и лес	258
10. Лес и почва	297
Послесловие	338
Литература	340

Научное издание

Цветков Василий Фролович

ЭТЮДЫ ЭКОЛОГИИ ЛЕСА

Монография

Подписано в печать 24.12.2008. Формат 70×84/16.
Усл. печ. л. 24,25. Тираж 500 экз. Заказ № 313.

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленного оригинал-макета в типографии
ГОУ ВПО «Архангельский государственный
технический университет»

163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17