

Н.П.ПОЛИКАРПОВ Н.М.ЧЕБАКОВА  
Д.И.НАЗИМОВА

КЛИМАТ  
И ГОРНЫЕ ЛЕСА  
ЮЖНОЙ  
СИБИРИ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ЛЕСА И ДРЕВЕСИНЫ ИМ. В. Н. СУКАЧЕВА

Н. П. ПОЛИКАРПОВ Н. М. ЧЕБАКОВА  
Д. И. НАЗИМОВА

КЛИМАТ  
И ГОРНЫЕ ЛЕСА  
ЮЖНОЙ СИБИРИ

Ответственный редактор  
д-р биол. наук *В. В. Кузьмичев*



НОВОСИБИРСК  
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
1986

Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М., Назимова Д. И. Климат и горные леса Южной Сибири. — Новосибирск: Наука, 1986.

В монографии рассмотрено влияние климата на структуру горных лесов Южной Сибири. Установлены закономерности изменений составляющих радиационного и теплового балансов, показателей гидротермики для основных типов высотно-поисных и внутривысотных комплексов растительности. Количественными методами оценены связи составов и продуктивности горных лесов с климатическими и эдафическими факторами. Даны экологические характеристики основных лесообразователей. Показаны особенности возобновления, взаимоотношений и смен древесных пород на различном экологическом фоне. На основе анализа связей лесной растительности с климатом и почвами разработаны практические рекомендации по рациональному природопользованию в горах, воспроизводству горных лесов и их охране. Построена статистическая модель составов и потенциальной продуктивности горных лесов на основе климатических показателей.

Книга рассчитана на лесоводов, экологов, географов, климатологов и работников лесного хозяйства.

Рецензенты В. Д. Константинов, В. И. Некрасов

Николай Павлович Поликарпов  
Надежда Михайловна Чебакова  
Дина Ивановна Назимова

### КЛИМАТ И ГОРНЫЕ ЛЕСА ЮЖНОЙ СИБИРИ

Утверждено к печати Институтом леса  
и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР

Редакторы издательства Т. И. Любимова, С. А. Садко  
Художественный редактор Н. М. Мезенцев  
Художник Б. А. Васильев

Технические редакторы А. М. Вальх, С. А. Смородинова  
Корректоры Н. Б. Обливанцев, Г. А. Павлова

ИБ № 29960

Сдано в печать 21.03.86. Подписано в печать 15.10.86. МН-01723. Формат 60×90<sup>1/8</sup>.  
Бумага типографская № 3. Обыкновенная гарнитура. Высокая печать. Усл. печ. л. 14.  
Усл. кр.-отт. 14,3. Уч.-изд. л. 17,6. Тираж 1000 экз. Заказ № 103. Цена 3 руб.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099,  
Новосибирск, 99, Советская, 18.

4-я типография издательства «Наука», 630077, Новосибирск, 77, Станиславского, 25.

П 3903000000—888  
042(02)—86 272—86—IV

© Издательство «Наука», 1986 г.

Среди разнообразия внешних факторов, определяющих структуру и динамику горных лесных экосистем, особое значение имеет климат как непосредственно действующий фактор, вызывающий высотную поясность всего биоклиматического звена горных ландшафтов. В большой степени он определяет и характер почвенно-растительного покрова внутри высотных поясов.

В данной работе на примере гор Южной Сибири рассматриваются основные закономерности формирования прежде всего зональных (высотно-поисных) категорий лесного покрова в условиях континентального климата Сибири. Рассматривается их интеграция в системы более высокого уровня — спектры поясов, которые тесно связаны с климатическими режимами макросклонов горных систем и единицами лесорастительного районирования ранга горных провинций и округов. Наконец, сделан шаг к анализу закономерностей внутривысотного порядка, связанных с экспозиционными и другими различиями мезоклимата в горах, определяемыми горным рельефом (геоморфологические комплексы).

Такой трехуровневый ступенчатый анализ биоклиматических закономерностей с позиций системной экологии и географии отвечает концепции иерархического сложения географической оболочки Земли или биосферы [Сочава, 1978, 1980; Мазинг, 1984; Юрцев, 1984]. Узловыми единицами классификации лесных экосистем в горах при этом следует считать классы высотно-поисных комплексов типов леса (классы ВПК) — объединения, сопоставимые с зональными (подзональными) единицами на равнинах и горными биомами экологов англо-американской школы [Уиттекер, 1980]. Для отечественной биогеографии, как и для лесоведения, такой подход не является новым, так как те же или близкие единицы вычленились многими предшественниками, изучавшими растительный покров Сибири [Ревертатто, 1931; Шумилова, 1962; Куминова, 1960 и др.].

Для нас важно, что ВПК, как и любые другие экосистемы, в том числе биогеоценозы, включают биотическую составляющую, местообитание, а также условия среды, окружающей это местообитание (иначе — местоположение [Спурр, Барнес, 1984]).

Аналогичное мнение в 1976 г. высказывал Б. П. Колесников. В докладе, сделанном в Институте леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, он предложил дополнить известную схему биогео-

ценоза В. Н. Сукачева [1964] еще одним компонентом — геотопом. Геотоп, по Б. П. Колесникову, включает наземную атмосферу и литогенную основу и является ячейкой расчленения биосферы, определяемой не столько состоянием растительности, сколько природным режимом местообитаний. Благодаря введению геотопа биогеоценоз (экосистема) получает весьма необходимую географическую привязку и оказывается более стабильным во времени.

Определяя лесную экосистему тремя составляющими, в отличие от принятых до сих пор двух составляющих (биоценоз и экотоп), мы придаем определенность месту экосистемы в иерархии природных систем. Так, биогеоценоз функционирует в рамках высотно-поисных комплексов, или ВПК, и подчиненных ему геоморфологических комплексов, и их природные режимы во многом определяют его структуру и динамику.

Каждый из изучаемых уровней требует соответствующей генерализации исходного материала. Так, при изучении составов лесообразователей для ВПК мы должны оперировать не единичными составами насаждений, а составами лесных массивов, определяемыми статистическим учетом. При анализе более частных зависимостей внутрипоисного порядка учетная единица соответственно уменьшается. Нет надобности доказывать, что коренные и условно коренные насаждения должны на первом этапе анализа составить основной фонд фактического материала. В горах Южной Сибири, менее затронутых пока хозяйственной деятельностью, чем Кавказ, Карпаты или Урал, лесной покров сохранил в основном свой естественный характер и не столь нарушен, и это значительно облегчает анализ природно-климатических закономерностей формирования лесного покрова. Следует отметить, что лесоводами украинской школы [Воробьев, 1967 и др.; Остапенко, 1978 и др.] сделано немало для изучения зональных и высотно-поисных закономерностей формирования состава и структуры лесов Кавказа, Крыма, Карпат. Эти работы свидетельствуют об информативности использованных авторами климатических параметров теплообеспеченности (среднемесячных температур за теплый период) и влагообеспеченности (годовых сумм осадков) для оценки составов и продуктивности лесов отдельных районов.

Изучая связи высотно-поисных экосистем с климатом, мы выделяем границы экосистем не по климату, а по признакам их растительного компонента. По коренной (климаксовой) растительности, наиболее соответствующей поясному климату, дается и название поясных экосистем. Иными словами, связи растительного покрова с климатическими параметрами являются на первом этапе исследований центром внимания. Думается, что такой подход к выделению зональных экосистем более логичен, нежели дедуктивное разделение климатического пространства на классы с равномерной шкалой деления по теплу, по влагообеспеченности и размещение в полученных шкалах таксонов растительного покрова [Воробьев, 1967; Эколого-фитоценотические комплексы..., 1977]. Вообще говоря, и последний подход как метод ординации приемлем, но в таком случае все же более результативен для отдельных регионов, где имеется общность флоры

и фитоклиматических закономерностей, а не для территории страны.

Как отмечалось, высотно-поисные категории лесного покрова являются теми единицами, на которых сфокусировано главное внимание в данном исследовании. Эти единицы и их внутренние структурные подразделения (включая геоморфологические комплексы или другие единицы ландшафтного порядка) должны в перспективе рассматриваться как природная основа рационального лесопользования в горах Сибири. К этому выводу нас приводит не только выявление природных особенностей самих ВПК — их состава, продуктивности, строения древостоя, особенностей возобновления и смен, но и учет специфики их средообразующих функций.

Нарушение устойчивости горных лесных экосистем чревато отрицательными последствиями. При резких нарушениях уже зарегистрированы громадные по масштабу объемы смытой со склонов почвы — до 500—600 т с 1 га лесной площади.

Известно также, что горные системы Сибири, воспроизводящие и хранящие около 85% всех пресных вод в стране (с учетом Байкала), являются огромной природной лабораторией по производству дефицитного ресурса — чистой пресной воды. Острая нехватка чистой воды сказывается уже во многих районах Земли. ФРГ, например, по прогнозам, исчерпает все свои подземные воды к 2000 году. В США размер потребления пресной воды приблизился к размерам годового стока рек. Эти факты лишней раз заставляют переоценить соотношения лесосырьевых и средообразующих функций лесных экосистем. Средообразующие функции целого ряда природных комплексов (в том числе высокогорных лесов) получают несомненный приоритет перед лесосырьевыми. А отсюда все виды хозяйственной деятельности, выводящие лесные экосистемы из равновесия, должны либо устраняться, либо строго регламентироваться.

Развиваемый в последние годы принцип оптимизации природопользования требует достоверной количественной экологической основы. Подход к лесу как к сложной экологической системе также требует количественной оценки параметров экосистем, определяющих интенсивность круговорота веществ и энергии. Зная эти параметры, можно подойти к математическим моделям продуктивности лесов и их хозяйственной реализации.

Для получения количественных характеристик экологических связей использованы прежде всего массовые инвентаризационные материалы лесоустройства, натурные и расчетные показатели климата, материалы крупномасштабной топоосновы, почвенные характеристики ключевых участков, материалы маршрутных и стационарных исследований. Обработку материалов математическими методами вели с использованием ЭВМ и программ моделирования.

Задачей данной работы было изучение связей высотно-поисных экосистем с климатом и оценка их количественными параметрами; выявление факторов, наиболее информативных для определения составов, продуктивности и структуры горных лесов на трех уровнях генерализации: региональном, высотно-поисном и внутрипоисном. Это потребовало ряда новых методических разработок в области рас-

чета климатических параметров, которым уделено особое внимание в данном исследовании.

Во второй части монографии поставлена задача на основе выявленных количественных связей в подсистемах климат — растительность проверить возможности построения моделей состава и продуктивности лесов с выходом на прогнозные карты целевых лесов.

На завершающем этапе исследований по данной теме поставлена задача внедрить полученные результаты в научные разработки по оптимизации путей природопользования в горных лесах. На примере горных лесов Южной Сибири можно наглядно показать перспективные пути лесопользования, лесовосстановления и ухода за лесом с учетом полученных выводов.

Работа имеет комплексный характер и выполнялась специалистами разного профиля: лесоводом Н. П. Поликарповым, осуществлявшим общее руководство исследованиями, географом-климатологом Н. М. Чебаковой и лесотипологом Д. И. Назимовой. Глава 1 написана Н. П. Поликарповым и Д. И. Назимовой, глава 2 — Н. М. Чебаковой, глава 3 — Н. М. Чебаковой (разделы 3.1, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.4, 3.5), Д. И. Назимовой (раздел 3.2.3) и Н. П. Поликарповым (разделы 3.3 и 3.4). Разделы 4.1 и 4.2 главы 4 написаны Н. М. Чебаковой, разделы 4.2.3, 4.3, а также глава 5 и заключение написаны Н. П. Поликарповым.

В комплексных лесоводственно-географических исследованиях принимали участие лесоводы Р. М. Бабинцева, В. И. Бабинцев, П. М. Ермоленко, Н. В. Дашко, В. В. Иванов, лесотипологи Ю. С. Чередникова, Н. И. Молокова, климатолог Е. А. Садовнича, почвоведы Г. А. Горбачева, М. П. Смирнов, В. Н. Горбачев, Э. Е. Бобалева, лесопиролог М. Д. Евдокименко.

## ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $\varphi$  — географическая широта  
 $H$  — высота над уровнем моря  
 $\beta$  — крутизна склона  
 $t(t_0)$ ,  $T(T_0)$  — средняя месячная температура воздуха (подстилающей поверхности) в шкалах Цельсия и Кельвина  
 $\mathcal{L}$  — продолжительность периода со средней месячной температурой воздуха выше  $10^\circ$   
 $\Sigma t(\Sigma T_0)$  — суммы температур воздуха (подстилающей поверхности) за период со средней температурой воздуха выше  $10^\circ$   
 $A$  — годовая амплитуда температуры воздуха  
 $e$  — средняя месячная упругость водяного пара  
 $q, q_s$  — удельная влажность воздуха при фактической температуре воздуха и при температуре подстилающей поверхности

- $n$  — среднее месячное количество облачности в долях единицы  
 $r$  — годовое количество осадков  
 $f$  — горизонтальный годовой сток

$\Sigma Q_0, \Sigma Q(\Sigma Q_0^*, \Sigma Q^*)$  — месячные суммы суммарной радиации при ясном небе и действительных условиях облачности на горизонтальной поверхности (на склонах)

$\Sigma \mathcal{E}_0, \Sigma \mathcal{E}(\Sigma \mathcal{E}_0^*, \Sigma \mathcal{E}^*)$  — месячные суммы эффективного излучения при ясном небе и действительных условиях облачности на горизонтальной поверхности (на склонах)

$\Sigma B(\Sigma B^*)$  — месячные суммы радиационного баланса на горизонтальной поверхности (на склонах)

$\Sigma E_0(\Sigma E_0^*)$  — месячные суммы испаряемости на горизонтальной поверхности (на склонах)

$\Sigma E(\Sigma E^*)$  — месячные суммы испарения на горизонтальной поверхности (на склонах)

$LE$  — затраты тепла на испарение

$P$  — затраты тепла на турбулентный теплообмен

$F$  — потоки тепла в почве

$W, W^*$  — влажность почвы на ровном месте и на склонах

$K$  — нормированный коэффициент сопряженности

$J$  — информационный критерий максимального правдоподобия (или классификационный критерий)

## Константы

- $\delta$  — коэффициент серости, равный 0,95  
 $\sigma$  — постоянная Стефана — Больцмана, равная  $0,814 \cdot 10^{-10}$  кал/(см<sup>2</sup>·град<sup>4</sup>)  
 $L$  — скрытая теплота парообразования, равная 0,6 ккал/г  
 $D$  — коэффициент внешней диффузии, равный 0,63 см/с в теплый период  
 $\rho$  — плотность воздуха, равная 1258 г/м<sup>3</sup>  
 $c_p$  — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, равная 0,24 кал/(г·град)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРНЫХ ЛЕСОВ

## 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Горы Южной Сибири, нередко выделяемые в особую физико-географическую область, или страну [Михайлов, 1961; Сочава, 1980], включают горные хребты Алтай, Салаиро-Кузнецкое нагорье, Западный и Восточный Саяны, Тувинское нагорье, отчасти хребты Прибайкалья и Южного Забайкалья. Несмотря на обширность занимаемого пространства и разнообразие природных условий, они представляют достаточно целостную в природном отношении область, сопоставимую с Западной Сибирью, Средней Сибирью и другими, но по контрастности природных условий не имеющую себе равных. Располагаясь в центре Евразийского континента, область в целом характеризуется глубоким проникновением в ареал сибирской горной тайги, создающей фон растительного покрова, субаридных и аридных степных формаций. Это особенно характерно для ландшафтов Тувы, Забайкалья, где контактируют даурско-монгольские степные и южно-сибирские хвойные формации. На крайнем западе, по периферии Горного Алтая, те же хвойные бореальные формации вступают в контакт с заволжско-казахстанскими степными формациями, обогащаясь свойственными им, а также эндемичными видами флоры и в то же время утрачивая ряд ландшафтообразующих элементов флоры (рододендрон золотистый и др.), свойственных в большей степени восточному сектору гор Южной Сибири. На восточной окраине, в Прибайкалье, имеется сложный полигенетический комплекс южно-сибирских, байкало-джугджурских и даурско-монгольских формаций [Сочава, 1980; Карты природы..., 1972].

Восточную границу данного региона, определяемую физико-географами и ботаникогеографами неоднозначно [Михайлов, 1961; Сочава, Тимофеев, 1968; Типы лесов..., 1980; и др.], мы проводим по границе сплошного распространения многолетней мерзлоты, что близко к восточному пределу Алтае-Саянской флористической провинции [Тахтаджян, 1978], но включает частично Прибайкалье и Южное Забайкалье с заметным участием темнохвойных и сосновых лесов. Этот рубеж отделяет горы Южной Сибири с их в целом ослабленной континентальностью и более высокой влажностью климата от еще более обширной природной области с наиболее контрастным на Земле климатом (Якутский центр антициклона), засушливым и холодным. Лесной покров мерзлотной области находится под жестким контролем мерзлоты и слагается, по сути дела, всего двумя зо-

нальными группами формаций — мерзлотными лиственничниками из лиственницы Гмелина (даурской) и стланиково-ерниковыми лесами из кедрового стланика и кустарниковых берез. Такие леса можно рассматривать как своеобразный кустарниковый аналог подгольцовых темнохвойных лесов Южной Сибири, трансформированный условиями сурового климата.

К северу от рассматриваемой области, на Среднесибирском плоскогорье, имеются два района, изолированных от гор Южной Сибири, но в лесорастительном отношении достаточно близких к ним. Это южная часть Енисейского кряжа с горными пихтовыми лесами и Лено-Ангарское плато с крупными массивами кедровников на водоразделах. На эти районы можно распространять многие закономерности, выявленные при анализе природных связей в рассматриваемом регионе. Южная граница с центрально-азиатской аридной областью лишь небольшой частью проходит по территории Тувы, захватывая Юго-Восточный Алтай и далее уходя в Монголию [Леса МНР, 1978].

С ботанико-географической, флористической и лесоводственной точек зрения горные леса Южной Сибири представляют определенную целостность. Они отнесены к единому комплексу бореальных южносибирско-монгольских лесных формаций [Растительный покров СССР, 1956]. При значительной общности основного флористического ядра в группе темнохвойных формаций и несколько меньшей — в лиственничной и сосновой формациях, они имеют и некоторый процент эндемичных видов [Пешкова, 1985]. Большая часть эндемичных видов, свойственных Алтае-Саянской провинции, не принимает, однако, заметного участия в покрове горных лесов, так как приурочена к другим высотным зонам: альпийско-тундровой и степной. Сходство лесообразователей и флористическая общность состава подчиненных ярусов лесных сообществ позволяют на широком географическом фоне выявлять связи растительности с природными факторами.

Леса в горах Южной Сибири появляются в порядке высотной поясности, тогда как при отсутствии горного рельефа на этих широтах (50—55° с. ш.) следовало бы ожидать зональные степи и лесостепи. Лишь на северной окраине гор местами имеется непосредственный выход к таежной зоне равнины. Южно-сибирские формации, в отличие от других горных региональных комплексов, имеют значительный удельный вес *темнохвойных формаций таежного типа* [Сочава, 1980]. При общем видовом богатстве дендрофлоры региона бросается в глаза бедность ее деревьями первой и второй величины: их всего около десяти видов. По данным И. Ю. Коропачинского [1975] в Алтае-Саянской области наибольшим видовым разнообразием отличаются кустарники и кустарнички (около 100 видов), распространенные не только в лесной, но и в степной, и в высокогорной областях. Крупные кустарники и деревья третьей величины представлены 22 видами, полукустарники насчитывают немногим более 25 видов.

Основными лесообразователями выступают лиственница сибирская, кедр сибирский, пихта сибирская, сосна, береза бородавчатая,

Таблица 1

Распределение лесопокрытой площади по преобладающим древесным породам в горах Южной Сибири (тыс. га, по материалам лесоустройства)\*

Лесорастительная область	Всего	Лиственница	Сосна	Кедр	Пихта	Ель	Береза	Осина	Прочие**
Алтае-Саянская	18 727 100 ***	1 891 10,1	1985 10,6	5 376 28,7	5331 28,5	462 2,5	2692 14,4	985 5,2	5 0,03
Алтае-Гуви́нская	11 942 100	6 128 51,3	142 1,2	4 889 40,9	60 0,5	94 0,8	272 2,2	19 0,2	338 2,8
Байкальская (Прибайкалье и Южное Забайкалье)	8 510 100	3 146 37,0	1997 23,4	1 279 15,0	294 3,5	295 3,5	816 9,6	211 2,5	472 5,5
Итого . . .	39 179 100	11 165 28,5	4124 10,5	11 544 29,5	5685 14,5	851 2,2	3780 9,6	1215 3,1	815 2,1

\* Использованы данные В. Ф. Лебкова [1967] с учетом изменений восточной границы региона. Наименования областей даны по В. Ф. Лебкову.

\*\* В их состав вошли ерники и заросли кедрового стланика.

\*\*\* Проценты.

а на востоке и плосколиственная, осина, ель сибирская (в порядке убывания занимаемых площадей). В табл. 1 приведены данные учета лесов по трем регионам, близким к лесорастительным областям [Типы лесов..., 1980].

Наибольшую ценность в горах Южной Сибири представляют леса из *кедра сибирского* (11,5 млн. га). По площади они составляют 1/3 от всех кедровых лесов Сибири [Кедровые леса Сибири, 1985]. Эта формация распределена по областям более или менее равномерно, как правило, занимая средне- и высокогорные территории. В виде массивов кедровники распространены до высот 2000 м, редко 2200 м. Эта формация характеризуется наивысшим флористическим и типологическим разнообразием и может быть отнесена к четырем основным зональным классам: горно-черневому, горно-таежному, субальпийскому и подгольцовому [Крылов, 1970]. Высокогорным кедровникам, включающим все субальпийские и подгольцовые, а также часть горно-таежных, принадлежит иногда до половины занимаемой площади.

Широкое распространение во влажных горных районах Алтае-Саянской области имеют *пихтовые леса* (5,3 млн. га), приуроченные чаще к средне- и низкогорным ландшафтам. В самых влажных высокогорьях пихтарники поднимаются до верхней границы леса. Внутри пихтовой формации можно выделить те же классы типов леса, что и в кедровой, однако площади высокогорных пихтарников несравненно меньше. Черневые пихтово-осиновые леса и черневая тайга составляют отличительную особенность гор Южной Сибири, образуя

фон во влажных низкогорьях. Производительность горных пихтарников варьирует от I до Va класса бонитета.

*Светлохвойные леса*, почти повсеместно слагающие нижние лесные пояса, состоят из лиственницы сибирской и сосны обыкновенной с заметным участием березы и лишь местами осины. В бассейне Байкала начинает примешиваться и лиственница даурская, а также гибридная лиственница Чекановского [Дылис, 1947; Круклис, Милютин, 1977].

*Лиственничники* из лиственницы сибирской (около 10 млн. га) — первая по занимаемой площади лесная формация в горах Алтая и Тувы (51%). Здесь она распространена от нижней границы леса (400—1200 м) до верхней (1900—2300 м). Господствуют горно-таежные, подтаежные и лесостепные лиственничники III—IV классов бонитета. На верхнем пределе произрастания подгольцовые и субальпийские лиственничники имеют IV класс бонитета, и лишь на мерзлых заболоченных почвах бонитет снижается до V—Va класса.

Предгорные, низкогорные и котловинно-горные *сосняки* чистого состава или в смеси с березой и лиственницей образуют весьма широкий спектр типов леса в горах Южной Сибири — от сухих степных боров III—IV классов бонитета в котловинах Тувы и Забайкалья до высокопродуктивных подтаежных сосняков крупнотравных и орляковых I класса бонитета в предгорьях Алтая и Саян. Значительная часть среднегорных сосняков относится к горной тайге и имеет длительнопроизводный характер на месте темнохвойных или сосново-лиственничных лесов. Производительность их оценивается II—IV классами бонитета.

Более 3/4 общей площади сосняков (3,6 млн. га) концентрируется в предгорьях Восточного Саяна и в Забайкалье, однако далеко не все сосновые массивы Забайкалья можно считать в полной мере горными лесами. В частности, это касается сосняков в бассейне р. Селенги, приуроченных к древнеаллювиальным песчаным отложениям межгорных впадин.

По южным склонам среднегорий сосняки поднимаются иногда до высот 1200—1400 м. Лишь единичные группы деревьев отмечены на высотах до 1800 м в Прибайкалье [Предбайкалье и Забайкалье, 1965]. На верхний предел леса сосна практически не выходит.

*Ельники* занимают гораздо меньшие площади, чем все предыдущие формации (менее 0,9 млн. га), являясь характерным элементом только долинных комплексов и вогнутых склонов. Производительность их колеблется от I до V класса бонитета, резко снижаясь на мерзлотных почвах. Изредка ель отмечается на верхней границе леса, как, например, в континентальной Туве, на Алтае и в Северном Прибайкалье.

Верхнюю границу леса обычно слагают кедр и пихта — во влажных высокогорьях, либо кедр и лиственница — в континентальных условиях. В некоторых районах Саян верхнюю границу образуют чистые кедровники и крайне редко — чистые лиственничники (без кедра), что отмечается в наиболее аридных районах.

Горные *мелколиственные* леса по занимаемой площади значительно уступают хвойным, что говорит об относительно слабом наруше-

нии лесного покрова вырубкой и другими антропогенными воздействиями. Они состоят в основном из производных березняков на месте темнохвойных лесов. Площади осинников втрое меньше, чем березняков. Те же формации могут сменять и светлохвойные леса. В таких лесах при совместном участии сосны и лиственницы может идти смена не только на березу, но и на сосну. Березняки и осинники — характерный элемент подтаежных и лесостепных низкогорных лесных массивов. Коренные березняки могут быть встречены в заболоченных предгорьях (с березой пушистой и плосколистной), а также в лесостепях [Растительный покров Хакасии, 1976].

Коренные осинники в лесостепной части Минусинской котловины приурочены к блюдцевидным западинам (колкам), и площадь их невелика.

Дискуссионным остается вопрос о коренных черневых осинниках, окаймляющих в виде узкой прерывистой полосы черневой осиново-пихтовый пояс в предгорьях Кузнецкой и отчасти Минусинской котловин. Многие факты говорят в пользу их коренного характера. По-видимому, некоторые массивы и урочища черневых осинников, как и остров липняков в предгорьях Кузнецкого Алатау, площадью около 5 тыс. га, следует относить к реликтовым субнеморальным формациям зональных лиственных лесов [Шумилова, 1962; Гудошников, 1981].

Типологический состав лесов и связи их с почвами были рассмотрены в региональном плане довольно детально [Жуминова, 1960; Коляго, 1961; Поликарпов, Назимова, 1963; Леса Горного Алтая, 1965; Крылов, Речан, 1967; Чередникова, 1969; Назимова, Смирнов, 1970; Лесные почвы..., 1977]. Систематизация типов леса по округам и провинциям лесорастительного районирования выполнена впервые в монографии «Типы лесов гор Южной Сибири» [1980]. Это позволило провести анализ сходства и различия отдельных формаций по типологическому составу и установить, что это сходство имеется, как правило, не между территориально граничащими единицами районирования, а между округами со сходной структурой высотной поясности. Это открывает путь к составлению обобщенной классификации типов леса, в которой географическая дифференциация лесов получит экологическую интерпретацию.

## 1.2. ГЕОЛОГИЯ, ОРОГРАФИЯ, РЕЛЬЕФ

Горы Южной Сибири являются частью Центрально-Азиатского орогенного эпиплатформенного пояса [Зятькова, 1977]. Это возрожденные горы, возникшие на древнем докембрийском и палеозойском основании и испытавшие до основного этапа орогенеза длительный период платформенного развития. Для них характерны горстово-блоковые поднятия с широким распространением поверхностей выравнивания разных уровней, высоко поднятых пенепленов (нагорий), плато, унаследованных от платоформенной стадии развития в палеозое. Это резко отличает их от молодых горных сооружений. Средняя крутизна склонов в лесной области гор Южной Сибири составляет,

как правило, 13—15°, а в высокогорьях Западного и Восточного Саяна не превышает 21—22°, тогда как в горах Кавказа и Карпат в хвойном поясе со средними отметками 1000—1500 м крутизна составляет 20—28° [Лебков, 1967].

В сложении гор Южной Сибири отмечается большое разнообразие горных пород. Как правило, при характеристике Горного Алтая указывается широкое развитие гранитных интрузий, перекрытых рыхлыми четвертичными отложениями не только в долинах, но и на нагорьях. Для Кузнецкого Алатау характерны песчаники, сланцы, известняки, вулканические породы, для Западного Саяна — кристаллические сланцы, филлиты, породы интрузивного комплекса, а из плотных осадочных пород — песчаники, известняки, доломиты. Восточный Саян известен широким развитием в осевой части гнейсов, кристаллических сланцев, кварцитов, известняков, на Окинском плато — базальтовых покровов. Сложным геологическим строением отличаются Тувинские горы. Здесь распространены граниты, порфириты и другие массивно-кристаллические породы, породы метаморфического комплекса — сланцы, филлиты, кварциты, а также осадочные породы — песчаники, известняки и др. [Средняя Сибирь, 1964; Алтае-Саянская горная область, 1969; Зятькова, 1977].

Для гор Байкальской горной страны также и даже в большей степени характерно широкое распространение магматических и метаморфических пород — гранитов, гнейсов, кристаллических сланцев, амфиболитов, мраморов, кварцитов. Местами, в частности в бассейне Джиды, имеют место выходы песчаников, филлитов, известняков, эффузивов и туфов.

Рыхлые осадочные породы составляют одну из трех основных групп почвообразующих пород наряду с магматическими и плотными осадочными породами. В горах Южной Сибири они представлены древними корами выветривания и лесовидными суглинками, приуроченными к северной части Алтае-Саянской области, повсеместно развитыми делювиальными отложениями, а также ледниковыми, флювиогляциальными, межледниковыми аллювиальными, пролювиальными и склоновыми отложениями [Смирнов, 1970; Преображенский и др., 1962].

Литологическое строение каждой из рассмотренных по отдельности горных систем чрезвычайно пестрое. Вместе с тем комплекс слагающих их пород, в том числе материнских и почвообразующих пород, повторяется, хотя и при ином соотношении элементов. Сопряженное изучение географии лесов и литолого-геоморфологических условий позволяет заключить, что литология не определяет крупных черт географии лесов в рассматриваемом регионе, хотя на более низком уровне, при внутриландшафтной дифференциации, роль литолого-геоморфологических факторов становится существенной и иногда даже решающей в распределении лесных формаций и типов леса [Назимова, 1975].

Для гор Южной Сибири характерны пять основных типов рельефа: альпийские высокогорья, эрозионные среднегорья, поверхности выравнивания, низкогорья, межгорные котловины.



Эрозионные среднегорья и поверхности выравнивания занимают около 2/3 территории региона, тогда как остальная часть делится примерно поровну между высокогорьями и низкогорьями, при включении в последние и котловин. Высотные отметки в среднегорье составляют от 800 до 2000 м, т. е. оно обычно целиком располагается в пределах горной лесной области, вызывая ее дифференциацию на пояса и подпояса. Поверхности выравнивания занимают высоты от 1500 до 2500, иногда меньше: 400—500 м в Кузнецком Алатау, около 800 м — в Восточном Саяне и Забайкалье. На них можно выделить иногда типичный ледниково-аккумулятивный рельеф с характерными только для него комплексами типов леса.

Важными элементами рельефа южно-сибирского среднегорья являются сравнительно невысокие плоские междуречья и глубоко врезанные долины, имеющие V-образный профиль с крутыми склонами [Михайлов, 1961]. Лишь кое-где долины расширяются, и наблюдаются хорошо выраженные террасы. Междуречья в противоположность эрозионным долинам характеризуются более пологими спокойными формами рельефа, наличием мощного плаща делювия и водно-ледниковых отложений. Амплитуды высот здесь редко превышают 200—300 м.

Горные леса Южной Сибири приурочены в основном к среднегорному рельефу, одевая сплошным покровом склоны гор, а также поверхности выравнивания на высотах от 500 до 1800—2200 м. В северных районах уровень верхней границы лесов снижается до 1100—1300 м, т. е. лежит целиком в пределах отметок среднегорного рельефа.

Низкогорный рельеф с характерными для него лесостепными комплексами типичен для приподнятых окраин горных стран с высотами 300—600 м при колебании относительных высот 100—300 м. Участки низкогорий встречаются также и во внутренних районах гор по окраинам котловин — Чуйской, Курайской, Центрально-Тувинской, хотя абсолютные отметки высот котловин составляют 1000 м и более.

Межгорные котловины, сложенные рыхлыми отложениями разного генезиса, имеют обычно равнинный рельеф. Поверхность некоторых котловин, особенно в Забайкалье, местами заболочена, что связано с развитием мерзлоты в восточных районах. Чаше, однако, котловины являются ядрами степной растительности, а леса в них представлены интразональными комплексами формаций.

В прикладном аспекте для целей организации лесного хозяйства в горах Южной Сибири В. Ф. Лебковым [1967] была дана своя интерпретация низко-, средне- и высокогорного типов рельефа, в которой учтены абсолютные высоты, крутизна склонов, а также положение территории относительно верхнего предела лесной растительности. В схематичном виде к высокогорью им отнесена вся лесная территория со средней высотной отметкой 1300 м и более. Как известно, по геоморфологической классификации местности с высотами до 1500 м в качестве высокогорий не выделяются, что нельзя признать верным ни с ландшафтных, ни с лесоводственных позиций. Уточне-

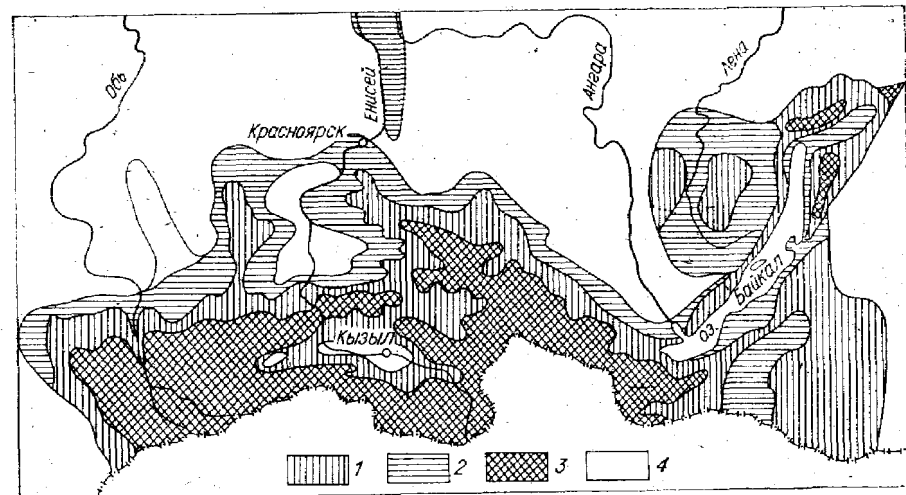


Рис. 1. Схема распределения территории Южной Сибири по типам горного рельефа (по В. Ф. Лебкову [1967]).  
1 — среднегорный тип, 2 — низкогорный, 3 — высокогорный, 4 — равнинный.

ния, сделанные В. Ф. Лебковым, соответствуют природе лесов гумидных районов Южной Сибири, где верхняя граница леса находится на высотах 1200—1500 м. Для всех районов с абсолютными высотами верхней границы леса 1600—2300 м сохраняет свое значение общепринятое деление на средне- и высокогорье на отметке 1500—1600 м.

На рис. 1 приводится схематическая карта типов рельефа, составленная В. Ф. Лебковым и уточненная нами. Им же дана более подробная дифференциация рельефа на подтипы, имеющая прикладное значение для целей организации лесного хозяйства.

Общее широтное направление хребтов в западной части горной области имеет большое климатообразующее значение. Основной водораздел Алтае-Саянской горной области, проходящий по осевой части Западного Саяна, играет роль главного природного рубежа в этой горной области, подчеркивая различие между северным наветренным макросклоном, включающим и водораздел, и южным подветренным макросклоном. Первый находится в зоне лесостепи, вдаваясь на самой окраине Кузнецкого Алатау в южную тайгу, а на юго-западе Алтая — в степь, а второй — полностью в зоне степей [Исаченко, 1965].

Важное значение имеют и орографические рубежи второго порядка, создающие эффект барьерного подножия и барьерной тени (хребты Холзун, Катунский и другие на Алтае, хр. Абаканский в Кузнецком Алатау, в меньшей степени хр. Джебашский в Западном Саяне и хр. Удинский в Восточном Саяне, хребты Байкальский, Баргузинский и Хамар-Дабан в Прибайкалье). Даже на самой восточной окраине — на Хэнтэй-Чикойском нагорье — сказывается увлажняющее влияние западного переноса атлантических воздушных масс,

к которому добавляется влияние летнего муссона, приходящего с Дальнего Востока. Этому способствует и направление основных хребтов в байкальском бассейне.

Роль рельефа в перераспределении климатических факторов будет подробно рассмотрена в специальной части данной работы.

### 1.3. СХЕМА ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАЦИИ ГОРНЫХ ЛЕСОВ

По комплексу природных условий и особенностей, отраженных в закономерностях структуры растительного покрова, в первую очередь в характере высотной поясности, в горах Южной Сибири были выделены при лесорастительном районировании [Типы лесов..., 1980] четыре горные лесорастительные области и 14 провинций (рис. 2). Большая часть провинций, выделенных по типу поясности, разделена на округа с учетом подтипов и вариантов поясности. По высотным поясам и соответствующим им единицам классификации лесных массивов — высотно-поясным комплексам типов леса (ВПК) — систематизирован типологический состав горных лесов: выделены коренные климаксовые формации, группы типов и типы леса. Каждый ВПК отличается от выше- и нижележащих ВПК своей мерой тепло- и влагообеспеченности, составом лесообразователей и специфическим составом экобиоморф нижних ярусов. По этим и другим диагностическим признакам ВПК могут быть выделены как экосистемы зонального ряда. Общее количество ВПК для 29 округов в горах Южной Сибири составило 106. В каждом из них выделено в среднем 5—10 коренных типов леса, иногда больше. Это говорит о необходимости перехода к обобщенной классификации, с учетом основных закономерностей формирования типологического состава лесов.

Ранее было показано, что между некоторыми округами, имеющими сходные типы поясности, обнаруживается значительная общность их типологического состава: повторяются доминирующие формации, группы и серии типов леса [Назимова, 1968, 1975]. Почвоведомы Б. Ф. Петровым [1952], В. А. Носиным [1963] и М. П. Смирновым [1970] была показана целесообразность выделения циклонических и антициклонических, или континентальных провинций, при почвенно-географическом районировании Алтае-Саянской области и Тувы. Их приуроченность к наветренным и подветренным макросклонам горных систем Кузнецкого Алатау, Западного и Восточного Саяна выступает вполне отчетливо. Для Горного Алтая с его сложной, веерообразной системой хребтов при окраинном западном положении это разделение оказывается не всегда отчетливым, и между районами явно циклонического режима (Северный и Западный Алтай) и аридным Юго-Восточным Алтаем выделяются переходные и достаточно разнородные внутри себя части — Центральный Алтай и Юго-Западный Алтай [Куминова, 1960; Леса Горного Алтая, 1965]. В целом горные леса Алтая выделяются известным своеобразием и «более травяным характером» по сравнению с лесами восточнее расположен-

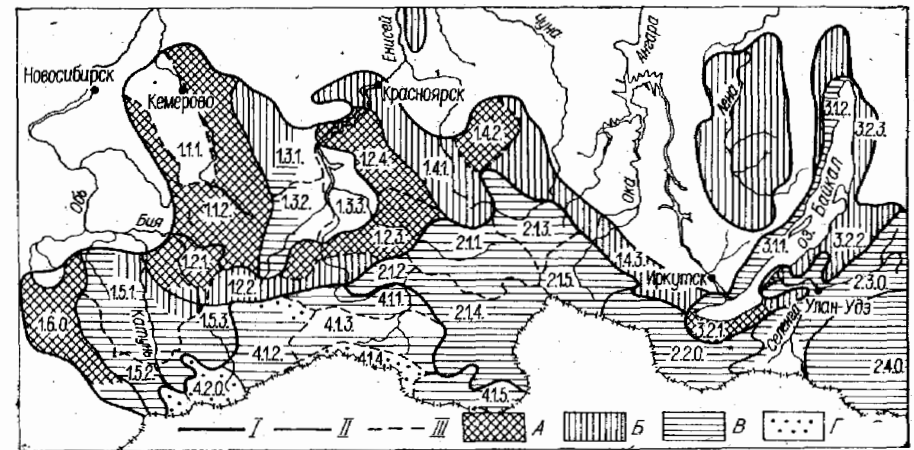


Рис. 2. Схема лесорастительного районирования гор Южной Сибири (по [Типы лесов..., 1980]).

Группы районов: А — избыточно влажных, Б — влажных, В — умеренно влажных, Г — недостаточно влажных.

1. Алтае-Саянская горная лесорастительная область. 1.1. Салаирско-Западнокузнецкая котловино-горная лесорастительная провинция пихтовых лесов: 1.1.1. Кузнецкий округ лесостепных сосново-лиственных лесов; 1.1.2. Салаирско-Западнокузнецкий округ черневых пихтовых и осиновых лесов; 1.2. Северная Алтае-Саянская горная лесорастительная провинция кедровых и пихтовых лесов: 1.2.1. Прителецкий округ черневых и горно-таежных кедровых лесов; 1.2.2. Осевой Западносаянский округ горно-таежных и подгольдово-таежных кедровых лесов; 1.2.3. Джебаско-Амьельский округ горно-таежных и черневых пихтовых и кедровых лесов; 1.2.4. Сисимский округ горно-таежных пихтовых и кедровых лесов. 1.3. Восточнокuzнецко-Минусинская котловино-горная лесорастительная провинция лиственных и кедровых лесов: 1.3.1. Кузнецко-Алтауский округ подтаежных и лесостепных лиственных, горно-таежных темнохвойных лесов; 1.3.2. Южноахакский округ подтаежных сосново-лиственных и горно-таежных лиственнично-темнохвойных лесов; 1.3.3. Правобережный Минусинский округ лесостепных сосновых и березовых лесов. 1.4. Восточносаянская горная лесорастительная провинция кедровых лесов: 1.4.1. Манско-Канский округ горно-таежных и подгольдово-таежных кедровых лесов; 1.4.2. Агул-Туманшетский округ таежно-черневых пихтовых и горно-таежных кедровых лесов; 1.4.3. Вирюсинско-Китойский округ подтаежных сосновых и горно-таежных кедровых лесов. 1.5. Центральная алтайская котловино-горная лесорастительная провинция лиственных и темнохвойных лесов. 1.6. Западноалтайская горная лесорастительная провинция пихтовых лесов. 2. Восточнотувинско-Южнобайкальская горная лесорастительная область. 2.1. Восточнотувинская котловино-горная лесорастительная провинция лиственных и кедровых лесов: 2.1.1. Тоджинский округ подтаежных сосново-лиственных и горно-таежных лиственных, сосновых и кедровых лесов; 2.1.2. Усинский округ лесостепных лиственных и горно-таежных лиственных и кедровых лесов; 2.1.3. Гугарский округ горно-таежных лиственных и кедровых лесов; 2.1.4. Каахемский округ подтаежных лиственных и горно-таежных кедрово-лиственных лесов; 2.1.5. Окинский округ перистепных и горно-таежных лиственных лесов. 2.2. Джидинская котловино-горная лесорастительная провинция лиственных лесов. 2.3. Селенгинская котловино-горная лесорастительная провинция сосновых лесов. 2.4. Чикойско-Ингодинская горная лесорастительная провинция лиственных и кедровых лесов. 3. Прибайкальская горная лесорастительная область. 3.1. Западноприбайкальская горная лесорастительная провинция лиственных лесов: 3.1.1. Приморский округ лесостепных сосновых и горно-таежных лиственных лесов; 3.1.2. Байкальский округ горно-таежных лиственных лесов. 3.2. Восточноприбайкальская горная лесорастительная провинция темнохвойных лесов: 3.2.1. Хамар-Дабанский округ таежно-черневых и горно-таежных пихтовых и кедровых лесов; 3.2.2. Улан-Бургасский округ подтаежных сосново-лиственных и горно-таежных темнохвойных лесов; 3.2.3. Баргузинский округ горно-таежных и подгольдово-таежных пихтовых и кедровых лесов. 4. Центральноазиатская котловино-горная лесорастительная область. 4.1. Алтайско-Тувинско-Хангайская котловино-горная лесорастительная провинция горных степей и лиственных лесов: 4.1.1. Хемчинско-Куртубийский округ горных степей, горно-таежных травяных лиственных лесов; 4.1.2. Верхнехемчинский округ горных степей, перистепных и горно-таежных лиственных лесов; 4.1.3. Северотануольский округ горных степей и перистепных лиственных лесов; 4.1.4. Южнотануольский округ горных степей и перистепных лиственных лесов; 4.1.5. Сангилейский округ горных степей, перистепных и горно-таежных лиственных лесов; 4.1.6. Улугхемский котловино-степной округ островных сосновых боров; 4.1.7. Аргутско-Чуйско-Курайский округ перистепных и травяно-таежных лиственных лесов и тундр. 4.2. Чуйско-Монгольско-Алтайская котловино-горная лесорастительная провинция горных степей. Границы: I — лесорастительных областей, II — провинций, III — округов.

ных районов [Куминова, 1983]. Однако это не исключает присутствия в них общих с другими районами формаций, серий типов и групп типов леса, особенно в таежных поясах.

Своими специфическими особенностями обладают и горные леса Прибайкалья, где, в частности, широко распространены и спускаются вниз до побережья Байкала сообщества с кедровым стлаником и кустарниковыми березами в подгольцовом поясе. Вместе с тем и здесь мы встречаемся не только с новыми, но и со свойственными Восточному и Западному Саяну группами и сериями типов леса и их комплексами [Тюлина, 1976; Смагин и др., 1976; БАМ. Растительность, 1983].

Изучение природных и лесоводственных особенностей горных лесов Южной Сибири позволяет провести генерализацию схемы лесорастительного районирования, выделив четыре группы лесохозяйственных районов (ранга лесорастительных округов) по сходству их типологического состава (рис. 2; табл. 2):

- 1) избыточно влажных таежно-черневых районов пихтовых и кедрово-пихтовых лесов;
- 2) влажных горно-таежных районов кедровых и светлохвойных лесов;
- 3) умеренно влажных таежно-лесостепных районов лиственничных и кедровых лесов;
- 4) недостаточно влажных таежно-степных районов лиственничных лесов и степей.

Объединение районов в группы осуществлялось в соответствии с принципами типизации ландшафтов по всему биоклиматическому звену компонентов, включающему климат, почвы и растительность. Они близки к принципам классификации геосистем, разработанным в последнее десятилетие академиком В. Б. Сочавой [1980]. В прикладном аспекте они реализованы в схеме лесохозяйственного районирования Сибири и более подробно рассмотрены в монографии «Кедровые леса Сибири» [1985].

При группировании таксонов районирования учитывалось сходство их по составу ВПК, соотношению коренных формаций и групп типов леса. Важным диагностическим признаком при этом служило положение нижней границы темнохвойного пояса, которое наглядно отражает режим увлажнения макросклонов. Оно изменяется в весьма широких пределах: в циклонических гумидных районах от 350 до 700—800 м, а в континентальных субгумидных и субаридных — в основном от 1000 до 1800 м (рис. 3).

Общими особенностями, свойственными первой группе таежно-черневых районов (рис. 3, А), объединяющей наиболее влажные наветренные склоны, являются: абсолютное господство темнохвойных лесов в спектре ВПК (диапазон их по вертикали составляет около 1000 м) и значительное участие пихтовых лесов в их составе. Там, где нижняя граница темнохвойного пояса опускается в более теплый климатический пояс (с суммами активных температур до 1600—1800°), формируется черневой ВПК (рис. 4), являющийся близким аналогом субнеморальных темнохвойных экосистем на равнине. Ос-

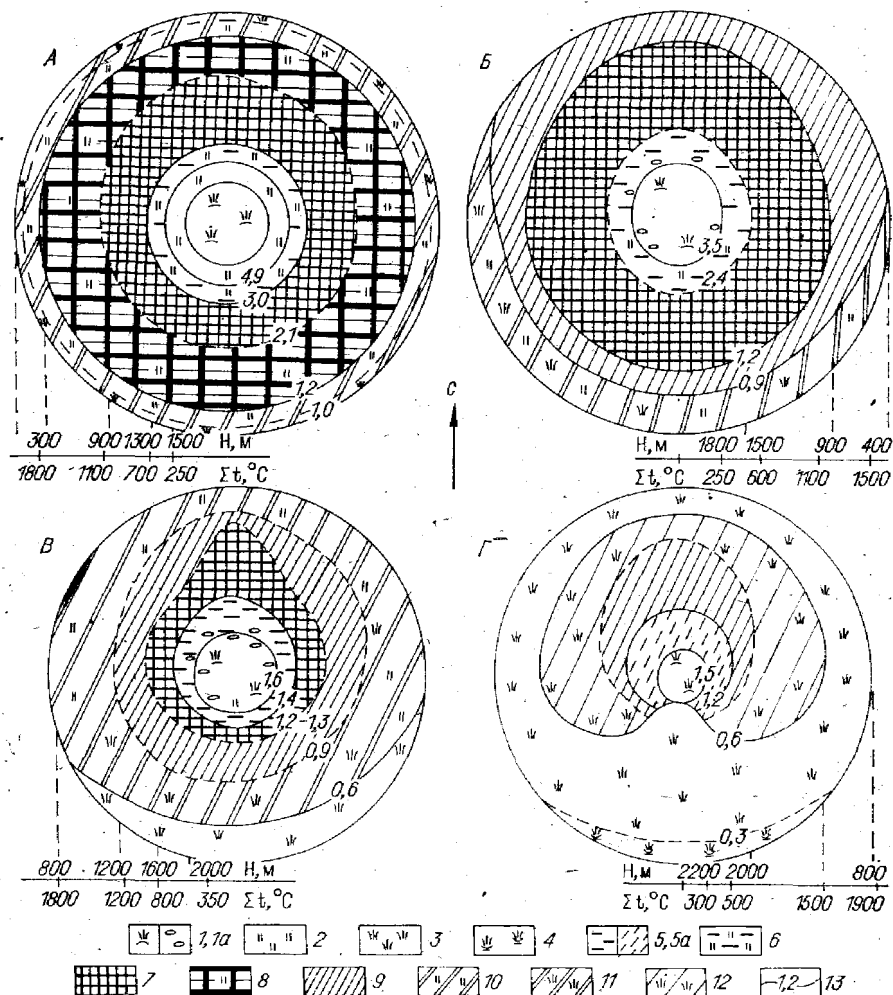


Рис. 3. Обобщенные схемы биоклиматической поясности по группам районов (климатическим фациям) гор Южной Сибири.

Группы районов: А — избыточно влажные циклонические таежно-черневые; Б — влажные циклонические горно-таежные; В — умеренно влажные антициклонические таежно-лесостепные; Г — недостаточно влажные (субаридные) антициклонические таежно-степные. Нелесные пояса растительности: 1 — горно-тундровый; 1а — кустарниковый подгольцовый; 2 — горно-луговой; 3 — горно-степной; 4 — полупустынный. Лесные пояса: 5 — подгольцово-таежный кедровый; 5а — подгольцово-таежный лиственнично-кедровый; 6 — подгольцово-субальпийский (пихтово-кедровый, кедровый, лиственнично-кедровый); 7 — горно-таежный темнохвойный (пихтовый, пихтово-кедровый, лиственнично-кедровый); 8 — горно-черновой темнохвойный (осиново-пихтовый, кедрово-пихтовый); 9 — горно-таежный светлохвойный (сосново-лиственничный, кедрово-лиственничный, лиственничный); 10 — подтаежный светлохвойный (сосново-лиственничный, сосново-лиственничный); 11 — лесостепной (сосново-березовый, сосново-лиственничный); 12 — перистепной (лиственничный). Другие обозначения: 13 — индекс увлажнения по Меаенцеву (см. табл. 2) на границах поясов; H, м — абсолютная высота границ поясов и подпоясов на склонах нейтральных экспозиций (для широты 52—53°); Σt, °C — сумма активных температур (выше 10°), рассчитанная для тех же уровней.

Природные особенности горных лесов Сибири по групп

Группа лесорастительных районов (климатическая фация)	Географическое положение, показатели континентальности (А), увлажнения низко- и среднегорий (r, K* — коэффициент увлажнения по Мезенцеву)	Пояс, теплообеспеченность, суммы активных температур
А. Избыточно влажные районы темнохвойных (кедрово-пихтовых) лесов	Северо-Восточный Алтай, Кузнецкий Алатау, северо-восточная часть Западного Саяна, юго-западная часть Восточного Саяна, часть северного склона Хамар-Дабана А = 30—35°, r = 500—1600 мм, K* = 0,7—4,2	Черновой, умеренно теплый и теплый, 1100—1800° Таежный, умеренно холодный, 700—1200° Субальпийский, холодный, 300—700°
Б. Влажные районы таежных преимущественно темнохвойных (кедровых) лесов	Осевые части Саян, районы Центрального Алтая, северо-восточная часть Тувы, наиболее влажные районы Прибайкалья А = 33—39°, r = 450—800 мм, K* = 0,5—2,2	Таежный, умеренно теплый до теплого, 1200—1800° Таежный, умеренно холодный, 800—1200° Подгольцовый, холодный, 300—800°
В. Умеренно влажные горнотаежно-лесостепные районы преимущественно лиственных лесов	Большинство низкогорных районов Хакасии, среднегорий Центрального Алтая, низкогорные леса Восточного Саяна, частично Южного Забайкалья А = 38—45°, r = 300—500 мм, K* = 0,4—1,4	Подтаежно-лесостепной, теплый, 1600—1800° Светлохвойнотаежный, умеренно теплый до теплого, 1200—1600° Таежный, умеренно холодный, 800—1200° Подгольцовый, холодный, 300—800°
Г. Недостаточно влажные (сухие) таежно-степные районы степей и лиственных лесов	Межгорные котловины, предгорья, внутренние подветренные части горных систем: Юго-Восточный Алтай, юго-западная часть Западного Саяна, отдельные районы Тувы и Забайкалья А = 43—55°, r = 220—350 мм, K* = 0,3—0,8	Лиственничный, умеренно теплый, 1200—1600° Таежный, умеренно холодный, 800—1200° Подгольцовый, холодный, 300—800°

Лесорастительных районов (климатическим фациям)

Лесные почвы (фоновые типы и подтипы)	Формации и преобладающие группы типов, классы бонитета
Горно-таежные бурые неоподзоленные, дерново-подзолистые (псевдоподзолистые), серые лесные	Пихтарники, кедровники и осинники крупнотравно-папоротниковые, травяно-зеленомошные, реже травяно-болотные и разнотравные, I—III
Горно-таежные бурые оподзоленные, горные дерново-подзолистые и подзолистые, горные подбурь	Пихтарники и кедровники травяно-зеленомошные, зеленомошные, бадановые, реже крупнотравные, III—IV
Горно-луговые перегнойные и дерновые, лесолуговые оподзоленные, перегнойно-подзолистые, горные подбурь	Кедровое и пихтовое редколесье в комплексе с субальпийскими крупнотравными и разнотравными лугами, IV—Va, б
Горно-таежные перегнойные кислые оподзоленные и неоподзоленные (в том числе длительно-сезонно-мерзлотные), дерново-таежные и дерново-карбонатные	Кедровники (с елью и пихтой), лиственничники и сосняки зеленомошные, багульничково-моховые, III—IV (кедровники), II—IV (лиственничники и сосняки)
Горно-таежные перегнойные длительно сезонно-мерзлотные, горно-подзолистые	Кедровники зеленомошные, бадановые, багульничково-моховые, IV—Va
Горно-таежные торфянисто-глеевые мерзлотные, перегнойные кислые длительно сезонно-мерзлотные	Кедровники подгольцовые мшистые (с березкой, кашарой), бадановые, лишайниковые в сочетании с горными тундрами и лугами, V—Va
Горно-лесные дерновые, серые лесные, черноземы, дерново-подзолистые, дерново-лесные карбонатные	Лиственничники и сосняки осочково-разнотравные, разнотравно-брусничные, крупнотравные, II—III
Горно-лесные дерновые, горно-таежные перегнойные, дерново-карбонатные, на песчаных породах — подзолистые	Лиственничники с елью и сосняки разнотравные, разнотравно-брусничные, зеленомошные, багульничково-моховые, рододендроновые, III—IV
Горно-таежные торфянисто-перегнойные и перегнойно-кислые, нередко оподзоленные, в том числе длительно сезонно-мерзлотные	Лиственничники с елью и кедровники с лиственницей зеленомошные, войничково-разнотравные, багульничково-моховые, III—V
Горно-таежные перегнойные мерзлотные, горно-тундровые перегнойные и дерновые	Кедровники подгольцовые лишайниковые, мшистые (с березкой), багульничково-моховые, V—Vб
Горные дерновые глубоко промерзающие в комплексе с черноземами и каштановыми	Лиственничники (реже сосняки) остепненно-разнотравные, рододендроновые, разнотравно-брусничные, сухомшистые в комплексе с горными степями, III—V
Горно-лесные дерновые и дерново-карбонатные, черноземы выщелоченные, горно-таежные перегнойные (в том числе мерзлотные)	Лиственничники (реже кедровники) рододендроновые, разнотравно-брусничные, зеленомошные, багульничково-моховые, баданово-брусничные, IV—Va
Горно-таежные перегнойные и торфянисто-перегнойные глееватые мерзлотные и холодные	Лиственничники, реже кедровники, лишайниковые, овсяницево-багульничково-моховые, V—Va



*Рис. 4.* Характерные пихтово-лиственные производные леса черного пояса (Северо-Восточный Алтай).



*Рис. 5.* Пихтово-кедровые леса избыточно влажной климатической фации близ верхней границы леса. На переднем плане субальпийские луга (хр. Шамаи в Западном Саяне, абс. высота 1300—1500 м).



*Рис. 6.* Горно-таежные кедровые леса влажной климатической фации по берегам Енисея выше Саяно-Шушенской ГЭС (Западный Саян).



*Рис. 7.* Подгольцово-таежные кедровые леса влажной климатической фации в бассейне р. Кантегир, абс. высота 1600 м (Западный Саян).



Рис. 8. Низкогорные лесостепные сосняки умеренно влажной климатической фации, абс. высота 600—800 м (Баргузинская котловина).

новными лесообразователями в нем являются пихта и осина. К востоку он замещается таежно-черневым ВПК кедровых и пихтовых лесов. При подъеме вверх или с продвижением в глубь горных систем он уступает место горно-таежному кедрово-пихтовому ВПК. У верхней границы леса распространены субальпийские высокогорные луга, образующие в ландшафте характерные сочетания с редколесьями и отдельными массивами субальпийских и высокогорно-таежных лесов (рис. 5). Положение верхней границы леса в сравнении с другими группами районов самое низкое: на севере Кузнецкого Алатау — 1100 м, в Западном Саяне — 1300—1500 м, на Хамар-Дабане — 1500—1600 м.

Во второй группе горно-таежных районов (см. рис. 3, Б) поясной спектр начинается со светлохвойных (сосново-лиственничных подтаежных) ВПК, но уже с высоты 600—800 м в спектре господствуют горно-таежные кедровые леса (рис. 6). Кедр образует и верхнюю границу леса, вблизи которой формируется подгольцово-таежный ВПК (рис. 7).

Лиственница на верхней границе леса не характерна, за исключением некоторых районов Центрального Алтая. Субальпийские луга не образуют такого четкого пояса, как в избыточно влажных районах, хотя могут сочетаться с подгольцовыми и субальпийскими кедровыми лесами и редколесьями.

Относительно низкое общее положение темнохвойного пояса (от 600 до 1400 м в Восточном Саяне и от 800 до 1600 м в Западном Саяне) является одним из важных диагностических признаков, отличающих влажные горно-таежные районы от следующей группы умеренно влажных районов.

В третьей группе умеренно влажных таежно-лесостепных районов (см. рис. 3, В) нижнюю часть спектра образуют котловинные степи и окружающая их экспозиционная горная лесостепь (рис. 8). Выше и глубже в горные массивы ее сменяют подтаежный, а затем горно-таежный ВПК светлохвойных лесов.

Основным лесообразователем выступает повсеместно лиственница, но участие сосны в этих ВПК в отдельных районах Восточного Саяна, Хакасии, Забайкалья также очень существенно и не может быть объяснено только интразональностью сосновой формации. В ряде районов подтаежный и лесостепной ВПК территориально не разобщены и фитоценологически настолько сходны, что естественным образом объединяются в подтаежно-лесостепной ВПК. На высотах более 1000—1400 м появляются массивы кедровых лесов. Верхняя граница леса лежит на высотах 1600—1900 м и образована, как правило, кедром с примесью лиственницы. Пихта полностью исчезает из состава лесообразователей. Исключение могут составить локальные благоприятные местообитания, а также пограничные массивы темнохвойных лесов на стыке с более влажными районами.

Во всех массивах высокогорных кедровых лесов в связи с большими абсолютными высотами характерно развитие мерзлотных процессов. В нижних поясах мерзлота носит островной характер. Наличие горно-таежных мерзлотных почв составляет характерную черту Восточно-Тувинской лесорастительной провинции и Забайкалья.

По южным склонам вблизи котловин довольно высоко поднимаются участки степной растительности: мелкодерновинно-злаковые и полынно-злаковые степи на мелких хрящеватых каштановых почвах или горных черноземах. Они обладают большим флористическим сходством со степями Монголии, хотя в количественном соотношении элементов прослеживаются зональные и региональные различия [Куминова, 1983].

Четвертую группу составляют таежно-степные районы наиболее сухого (субаридного) климата (см. рис. 3, Г). Горные степи поднимаются по южным склонам очень высоко, иногда до границы с тундрами, и имеют наибольшую пространственную выраженность. Лесные массивы изолированы и размещены в основном на северных склонах хребтов, в пределах 1400—2300 м. Своеобразие лесных ВПК проявляется в полной или частичной редукции темнохвойных лесов, резкой экспозиционной асимметрии границ (рис. 9). На контакте с сухими степями формируется ксерофитный «перистепной» ВПК [Типы лесов..., 1980] на горно-лесных дерновых почвах в комплексе с горно-степными криоаридными почвами. Изредка встречаются и фрагменты горной березово-лиственничной лесостепи на подгорных шлейфах северных склонов.

Основную часть лесного покрова составляет горно-таежный лиственничный, а по С. А. Ильинской [1980] — травяно-таежный ВПК.

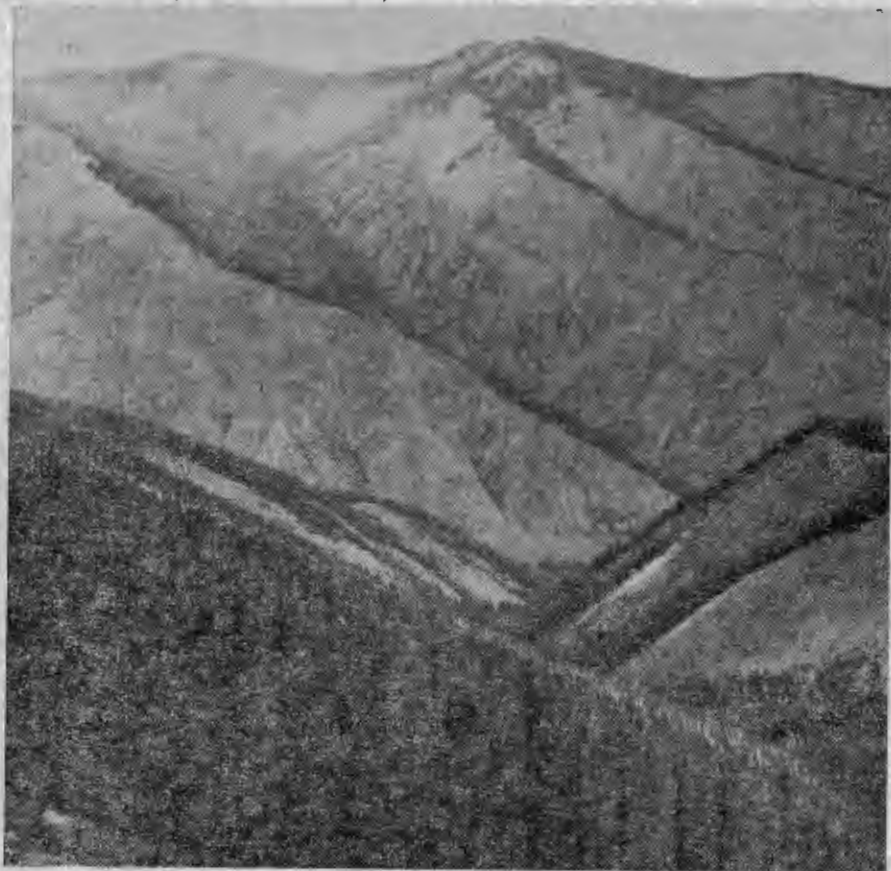


Рис. 9. Экспозиционная асимметрия ландшафтов в таежно-степных районах недостаточно влажной климатической фации (плато Алаш в Западном Саяне, абс. высота 1400—1700 м).

На верхнем пределе лесной растительности получают распространение подгольдово-таежный ВПК и своеобразный остепненный субальпийско-таежно-лиственничный ВПК. Примесь кедра заметно увеличивается в массивах, граничащих с более влажными районами. Выше 2300—2500 м господствует горная тундра. В отличие от трех предыдущих данная группа районов пространственно не разобщена и целиком находится в западной части Тувы и Юго-Восточном Алтае.

Каждая из групп районов, достаточно хорошо отграничиваясь от соседних не только по увлажнению, но и по континентальности, обладает специфическим составом фоновых типов и групп типов леса. Соответствующие единицы классификации лесных экосистем мы назвали климатическими фациями по аналогии с климатическими фациями Б. П. Колесникова [1956], впервые использовавшего этот термин для классификации лесов Дальнего Востока. Позже это понятие

неоднократно применяли для разграничения региональных комплексов кедровников, ельников, пихтарников и смешанных пихтово-еловых лесов ученики и последователи Б. П. Колесникова.

Понятие «климатическая фация», близкое по смыслу к почвенно-географической фации [Герасимов, 1933], можно применить не только к одной формации, но и к группе формаций, говоря, например, о темнохвойных лесах Южной Сибири, где выделяется ряд климатических фаций [Назимова, 1968; и др.]. В данной работе, рассматривая горные леса в целом, мы считаем возможным и целесообразным выделять климатические фации горных лесов как отражение определенных климатических режимов, свойственных выделенным четырем группам районов (см. табл. 2). Целесообразность именно такого подхода обусловлена тем, что в лесохозяйственной практике приходится иметь дело с горной территорией, на которой, как правило, сочетаются два-три разных ВПК.

Первая климатическая фация горных лесов (А) приурочена только к избыточно влажным районам Салайро-Кузнецкой и Северной Алтае-Саянской провинции, где отмечается наивысший градиент осадков. Поэтому в верхней части спектра поясности (см. рис. 3) наряду с недостатком тепла фактором, ограничивающим продуктивность, является избыточное увлажнение, препятствующее нормальному росту практически всех древесных пород. Господствуют пихтовые и пихтово-кедровые леса II—IV, вверху — IV—Va классов бонитета. Широко представлены гигроморфные травяные типы леса, в том числе крупнотравные и папоротниковые серии. Последние в условиях резко избыточного увлажнения распространены снизу доверху, определяя физиономические черты всей климатической фации. Мощное развитие трав препятствует возобновлению леса.

Распространены разновозрастные насаждения [Семечкин, 1963; Лебков, 1967; и др.]. Производительность достигает максимума на дренированных почвах в нижней части спектра: в низогорной и среднегорной полосе кедровники имеют I—II класс бонитета, пихтарники — до I—II класса бонитета. Вместе с тем лесов высокой производительности немного: средние запасы по данным лесоустройства составляют 200—220 м<sup>3</sup>/га. Сказывается разреженность, высокая доля участия пихты, а также разновозрастность пихты и кедра. Из производных насаждений шире, чем где-либо, распространены черневые осинники.

Влажная климатическая фация (Б) и соответствующая группа районов характеризуются абсолютным преобладанием в спектре ВПК типичной бореальной темнохвойной тайги, сменяющейся внизу светлохвойной сосново-лиственничной тайгой. Господствуют леса зеленомошных групп, образующие здесь самый широкий спектр типов леса с производительностью от I до IV класса бонитета. Фоновую роль играют в нижних поясах вейниково-осочковые (с вейником тупоколосковым), бруснично-разнотравные серии типов леса, а в верхних — черничные, вейниково-зеленомошные, бадановые, мшистые серии. В высокогорьях кедровники имеют почти чистый состав, а на границе с третьей, умеренно влажной климатической фа-

Распределение лесопокрытой площади гор Южной Сибири по преоб

Группа районов (климатическая фация)	Средняя лесистость, %	Не покрытая лесом площадь, % от общей	Лесопокрытая			
			По поро			
			Пихта	Кедр	Ель	Лиственница
Таежно-черневые (избыточно влажные)	70—80	13—15	46	23	1	4
Горно-таежные (влажные)	50—75	6—8	5	39	5	16
Таежно-лесостепные (умеренно влажные)	40—50	2—4	—	32	2	46
Таежно-степные (недостаточно влажные)	15—25	Около 2	—	11	3	81
Всего . . .	55—60	7—8	15	30	2	28

цией в высокогорных кедровниках может примешиваться лиственница. Древостои преимущественно одновозрастные, послепожарные; возможны смены на березу, сосну и лиственницу на контакте светло- и темнохвойных формаций. В верхней части спектра смены пород, как правило, не наблюдается.

В умеренно влажной климатической фации (В) (группа таежно-лесостепных районов) влажность климата достаточна для произрастания светлохвойных лесов, занимающих низкогорья и отчасти среднегорья, тогда как для темнохвойных лесов достаточные условия увлажнения появляются лишь в среднегорье, с высоты 1000 м и более. На нижнем пределе продуктивность лесов лимитируется недостатком влаги, а на верхнем — сказывается прежде всего ограниченность тепловых ресурсов (см. рис. 3, В).

В светлохвойных (преимущественно лиственничных и сосново-березово-лиственничных) ВПК доминируют разнотравно-осочковые, спирейно-вейниковые и бруснично-разнотравные серии типов леса. К востоку в составе подтаежно-лесостепного ВПК все больший удельный вес приобретают более олиготрофные бруснично-разнотравные и бруснично-злаковые серии.

Для горной светлохвойной тайги, как и для кедровой тайги умеренно влажной климатической фации, характерны отсутствие пихты в древостое, кислицы и черники в покрове и широкое распространение бруснично-зеленомошных и багульниково-бруснично-зеленомошных серий типов леса (лиственничников, сосняков, кедровников и даже ельников).

Широкое развитие длительно-сезонно-мерзлотных почв — характерная особенность лесов данной климатической фации. Еще одной общей их чертой является подверженность пожарам, гораздо более частым, чем в лесах двух предыдущих фаций. Производительность лесов средняя и низкая (III—V, редко II класс бонитета у листвен-

ладающим древесным породам и группам лесорастительных районов

площадь				Ср. бонитет	Ср. запас на 1 га спелых хвойных, м <sup>3</sup>		
дам, %							
Сосна	Береза	Осина	Прочие			Общая	
				млн. га	% по всем горам		
3	15	8	—	11,3	29	III (II—IV)	200—220
18	14	2	1	11,8	30	IV (III—V)	150—170
11	5	—	4	15,3	39	IV—V (III—Va)	120—150
—	2	—	3	0,8	2	V—Va (IV—Va)	50—80
10	10	3	2	39,2	100	IV (III—V)	150—170

ницы и IV—V классы бонитета у кедр). В ряде районов весьма заметную часть общей площади занимают сосняки. Примечательно, что они относятся к тем же сериям типов леса, что и лиственничники. Значительная часть сосняков имеет послепожарное происхождение на месте бывших в недалеком прошлом лиственничных и кедровых лесов.

Недостаточно влажная фация (Г) горных лесов (группа таежно-степных районов) представлена на небольшой части территории Западной Тувы и в Юго-Восточном Алтае. Леса здесь вытеснены из благоприятного теплового высотно-климатического пояса горными степями, абсолютно преобладающими и в спектрах и на территории районов. Занимая высоты более 1200 м, а иногда только более 1600 м, эти леса характеризуются сниженной продуктивностью: преобладают насаждения V—Va и IV классов бонитета, очень невелика доля лесов с производительностью, оцениваемой III классом бонитета. Абсолютное господство лиственницы при небольшом участии кедр у верхней границы леса и ели по долинам характеризует типичный состав лесов данной климатической фации.

Экспозиционная асимметрия ландшафтов, свойственная и предыдущей группе районов, достигает здесь предельной выраженности, способствуя развитию таежно-степных и тундрово-таежно-степных среднегорных и высокогорных ландшафтов (см. рис. 9).

Хотя леса непосредственно граничат здесь со степями, это не означает их взаимозаменяемости: различия в условиях увлажнения северных и южных мезосклонов настолько значительны, что могут быть приравнены к зональным. Позиции леса в данных условиях достаточно уязвимы, и с отступлением мерзлоты после пожара или вырубке мелких массивов может пойти необратимая смена леса на степь.



На верхней границе леса нарушение сложившегося равновесия также означает возможные смены леса на заросли ерников, субальпийские пустоши и тундры.

Анализ соотношений основных формаций по группам лесорастительных районов (климатическим фациям) показывает их существенные различия (табл. 3). Группа таежно-черневых районов характеризуется господством темнохвойных (пихтовой и пихтово-кедровой) формаций — 70%, при относительно небольшом участии светлохвойных (лиственница и сосна примерно в равных соотношениях) — 7% и значительном участии мелколиственных (береза и осина в соотношении 2 : 1) — 23%.

Группа горно-таежных районов отличается несколько меньшим преобладанием темнохвойных (в основном кедровой) формаций — 49%, при значительном участии светлохвойных — 34% и меньшем участии мелколиственных (преимущественно березовых) — 16%.

Заметим, что лиственные леса в районах «циклонического климата» большей частью являются производными от темнохвойных, что еще более меняет соотношение в пользу последних.

В группе таежно-лесостепных районов преобладание переходит к светлохвойным (преимущественно лиственничным) лесам — 57%. На долю темнохвойных (кедровых, редко еловых) приходится лишь 34% (верхние ВПК). Остальная площадь в нижних ВПК покрыта березой (5%), в верхних — ерниковыми и стланиковыми зарослями (4%).

В группе таежно-степных районов абсолютно господствует лиственница сибирская (81%); кедровники (вместе с придолинными ельниками) занимают около 14%; на березняки, ерники и прочие лесобразующие породы приходится лишь около 5% лесопокрываемой площади.

Лесистость отдельных горных районов может колебаться в значительных пределах (в зависимости от наличия степных котловин, тундрово-гольцовых высокогорий и др.). Однако приводимые в табл. 3 показатели средней лесистости хорошо отражают общую картину снижения лесистости и оттеснения лесов степями в высокогорье по мере перехода от избыточно влажной климатической фации к недостаточно влажной.

Несмотря на значительные колебания в уровнях продуктивности лесов по отдельным районам и в пределах района от низкогорий к высокогорьям, таблица хорошо иллюстрирует закономерное снижение среднего уровня продуктивности по районам в целом при снижении влажности климата от среднего III класса бонитета к Va и уменьшение средних запасов древостоев в том же направлении в 3—4 раза.

Приводимые данные хорошо иллюстрируют общее закономерное снижение уровня климатического и эдафического потенциала местообитаний по мере перехода от районов гумидного климата с плодородными почвами к районам аридного экстроконтинентального климата с мерзлотными почвами. По материалам книги «Горные леса» (1979) указанный потенциал, округленно выраженный в средних запасах и средних приростах на 1 га спелых хвойных насаждений,

снижается по мере перехода от меридианов Карпат к меридианам Забайкалья в следующих средних размерах: Карпаты — 445 м<sup>3</sup>/га (среднегодовой прирост древесины — 5,3 м<sup>3</sup>/га), Северный Кавказ — 346 (2,1), Урал — 197 (1,8), горы Западной Сибири (Горный Алтай, Кузнецкий Алатау и Салаир) — 171 (1,7) и горы Восточной Сибири в целом — 150 м<sup>3</sup>/га (1,25 м<sup>3</sup>/га в год). Таким образом, размеры снижения запасов и приростов горных лесов в целом по стране примерно такие же, как и в пределах гор Южной Сибири при переходе от их «наветренных» макросклонов к районам «дождевой тени».

И в заключение необходимо коснуться основного механизма продуцирования биомассы в разрезе климатических фаций горных лесов — биологического круговорота веществ. Как известно, и устойчивость лесных экосистем, и их продуктивность основаны на круговороте воды, органических и минеральных веществ. Ведущая роль в этом процессе принадлежит климату. Именно климат определяет основные функции почвы, лесной подстилки и сложной почвенной биоты, а в конечном итоге — интенсивность и продуктивность биологического круговорота.

«Двигателями» лесных экосистем, как систем открытых, являются два входящих климатических компонента — теплообеспеченность (энергия света, трансформируемая в тепловую) и влагообеспеченность (осадки или точнее суммарное увлажнение, включающее внутрипочвенный приход воды). Различное сочетание этих двух регуляторов биологического круговорота и определяет различный уровень продуктивности горных лесных систем.

Для устойчивого существования лесной экосистемы ее влагообеспеченность обычно должна быть не ниже показателя испаряемости. На широтах гор Южной Сибири порог минимально достаточной влагообеспеченности для лесов из сосны, лиственницы, березы (в условиях плакора), соответствующий нижней границе, связан со среднегодовой нормой осадков: в полосе северных предгорий (теплый климат) — около 500—530 мм, в низкогорной полосе (умеренно теплый климат) — около 400—430 мм, в среднегорной (умеренно холодный климат) — 350—400 мм и в высокогорьях — 300—350 мм. Поскольку на продуцирование 1 т сухого вещества требуется до 2 кг воды [Оуэн, 1977], высокие нормы продуцирования биомассы требуют повышенной влагообеспеченности при одновременной обеспеченности достаточным количеством тепла.

Условия оптимального для гор Южной Сибири сочетания тепла и влаги (сумма биологически активных температур воздуха 1200—1800° и более, при годовой сумме осадков 600—1000 мм и более), как мы уже отмечали, наблюдаются в горно-черневом ВПК избыточно влажной климатической фации. Черневым лесам соответствуют наивысшие, видимо, для всей Сибири показатели интенсивности биологического круговорота [Ковалев и др., 1981] и, как будет показано далее, наивысший потенциал биологической продуктивности.

Особую роль в биологическом круговороте черневых лесов выполняет мощно развитый травяной покров. Ежегодный опад надзем-

ных частей трав составляет от 0,7 до 3 т/га в абсолютно сухом весе, или от 20 до 55% общего опада даже в наиболее сомкнутых черневых кедровниках [Вишнякова и др., 1968]. Если учесть к тому же примерно втрое больший опад корней трав, а также в несколько раз более высокую зольность трав в сравнении с древесным опадом, то становится очевидной совершенно особая роль травяного покрова в биологическом круговороте веществ черневых лесов. Благодаря интенсификации всех биогенных процессов разложение органического вещества в опаде происходит крайне интенсивно — примерно в 10—15 раз быстрее, чем в характерных таежных лесах, описываемых Л. Е. Родиным и Н. И. Базилевич [1965]. Весь опад успевает разложиться, как правило, в течение одного года, поэтому образования подстилки и аккумуляции ею минеральных веществ практически не происходит. В результате такой высокой интенсивности разложения органического вещества основная его часть (не менее 90%) минерализуется до состояния углекислого газа [Вишнякова и др., 1968].

Высокая интенсивность и большая энергоемкость обмена веществ между биоценозом и эдафотопом в черневых лесах в большой степени определяются благоприятным термическим режимом почв. Вследствие развитого снежного покрова и повышенной теплоемкости влажных почв последние либо совершенно не промерзают, либо замерзают на очень короткий период (обычно ноябрь). В результате биогенные процессы разложения и минерализации органического вещества на зиму не прекращаются, и основная масса обильного опада может разрушаться уже к моменту весеннего снеготаяния.

В осиново-пихтовых черневых лесах Кузнецкого Алатау, Салаира и Горной Шории С. С. Трофимовым и С. А. Тарановым [1968] наивысшая численность микроорганизмов в почве была отмечена именно зимой. При этом преобладание травянистого опада способствует тому, что по видовому составу (доминирование бактерий) и высокой численности микроорганизмов почвы черневых лесов ближе к почвам, формирующимся под травянистыми сообществами, чем к почвам типичной бореальной тайги.

В лесах менее влажных климатических фаций, формирующихся в условиях длительного промерзания почв, активизация биогенных процессов разложения органического вещества почвы ограничивается лишь продолжительностью вегетационного периода (обычно 3—4 мес). Следствием развития холодных (и даже мерзлотных) почв являются резкое замедление темпов круговорота веществ, пониженная биологическая активность почв, консервация органического вещества в форме перегноя или торфа и соответственно пониженная биологическая продуктивность фитоценозов [Поликарпов, 1970].

Почвы горно-таежных и таежно-лесостепных районов отличаются от почв черневых лесов резким снижением общей численности микрофлоры и специфичным «таежным» видовым составом ее (возрастает численность грибной флоры, падает доля споровых форм бактерий и актиномицетов и т. п.). При этом в лесных почвах таежно-лесостепных районов количество законсервированного и не участвующего

во вторичном круговороте вещества может превышать годичный опад в 30—40 и более раз. Количество элементов, перемещающихся ежегодно, заметно снижается, что наиболее выражено на мерзлотных почвах, и при длительном отсутствии пожаров приводит к ошутимому снижению уровня биологической продуктивности лесных экосистем (снижению показателей роста и класса бонитета).

После пожаров и рубок происходит мобилизация законсервированного материала подстилок и временный, но хорошо ошутимый всплеск в интенсивности биологического круговорота. Отмечалось временное (до 40—50 лет) повышение бонитета древостоев на один и даже два класса. Однако вследствие пониженного климатического потенциала описываемых лесов повышение почвенного потенциала не имеет решающего значения для их биологической продуктивности, а в ряде случаев сопровождается последующим прогрессирующим снижением продуктивности.

Низкая интенсивность биологического круговорота и отвечающая ей низкая продуктивность древостоев недостаточно влажной климатической фации, равно как и всех высокогорных лесов других климатических фаций, обусловлены не столько лимитом влаги, сколько малой теплообеспеченностью, примерно соответствующей условиям северо-таежной подзоны и зоны лесотундровых редколесий равнинных лесов редуцированного развития [Эколого-фитоценологические комплексы..., 1977].

#### 1.4. ВЫСОТНАЯ ПОЯСНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВ. ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ ВЫСОТНО-ПОЯСНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Высотная поясность растительности отдельных регионов, входящих в горы Южной Сибири, рассмотрена в целом ряде работ, из которых отметим лишь наиболее значительные. Это работы А. В. Куминовой [1960], А. Г. Крылова и С. П. Речан [1968], Г. Н. Огуревой [1980] по Алтаю; А. В. Куминовой с соавторами по Красноярскому краю и Туве [Растительный покров Хакасии, 1976; Растительные сообщества Тувы, 1982]; Л. И. Малышева [1965] и И. М. Красноторова [1976] по Восточному и Западному Саянам; Л. Н. Тюлиной [1976] по Прибайкалью; Ю. С. Чередниковой [1969] по Восточному Саяну и бассейну оз. Байкал; Г. А. Пешковой [1985] по Прибайкалью и Забайкалью.

Уяснению общих закономерностей географии лесов Южной Сибири помогли развернутые в Северной Монголии исследования листовичных лесов [Леса МНР, 1978, 1983; Горная лесостепь..., 1984]. Эти леса составляют единый региональный комплекс с южно-сибирскими хвойными формациями [Растительный покров СССР, 1956].

Очень ценную информацию о высотной поясности лесной растительности можно найти на таких картах, как «Карты природы...» [1972], «БAM. Растительность» [1983] и особенно «Карта лесов МНР» [1983], где показана высотно-поясная структура лесов по провинциям.

Важным этапом обобщения накопленных материалов по закономерностям поясности почв и растительности явилась монография «Типы лесов гор Южной Сибири» под редакцией В. Н. Смагина [1980], в которой систематизированы данные о структуре поясности всего региона. По 14 провинциям составлены характерные спектры ВПК, иллюстрирующие тип поясности каждой из них. Выделено два класса поясности: суббореальный, абсолютно доминирующий в горах Южной Сибири, и аридный, представленный лишь на крайнем юге региона. Первый характеризуется абсолютным господством таежных экосистем и базисным поясом в степной или лесостепной зоне, второй — общим преобладанием горных степей и полудустынным или сухостепным базисным поясом. В пределах суббореального класса намечается группирование провинций и в отдельных случаях округов в две основные группы по режиму увлажнения макросклонов. Как отмечалось ранее, они могут именоваться циклоническими и антициклоническими, или континентальными (терминология Б. Ф. Петрова [1952]). В более общепринятой терминологии [Таргульян, 1971; Tuhkanen, 1984] они соответствуют гумидным и семигумидным (семиаридным) провинциям.

Систематизация типов, подтипов и вариантов поясности гор Южной Сибири обсуждается и в специальной статье Г. Н. Огуревой [1983], предлагающей свой вариант классификации и карто-схему поясных структур. Во многих чертах она хорошо согласуется с провинциальным разделением территории [Типы лесов..., 1980]. Выделено пять типов поясности бореального класса и один тип поясности аридного класса, граница между которыми проведена по хр. Западный Танну-Ола, что кажется нам вполне обоснованным. На схеме четко прослеживается нарастание континентальности в восточном направлении, но, возможно, именно поэтому оказываются не отраженными общие черты поясных структур всех циклонических провинций гор Южной Сибири, с абсолютным господством темнохвойных лесов влажной и избыточно влажной климатических фаций и выраженным поясом субальпика, независимо от их секторного положения. Общие черты можно отметить и для антициклонических провинций, где господствуют леса умеренно влажной климатической фации, хотя секторные различия в этой группе провинций более заметны (см. рис. 3). На схеме районирования они выражены принадлежностью к разным областям. В целом типы поясности как диагностический признак выделения провинций, очевидно, в наибольшей степени отражают режим увлажнения макросклонов — основной экологический фактор провинциального расчленения растительного покрова.

Поясность почвенного покрова изучена в меньшей степени, и ее систематизация может быть дана лишь в самом общем виде. Затруднения вызывают разные наименования, приводимые для одних и тех же почв и для почв-аналогов разными авторами. Мы попытались представить спектры поясности почв, используя работы Б. Ф. Петрова [1952], В. А. Носина [1963], М. П. Смирнова [1970], Н. А. Ногиной [1964] и других почвоведов, с привязкой к ним элементов высот-

ной поясности растительности. В общем случае границы контуров почв и растительности по целому ряду причин совпадать полностью не будут, тем не менее отдельные категории зональных почв и растительности имеют хорошее согласование [Назимова, Смирнов, 1970].

Для циклонических типов поясности характерна следующая смена (спектр) почв и растительности по направлению сверху вниз: горно-тундровые, горно-луговые (пихтово-кедровое субальпийское редколесье и горные луга), горно-подзолистые (пихтовые и кедрово-пихтовые травяно-зеленомошные леса), горно-таежные бурые (пихтовые и пихтово-кедровые крупнотравные, папоротниковые, вейниковые и травяно-зеленомошные леса черного пояса), серые лесные (пихтово-кедрово-осиновые черневые и сосново-березовые разнотравные подтаежные леса), черноземы (лесостепные сосновые и березово-сосновые леса).

При континентальных типах поясности Тувы, юга Забайкалья высотный ряд почв и растительности слагают горно-тундровые, горно-таежные торфянисто-перегнойные мерзлотные глееплате (кедровники и лиственничники подгольцовые и горно-таежные багульниково-моховые и зеленомошные), горные лесные дерновые (лиственничники горно-таежные и лесостепные разнотравные, зеленомошные, рододендроновые), черноземы (степь), каштановые (сухая степь).

Циклонические горные районы характеризуются более сложным составом почвенных и растительных поясов, постепенностью переходов, слабой зависимостью почв и растительности от экспозиции склонов и почвообразующих пород, меньшей изменчивостью почв и растительности в пространстве.

Антициклонические (континентальные) горные районы отличаются более простым набором почвенных и растительных поясов, более четкими их границами. Отчетливо выражена разница в высотных границах поясов почв и растительности между склонами теневых и световых экспозиций, достигающая 500—800 м, в то время как в циклонических районах она не превышает 200 м. Соответственно наибольшие изменения лесорастительных условий наблюдаются здесь не с абсолютной высотой, а с изменением экспозиции.

Почвы циклонических районов отличаются проникновением почвообразовательного процесса на большую глубину, большой ролью в почвообразовании внутрпочвенного стока, быстрым разложением органического вещества при обильном его образовании, отсутствием многолетней мерзлоты. Основные направления почвообразования избыточно влажных районов — буроземообразование в нижних поясах растительности и подзолообразование в верхних [Смирнов, 1970].

В почвах континентальных антициклонических районов сильно развиты мерзлотные явления и соответственно ярко выражен надмерзлотный тип стока в противовес внутрпочвенно-грунтового. Специфичность условий почвообразования в этих районах имеет своим следствием слабое распространение подзолообразовательного процесса и ряд других черт, свойственных лишь сибирскому почвообразованию. Основные направления почвообразования: мерзлот-

ное — на склонах теневых экспозиций и в верхних подпоясах растительности и дерновый процесс — на склонах световых экспозиций [Смирнов, 1970]. Мерзлотные и длительно-сезонно-мерзлотные дерново-лесные и дерново-таежные почвы образуют основную часть спектра в восточных умеренно влажных районах. В западном секторе они локализованы по элементам мезорельефа и в меньшем диапазоне абсолютных высот.

Спектры высотной поясности растительности и их почвенно-климатическая характеристика по выделенным ранее климатическим фациям даны в предыдущем разделе (см. табл. 2, рис. 3).

Следующий шаг в систематизации ВПК предполагает объединение их в классы. Оно может быть сделано с разной степенью генерализации, но в любом случае даст единицы зональной природы, т. е. пояса и подпояса.

Для гор Сибири разными авторами предлагались два основных пути выделения поясов внутри горно-лесной области. Первый путь, более традиционный, был использован Л. В. Шумиловой [1962]. На обобщенных схемах поясности гор Южной Сибири показаны пояса мелколиственных лесов, сосновых лесов, лиственничных лесов, темнохвойных лесов и, наконец, редколесий и кустарников. Пояса выделены по жизненной форме эдификаторного яруса. Климатическая природа выделенных по растительности поясов получает подтверждение позже в работах других авторов [Назимова, Поликарпов, 1963; Дылис и др., 1965; Поликарпов, 1970; Крылов, 1984].

Второй подход к выделению поясов, намеченный в работах В. Б. Сочавы, использован В. Н. Смагиным с соавторами [Типы лесов..., 1980]. По аналогии с широтными зонами и подзонами в горах Сибири выделяются ВПК, отражающие дифференциацию на горно-таежные, подтаежные, лесостепные, субальпийские и ряд других. При таком подходе принимаются во внимание состав жизненных форм (экобиоморф) нижних ярусов и геоэлементы флоры (бореальный таежный, неморальный, степной, лугово-лесной, арктоальпийский). Выделяемые таким путем зональные категории не являются новыми для Сибири и использовались в ботанико-географических работах Л. М. Черепнина [1953], А. В. Куминовой [1960], А. Г. Крылова и С. П. Речан [1968]. Они явились основными при составлении карты «Эколого-фитоценотические комплексы Азиатской России» [1977]. Продолжая направление, намеченное В. Б. Сочавой, авторы карты делят горные леса на пояса оптимального, ограниченного и редуцированного развития — по признаку теплообеспеченности, проводя аналогию при этом с южно-, средне- и северотаежными лесами равнин. В этой же работе сделана попытка связать количественные характеристики климата с качественными особенностями растительного покрова и его продуктивностью. Хотя по ряду объективных причин карта еще во многом несовершенна и не раскрывает некоторых общих закономерностей географии эколого-фитоценотических комплексов, принципиальный подход следует, по-видимому, одобрить и развивать далее.

Новая по сравнению с предшествующими система широтных зон и высотных поясов Сибири предложена А. Г. Крыловым [1985]. Вы-

деленные им пояса, близкие по объему к принятым нами или даже более мелкие, обоснованы вводимым им понятием «фитоценоморфа», или жизненная форма сообщества. Полагая, что такие жизненные формы сообщества, как тайга, чернь, подгольцовый темнохвойный лес и другие, легко распознаются с воздуха, автор подчеркивает практическую значимость их при дистанционных исследованиях. В горах Южной Сибири он различает до 15 поясов, восемь из них — лесные.

На обобщенной схеме структур поясности Г. Н. Огуревой [1984] в лесном поясе выделено три подпояса: черневой, горно-таежный темнохвойный и горно-таежный лиственничный, каждый из которых имеет две-три высотные полосы. Наряду с ним получает очень широкую трактовку пояс оробореальной лесостепи, включивший, по-видимому и светлохвойную подтайгу.

В данной работе нами предпринята попытка дать собственную иерархическую систему высотно-поясного расчленения горно-лесной области, выделив не только пояса и подпояса, но и их климатические варианты, наиболее часто встречающиеся в горах Южной Сибири (табл. 4). Эта система имеет некоторые особенности, связанные с тем, что пояса и их варианты явились результатом генерализации выделенных ранее высотно-поясных комплексов (ВПК), т. е. совпадают с таксонами классификации ВПК. Этот индуктивный путь классификации лесных экосистем зонального ряда пока остается слабо разработанным в теоретическом плане, но его практическая отдача в области лесного хозяйства и рационального природопользования склывается уже сейчас и будет расти в перспективе [Поликарпов, Назимова, 1976].

В табл. 4 приведены диагностические признаки основных поясных категорий лесной растительности, которые благодаря своей физиономичности могут быть использованы в практической работе, в частности, лесоустроителями. Ими, конечно, не ограничивается характеристика выделяемых классов, которая требует еще углубленной проработки. Климатическая природа этих таксонов будет раскрыта в последующих разделах. Как известно, общность условий среды (в данном случае климата) и признаков растительности, определенных для таксонов этого ранга, и будут означать наличие экосистемы [Спурр, Барнес, 1984]. Поэтому их с полным основанием можно трактовать как зональные классы экосистем. По содержанию они близки к ландшафтным единицам.

Как видно из табл. 4, в числе диагностических признаков названы основные лесообразующие породы и уровень их продуктивности. При выделении классов ВПК эти признаки определены для широкого спектра эдафических условий, эквивалентных в горах зональным. В качестве зональных групп формаций рассматриваются темнохвойные, светлохвойные и мелколиственные. Границе темнохвойных и светлохвойных зональных групп формаций придается особое значение как важному диагностическому признаку, по своей экологической значимости стоящему сразу за границей леса и степи или верхней границей леса. В Южной Сибири она делит горно-лес-

Диагностические признаки лесорастительных поясов в горах Южной Сибири

Пояс, абс. высоты. Климатические варианты по фациям А, Б, В, Г	Лесобразующие породы, классы бонитета	Фоновые жизненные формы (экобиоморфы) лесных экосистем, доминанты и характерные виды нижних ярусов	Сочетание в ландшафте, смены на другие типы растительности, устойчивость
1	2	3	4
<p><i>Степной</i> 300—500 м на севере, 800—1200 м на юге</p> <p><i>Светлохвойный подтаежно-лесостепной*</i> 350—600 м на севере, 900—1300 м на юге</p> <p>А. Сосново-лиственный (с березой, осиной)</p> <p>Б. Березово-сосново-лиственный</p> <p>В. Лиственный</p> <p><i>Светлохвойный горно-таежный</i></p> <p>А. Не развит</p> <p>Б. Сосново-лиственный, 600—1000 м</p> <p>В. Лиственный (с елью кедром), 800—1500 м</p>	<p>Зональных лесов нет. Итразональные сосняки на песках. Узкие полосы долинных ельников, тополежников, лиственничников, пняков</p> <p>С — I—III Ос — I—III Б — II—IV</p> <p>С — II—IV Л — II—IV Б — II—IV</p> <p>Л — II—IV</p> <p>Л — II—IV С — II—IV Б — II—IV Е — II—IV (в долинах)</p> <p>Л — III—V Е — III—V К — III—V</p>	<p>Травяные светлохвойные и лиственные леса с покровом из мезофильного и ксеро-мезофильного разнотравья, злаков, осок (осочка большехвостая, орляк, вейник тростниковидный, вейник Павлова, ирис русский, клевер люпинолистный, герань ложносибирская, пион, василистник малый), участие синузий брусники. Видовая насыщенность высокая (30—60 видов). Моховой покров не развит. В подлеске караганы, спирея дубровколистная, средняя, кизильник черноплодный, шиповник</p> <p>Массивы светлохвойных лесов с развитым моховым покровом, обилием брусники, мезофильного разнотравья, осочки большехвостой и вейников по теплым склонам, господством психрофитов (багульник, голубика, осока шаровидная и др.) по холодным. Видовая насыщенность средняя и низкая (10—25 видов). Моховой ярус варьирует по мощности, неоднородный, с преобладанием зеленых лесных мхов. Заметное участие аулякомниума, сфагновых и других мхов на холодных почвах. Сомкнутый под-</p>	<p>Экспозиционная асимметрия границ. По южным склонам степи. Граница с тайгой — по появлению таежных элементов в нижних ярусах. Смены на длительно-производные луга и кустарники, у нижней границы — на степи</p> <p>Граница с подтайгой по развитию таежных синузий в нижних ярусах. Верхняя граница по появлению массивов кедровой тайги. Устойчивы. Пожары сдвигают границы пояса вверх. На нижнем пределе возможен контакт с петрофитными степями по южным склонам</p>
<p>Г. Лиственный, 1200—1800 м</p> <p><i>Горно-черновой темнохвойный</i> 400—700 м на западе, до 900 м в Саянах и на Хамар-Дабане, 500—800 (до 1200 м) в Западном Алтае</p> <p>А. Варианты по составу: основно-пихтовый и кедрово-пихтовый</p> <p>Б, В, Г — не развит</p> <p><i>Горно-таежный темнохвойный</i></p> <p>А. Кедрово-пихтовый, 800—1300 м</p> <p>Б. Кедровый, 600—1400 м</p> <p>В. Лиственнично-кедровый 500—1250 м на севере, 1000—1700 м на юге.</p>	<p>Л — IV—Va</p> <p>К — Ia — III П — II—IV Ос — Ia — III Б — I—IV С — I—IV</p> <p>К — III—IV П — IV—V</p> <p>К — II—IV Е, Л — II—IV П, С — III—IV</p> <p>К — IV—V Л — III—IV Е — III—V</p>	<p>лесок образуют рододендрон даурский, ольховник, реже спирея средняя, курильский чай, жимолость, шиповник. Фоновые группы типов леса разграничены по климатическим фациям</p> <p>Коренные темнохвойные и производные пихтово-лиственные леса с господством пихты и осины, с высоким развитым подлеском и мощным травяным покровом из крупнотравья и папоротников (щитовники, кочедыжник женский и городчатый, страусопер), вейников (тупоколосчатого и Лангдорфа), неморальных элементов (бруннера, сныть, ясменник и др.). Участие синузий таежного мелкотравья (кислица и др.). Видовая насыщенность высокая (30—50 видов), обилие мега- и мезатрофов. Ярус мхов не развит. Участие мхов головчатого, мниумов и других гигрофитов. В разнообразном подлеске черемуха, ива козья, спирея, калина, волчье лыко, рябина, смородины</p> <p>Наиболее типична сомкнутая зеленомошная тайга с покровом из мезофильных boreальных трав, таежных кустарничков и мелкотравья. Доминируют вейник тупоколосковый, осока Ильина, черника, бадан, багульник, брусника и др. Господство мезотрофов, олиготрофов, участие психрофитов и петрофитов. Видовая насыщенность средняя (10—25 видов). Моховой ярус хорошо развит, с господством этажного мха,</p>	<p>Нижняя граница с подтайгой — по составу древостоев, верхняя граница с темнохвойной тайгой — по господству зеленомошного покрова под пологом тайги, по сомкнутости и густоте древостоев. После нарушений восстановление кедровников длительное, через смену на пихту, осину, реже березу</p> <p>Нижняя граница со светлохвойными по составу древостоев. Переход в высокогорные пояса — по ландшафтным признакам. Устойчивы. Восстановление со сменой пород в нижней части пояса</p>

1	2	3	4
Г — не развит		реже мха Шребера, примесью других видов в соответствующих местообитаниях. Ярус подлеска обычно не развит. Фоновые группы типов леса четко разграничены по климатическим фациям: А — травяно-зеленомошная, Б — зеленомошная, В — бруснично-зеленомошная	
<i>Подгольцово-субальпийский</i> А, Б. Пихтовый и пихтово-кедровый, 1100—1300 м на севере, 1500—1700 м на Алтае В. Кедровый (с лиственницей), 1700—2000 м на Алтае	К — IV—V П — V—Vб	Субальпийские леса и редколесья с покровом из лугово-лесного и субальпийского высокоотравья, разнотравья, в сочетании с лугами и ерниками. Видовая насыщенность средняя и высокая (до 40 видов). Подлесок куртинный, нередко густой: рододендрон золотистый, пихтовый стланник, ольховник	Полоса вдоль верхней границы леса и изолированные участки лесов среди лугов и ерников. При нарушениях смены на безлесные сообщества. Восстановление длительное
<i>Подгольцово-таежный</i> Б, В. Кедровый, лиственнично-кедровый, 1400—1600 м в Восточном Саяне, 1600—2000 м в Туве В, Г. Лиственнично-кедровый, лиственничный, 1800—2100 м	К — IV—Va Л — IV—Va  К — V—Va Л — IV—Va Е — V—Va	Высокогорные леса сниженной продуктивности и сомкнутости, с включением элементов горной тундры и подгольцовых зарослей кустарников. Господство мхов и лишайников, участие психрофитных кустарничков. Низкая видовая насыщенность. В куртинном подлеске березка круглолистная, ольховник, спирея альпийская, рододендрон мелколистный	Выше сменяется высокогорными ерниками, тундрами. Нижняя граница с горной тайгой неясная, условно — на высоте 1600—1700 м в южных районах и 1300 м в северных

\* При более детальном анализе может быть дифференцирован на подтаежный и лесостепной пояса, но в восточном секторе они территориально неразделимы.

ную область, по существу, на два основных пояса первого порядка, в которых может быть расценена как граница провинциального пояса.

Для выделения подтаежных, лесостепных, горно-таежных и высокогорных ВПК были привлечены, как указывалось, состав и структура лесных сообществ, учитывались экобиоморфы нижних ярусов и геоэлементы флоры. Эти признаки информативны не столько для конкретного единичного сообщества, сколько для территориального выдела, выполняющего роль «плотации выявления» основных черт ВПК. Он близок к характерному топозоологическому ряду типов леса.

Территориальная целостность составляет одно из важных свойств пояса, вытекающих из его определения, и в горах с контрастными сочетаниями растительных сообществ по элементам мезорельефа достаточно сложно вычленивать морфоструктурные признаки сообществ, имеющие диагностическую значимость. Мы полагаем, что в этих случаях надо шире привлекать ландшафтные признаки, в том числе структуру комплексов, дешифрируемую на снимках. В частности, по ландшафтными признакам высокогорные ВПК отграничиваются от горно-таежных.

Особо следует оговорить характерное для гор Южной Сибири взаимоприращивание поясных подразделений, благодаря которому формируются смешанные по составу ВПК, например подтаежно-лесостепной, подгольцово-таежный, горно-таежный кедрово-лиственничный. Оно обусловлено контрастностью природного фона, при которой строго упорядоченная картина смены поясов в географическом пространстве внешне как будто нарушается. На самом деле этого нарушения нет. Действуют все те же закономерности, в частности правило предварения зональности Агехина, и каждая из вышеупомянутых категорий занимает единственное свойственное ей положение в экологическом пространстве. Взаимная интерференция конглюров, внедрение степей по южным склонам в лесные пояса, конденрическая поясность вокруг ственных котловин, инверсия поясности в холодных котловинах и долинах с мерзлотными почвами — все это подчиняется единой закономерности и может найти объяснение через гидротермику экосистем. Лишь незначительные особенности георафии лесов не укладываются в это объяснение, и тогда приходится обращаться к связи лесной растительности с литологией, либо к истории формирования растительного покрова, воздействию разурительных пожаров и других стихийных факторов.

Итак, систематизация высотно-поясных закономерностей позволила провести лесорастительное районирование, а на следующем этапе позволило осуществить картографирование высотно-поясных структур и отдельных поясов. Большая часть территории Южной Сибири может быть поделена между двумя циклоническими влажными континентальными, преимущественно темноводными типами поясности, и двумя континентальными, преимущественно светловодными типами поясности. Им соответствуют основные ареалы климатических фаций горных лесов Южной Сибири. Климатические фации в отличие от

1	2	3	4
<p>Г — не развит</p> <p><i>Подгольцово-субальпийский</i> А, Б. Пихтовый и пихтово-кедровый, 1100—1300 м на севере, 1500—1700 м на Алтае В. Кедровый (с лиственницей), 1700—2000 м на Алтае</p> <p><i>Подгольцово-таежный</i> Б, В. Кедровый, лиственнично-кедровый, 1400—1600 м в Восточном Саяне, 1600—2000 м в Туве Г. Лиственнично-кедровый, лиственничный, 1800—2100 м</p>	<p>К — IV—V П — V—V6</p> <p>К — IV—Va Л — IV—Va</p> <p>К — V—Va Л — IV—Va Е — V—Va</p>	<p>реже мха Шребера, примесь других видов в соответствующих местообитаниях. Ярус подлеса обычно не развит. Фоновые группы типов леса четко разграничены по климатическим фациям: А — травяно-зелено-мошная, Б — зеленомошная, В — бруснично-зеленомошная</p> <p>Субальпийские леса и редколесья с покровом из лугово-лесного и субальпийского высокогорья, разнотравья, в сочетании с лугами и ериками. Видовая насыщенность средняя и высокая (до 40 видов). Подлесок куртинный, нередко густой: рододендрон золотистый, пихтовый стланчик, ольховник</p> <p>Высокогорные леса сниженной продуктивности и сомкнутости, с включением элементов горной тундры и подгольцовых зарослей кустарничков. Господство мхов и лишайников, участки пихтовых кустарничков. Низкая видовая насыщенность. В куртинном подлеске березка круглолистная, ольховник, спирей альпийская, рододендрон мелколиственный</p>	<p>Полоса вдоль верхней границы леса и изолированные участки лесов среди лугов и ериков. При нарушениях смены на беслесные сообщества. Восстановление длительного</p> <p>Выше сменяется высокогорными ериками, тундрами. Нижняя граница с горной тайгой неясна, условно — на высоте 1600—1700 м в южных районах и 1300 м в северных</p>

\* При более детальном анализе может быть дифференцирован на подтаежный и лесостепной пояса, но в восточном секторе они территориально неразделимы.

ную область, по существу, на два основных пояса первого порядка, а местами может быть расчленена как граница провинциального порядка.

Для выделения подтаежных, лесостепных, горно-таежных и высокогорных ВПК были привлечены, как указывалось, состав и структура лесных сообществ, учитывающие экобиоморфы нижних ярусов и геоэлементы флоры. Эти признаки информативны не столько для конкретного единичного сообщества, сколько для территориального выдела, выполняющего роль «площади выявления» основных черт ВПК. Он близок к характерному топоэкологическому ряду типов леса.

Территориальная целостность составляет одно из важных свойств пояса, вытекающих из его определения, и в горах с контрастным сочетанием растительных сообществ по элементам мезорельефа достаточно сложно вычленить морфоструктурные признаки сообществ, имеющие диагностическую значимость. Мы полагаем, что в этих случаях надо шире привлекать ландшафтные признаки, в том числе структуру комплексов, дешифрируемую на снимках. В частности, по ландшафтными признакам высокогорные ВПК отграничиваются от горно-таежных.

Особо следует оговорить характерное для гор Южной Сибири взаимопроникновение поясных подразделений, благодаря которому формируются смешанные по составу ВПК, например подтаежно-лесостепной, подгольцово-таежный, горно-таежный кедрово-лиственничный. Оно обусловлено контрастностью природного фона, при которой строго упорядоченная картина смены поясов в географическом пространстве внешне как будто нарушается. На самом деле этого нарушения нет. Действуют все те же закономерности, в частности правило предварения зональности Алехина, и каждая из высотно-поясных категорий занимает единственное свойственное ей положение в экологическом пространстве. Взаимная интерференция контуров, внедрение степей по южным склонам в лесные пояса, концентрическая поясность вокруг степных котловин, инверсия поясности в холодных котловинах и долинах с мерзлотными почвами — все это подчиняется единой закономерности и может найти объяснение через гидротермику экосистем. Лишь немногие частные особенности географии лесов не укладываются в это объяснение, и тогда приходится обращаться к связи лесной растительности с литологией, либо к истории формирования растительного покрова, воздействию разрушительных пожаров и других стихийных факторов.

Итак, систематизация высотно-поясных закономерностей позволила провести лесорастительное районирование, а на следующем этапе позволит осуществить картографирование высотно-поясных структур и отдельных поясов. Большая часть территории Южной Сибири может быть поделена между двумя циклоническими влажными, преимущественно темнохвойными типами поясности, и двумя континентальными, преимущественно светлохвойными типами поясности. Им соответствуют основные ареалы климатических фаций горных лесов Южной Сибири. Климатические фации в отличие от

высотных поясов и подпоясов позволяют выделять таксоны классификации не зонального, а провинциального плана. Хотя совпадения таксонов классификации и районирования в принципе не должно быть, можно говорить все же об основной концентрации лесов той или иной климатической фации в каких-то провинциях. Наряду с этим есть провинции с достаточно сложным территориальным сочетанием лесов из разных климатических фаций. К этому добавляются природные особенности, свойственные только данной провинции (округу). В этом плане наиболее своеобразными выглядят окраинные провинции гор Южной Сибири: Центрально-Алтайская и Западно-Алтайская, с одной стороны, и Прибайкальские провинции — с другой. При их своеобразии все же можно провести аналогию между ними и другими районами. Так, в Центральном Алтае мы можем найти характерные комплексы типов леса третьей климатической фации в нижней части спектра, второй фации — в средней, и, наконец, специфические для Алтая субальпийские лиственничники и кедровники в высокогорьях. В Западном Алтае черневые пихтарники и производные осинники близки к североалтайским и западно-саянским, хотя здесь они встречаются на больших абсолютных высотах [Леса Горного Алтая, 1965; Огуреева, 1980]. В Восточном Прибайкалье имеются темнохвойные массивы, которые по описаниям Л. Н. Тюлиной [1976] могут быть отнесены к влажной климатической фации. Это значит, что здесь можно найти типы леса, сходные с восточно-саянскими и западно-саянскими, например пихтарники баданово-черничный, чернично-зеленомошный, высокотравный, что отмечает и сам автор. Вместе с тем есть и новые элементы типологического комплекса, придающие ему специфические черты.

Высотно-поясные комплексы типов леса (ВПК) являются конкретизацией общепринятых поясных подразделений (подтаежные, горно-таежные и т. д.) в рамках климатических фаций. Каждому из них свойственна своя мера обеспеченности теплом и влагой, которая в основном и обуславливает состав эдификаторов, потенциальную продуктивность, набор доминирующих и детерминантных жизненных форм, структуру сообществ. Все эти признаки определяются на уровне лесных массивов, а не пробных площадей.

Высотно-поясные комплексы типов леса с их спецификой состава лесов и природных режимов характеризуются своеобразием взаимоотношений древесных пород, смен формаций, возрастного и морфологического строения, лесовосстановительных процессов. Они выполняют различную средообразующую роль (водоохранную, почвозащитную, климаторегулирующую). Для них должны рекомендоваться свои комплексы лесохозяйственных мероприятий.

От районирования в перспективе следует переходить к картированию. Карта ВПК среднего масштаба уже на данном этапе изученности может быть наилучшей природной основой для лесорастительного районирования и дифференцированного ведения лесного хозяйства.

## ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТА В ГОРНОМ РЕЛЬЕФЕ

Для характеристики климата исследуемого региона использовались данные 130 метеостанций, причем около 60 приходится на степи и лесостепи, около 20 на светлохвойную подтайгу и 50 на тайгу. Лишь около 30 метеостанций и почти столько же постов ГМС обеспечивают сведения о климате и речном стоке в среднегорных районах Южной Сибири. В высокогорье функционирует всего несколько станций, и это сказывается на точности данных по высокогорному климату.

Как и в других горных районах, в Южной Сибири станции расположены чаще всего в межгорных котловинах, долинах крупных рек и почти не охватывают склоны и высокогорья. В горах Южной Сибири высотный предел метеонаблюдений лежит около 1,5—2 тыс. м. Радиационный режим в горах Южной Сибири, как и в горах вообще, осветить сложно, так как актинометрические станции настолько редки, что по наблюдениям на них зачастую трудно охарактеризовать даже высотно-поясные различия радиационного режима. В горной местности помимо высоты различия радиационного режима определяются такими элементами рельефа, как экспозиция и крутизна склонов и закрытость горизонта. В некоторой степени этот пробел восполняется материалами экспедиционных наблюдений, но и они не могут в полной мере охарактеризовать радиационный режим пересеченной местности. Лишь расчетные методы на базе некоторого минимума экспериментальных материалов способны дать более полную информацию об изменении радиационного режима во времени и пространстве в горном рельефе.

В настоящее время по разработанным в ГГО методикам уже достаточно точно могут быть определены составляющие радиационного баланса наклонных поверхностей. Детально этот вопрос освещен в монографии К. Я. Кондратьева и др. [1978]. В книгах Н. Н. Выгодской [1981] и Е. А. Садовничей [1985] рассмотрены методики расчета приходящей части солнечной радиации в реальной обстановке в горах и оценена ее трансформация рельефом и пологом древостоев различной структуры.

Если в отношении радиационного баланса горных территорий, особенно его коротковолновой части, накоплен определенный экспериментальный материал, разработаны методы расчета его составляющих, то информация о других его составляющих — испарении, турбулентном теплообмене, потоках тепла в почве — незначительна. А. В. Павлов [1975, 1984] обобщил данные литературы и свои многолетние режимные наблюдения за составляющими теплового баланса как равнинных, так и горных территорий. Экспериментальные материалы по расходным составляющим теплового баланса в горах пока недостаточны для широких географических обобщений и использования для решения прикладных задач. Они характеризуют в основном



высотно-поисные различия климата, а экспозиционные, вызванные различиями ориентации и крутизны склона, закрытостью горизонта, более важные в пересеченном рельефе, остаются по-прежнему малоизученными.

Для получения полной характеристики теплового баланса склонов необходимо разрабатывать расчетные методы определения его составляющих с последующей их проверкой в натуре. Существует метод расчета испарения на склонах, разработанный и апробированный Е. Н. Романовой [1977]. Расчет потоков тепла в почве и турбулентного теплообмена на склонах связан со значительными трудностями, к настоящему времени еще не преодоленными.

В нашей работе использованы методики расчета составляющих радиационного и теплового балансов, разработанные в ГГО и апробированные нами для гор Южной Сибири. Расчет основывался на наблюдениях за приходом солнечной радиации в течение летних месяцев за период 1973—1975 гг., проведенных Е. А. Садовничей [1985] на 3 точках высотного профиля, охватывающего основные пояса растительности в Западном Саяне, и наших наблюдениях за радиационным балансом за период 1982—1984 гг. на 2 точках, характеризующих низко- и высокогорные пояса растительности. В расчетах использованы также литературные данные и справочные материалы многолетних наблюдений за солнечной радиацией на актинометрических станциях и основными метеозементами на станциях, расположенных в горах Южной Сибири и прилегающих к ним предгорных районах. Наблюдения и обработка наблюдений производились по стандартным методикам [Руководство..., 1957; Руководство..., 1964].

## 2.1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ И РАДИАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛИМАТА

### 2.1.1. Гидротермические характеристики

Из термических характеристик использовали средние месячные температуры воздуха теплого времени года (май — сентябрь), даты перехода средних месячных температур через предел  $1,5^\circ$  и  $10^\circ$ , продолжительность периода с указанными температурами, годовые амплитуды температуры воздуха, суммы температур выше  $10^\circ$  (суммы активных температур).

Исходным материалом для расчета указанных характеристик послужили справочные материалы [Справочник..., 1967], в которые вошли данные лишь по 1960 г. включительно. Учитывая, что с тех пор накопилась информация почти за 20-летний период, мы сочли необходимым дополнить ряд наблюдений для всех станций, относящихся к району исследований. Для дополнения рядов наблюдений в работе использовали метеорологические ежемесячники за 1961—1979 гг.

Для станций, имеющих периоды наблюдений 25 лет и более, полученные средние незначительно отличаются от средних, приведен-

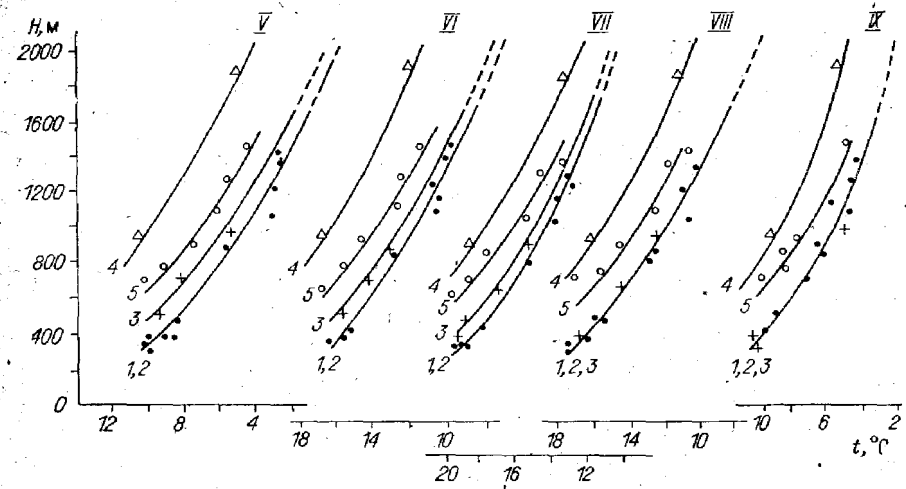


Рис. 10. Зависимость средней месячной температуры воздуха от абсолютной высоты.

Группы районов: 1 — избыточно влажные, 2 — влажные, 3 — умеренно влажные, 4 — недостаточно влажные, 5 — межгорные котловины.

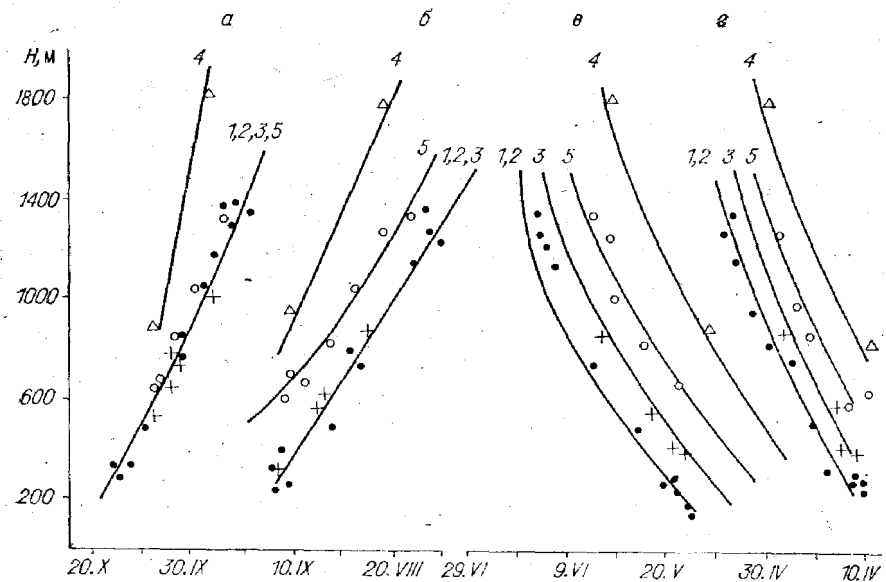


Рис. 11. Зависимость дат перехода средних месячных температур воздуха через предел  $1,5^\circ$  (а, в) и  $10^\circ$  (б, г) от абсолютной высоты. Усл. обозн. см. рис. 10.

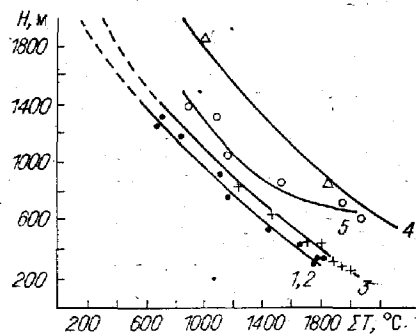


Рис. 12. Зависимость сумм температур выше 10° от абсолютной высоты. Усл. обозн. см. рис. 10.

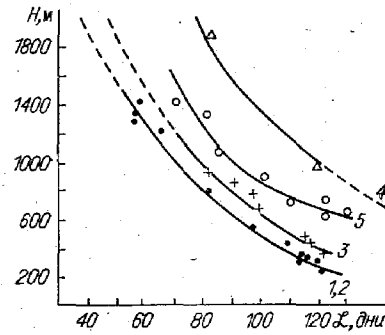


Рис. 13. Зависимость продолжительности периода с температурами выше 10° от абсолютной высоты. Усл. обозн. см. рис. 10.

ных в Справочнике по климату [1967]. Для станций с периодом наблюдений менее 25 лет средние месячные и годовые многолетние температуры воздуха рассчитывались приведением их к данным длинорядных станций методом разностей. На основе вновь полученных средних строились гистограммы температуры воздуха, с которых снимались производные термические характеристики.

С целью выявления вертикальных закономерностей распределения  $t$  использовали графики зависимости каждой термической характеристики от абсолютной высоты (рис. 10—14). На высоты, не охваченные непосредственными наблюдениями, средние месячные температуры воздуха за теплое время года экстраполировались. За теплый период средний высотный градиент  $\Delta t$  стабилен и подчиняется известной закономерности — равен 0,65° на 100 м подъема [Алисов и др., 1952; Сапожникова, 1965; Станюкович, 1979]. На основе экстраполированных месячных значений температуры воздуха для высот 1500, 1750 и 2000 м строили гистограммы, с которых снимали значения производных термических характеристик.

В качестве показателя абсолютного увлажнения использовали годовое количество осадков, относительного увлажнения — радиационный индекс сухости и относительное испарение.

Средние многолетние суммы осадков по 1964 г. включительно были взяты из Справочника по климату [1969]. Как и в случае с термическими характеристиками, многолетний ряд по осадкам был продолжен по 1979 г. по данным Метеорологических ежемесячников (1965—1979 гг.). Затем была найдена средняя многолетняя величина  $r$ , к которой были введены поправки на ветровой недоучет осадков и смачивание [Справочник..., 1969]. Данные по осадкам вновь открытых станций были приведены к многолетнему ряду по данным ближайших к ним станций методом отношений.

Годовое количество осадков  $r$  любого высотного уровня находили по графикам зависимости  $r$  от высоты (рис. 15). Известно, что  $r$  характеризуется большой пространственной неоднородностью рас-

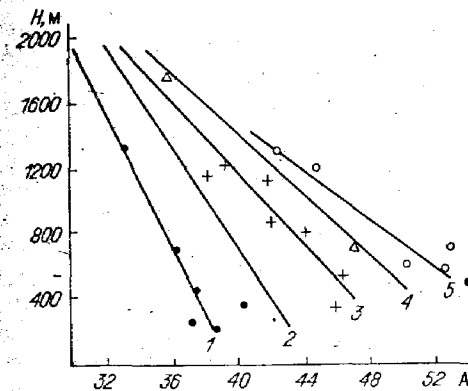


Рис. 14. Зависимость годовой амплитуды температуры воздуха от абсолютной высоты. Усл. обозн. см. рис. 10.

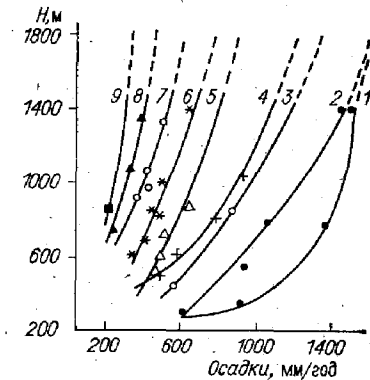


Рис. 15. Зависимости годового количества осадков от абсолютной высоты в различных лесорастительных районах.

Районы: 1, 2 — Амыльский, 3 — Араданский, 4 — Нижнеонинский, 5 — Усинский, 6 — Сейбинский, 7 — Куртушибинский, 8 — межгорные котловины, 9 — Алашский.

пределения, особенно в горных районах [Архангельский, 1960; Григорьев, 1973; Губский, Константинов, 1974; и др.].

Специальные исследования, посвященные изучению осадков в горах Южной Сибири, в литературе практически отсутствуют. Имеются лишь общие высотно-поясные характеристики увлажнения по Западному Саяну, увязанные с вертикальными поясами растительности [Поликарпов, Назимова, 1963; Протопопов, 1965; Лебедев, 1974; и др.]. Некоторые сведения о вертикальном и пространственном распределении осадков приводятся по Алтаю [Мамонтов, 1964] и хребтам Тувинской котловины [Мальцев, 1972].

Из-за отсутствия регулярной метеосети в высокогорных районах ( $H$  более 1,5 км) для наиболее увлажненных районов, относящихся к северному наветренному макросклону и осевой части, значения  $r$  были проконтролированы значениями суммарного увлажнения ( $KX$ ), полученного решением уравнения водно-теплового баланса по методу В. С. Мезенцева [Мезенцев, Карнацевич, 1969]:

$$KX = E_0 [1 - (E_0/KX)^2]^{-1/2} + f, \quad (1)$$

где  $f$  определялся из данных, приведенных в справочнике «Ресурсы поверхностных вод СССР» [1973]. Ошибка определения  $KX$  указанным методом не превышает 7—10%. Величины  $KX$  по северному макросклону Западного Саяна ранее были получены А. В. Лебедевым [1974] на основе расчета радиационного баланса по эмпирической формуле Братченко.

Следует отметить, что комплексный метод определения  $KX$  может быть применен лишь в зонах достаточного увлажнения и высоко-го стока. Для подветренных макросклонов, характеризующихся переменным увлажнением, величины  $KX$ , рассчитанные по методу

В. С. Мезенцева, получились явно заниженными, что говорит о невозможности использования комплексного метода в данных условиях. В силу этих причин для высокогорий умеренно влажных районов расчет  $r$  проводили путем экстраполяции по градиентам, полученным для предыдущего высотного пояса.

Характеристика относительного увлажнения  $I_B$  представляет собой отношение годового радиационного баланса ( $\Sigma B$  год) к количеству тепла ( $Lr$ ), необходимому для испарения годовой суммы осадков  $r$ .  $I_B$  является физически обоснованным показателем относительного увлажнения. Обычно климатические индексы увлажнения, представляющие собой функции различных метеорологических показателей (средней годовой температуры воздуха, суммы температур выше какого-либо предела, количества осадков за год или за вегетационный период, испарения или испаряемости и др.), не раскрывают сути связи параметров, входящих в них. Радиационный индекс сухости  $I_B$  был выведен М. И. Будыко [1948] в качестве параметра, определяющего все относительные значения членов теплового баланса. В силу этих причин мы предпочли радиационный индекс сухости всем существующим показателям увлажнения. Значения радиационного баланса, необходимые для расчета  $I_B$ , определяли по схеме, описанной в разд. 2.1.2.

Относительное испарение, представляющее собой отношение испарения ( $E$ ) к испаряемости ( $E_0$ ), как будет показано в разд. 2.1.3, интересно тем, что является не только показателем общего увлажнения, но и непосредственной характеристикой влажности почвы.

### 2.1.2. Составляющие радиационного баланса

Составляющие радиационного баланса рассчитывали по методикам, разработанным в Главной геофизической обсерватории. Радиационный баланс подстилающей поверхности, являющийся наиболее важной энергетической характеристикой климата, представляет собой разность между приходящими и уходящими потоками короткой и длинноволновой лучистой энергии и записывается обычно в виде уравнения:

$$B = Q(1 - A) - \mathcal{E}. \quad (2)$$

В силу явного недостатка наблюдений за радиационным балансом последний рассчитывали методом суммирования его составляющих.

**Суммарная радиация.** Возможные суммы прямой и суммарной радиации для горизонтальной и произвольно наклонных поверхностей были рассчитаны Е. А. Садовничей на основе трехлетних наблюдений за приходом солнечной радиации по высотному профилю в Западном Саяне [Садовничая, 1978, 1985].

Действительные суммы суммарной радиации ( $\Sigma Q$ ) обычно представляют в виде

$$\Sigma Q = \Sigma Q_0 \cdot f(n), \quad (3)$$

где  $f(n)$  — функция облачности, которая может быть отражена через

визуальные оценки облачности и инструментальные, получаемые путем регистрации часов солнечного сияния гелиографами.

Методы расчета  $\Sigma Q$  через визуальные оценки облачности были подробно проанализированы Е. А. Садовничей [1985]. Ею получены эмпирические формулы расчета  $\Sigma Q$  для данного региона. Однако именно через продолжительность солнечного сияния учитывается не только количество облачности, но и закрытость горизонта, которая в условиях пересеченной местности является очень важным фактором в определении  $\Sigma Q$ . Широко известен учет влияния облачности на  $\Sigma Q$  через продолжительность солнечного сияния в виде

$$\Sigma Q / \Sigma Q_0 = a + b \cdot l/l_0, \quad (4)$$

где  $a$  и  $b$  — региональные коэффициенты [Сивков, 1968; Теплового баланс..., 1978; El-Sablan, 1976; Abd El-Salam, 1979; Chavez, 1979; Flocas, 1980; и др.]. Для расчета  $\Sigma Q$  в Западном Саяне использовали известную формулу Онгстрема [Тепловой баланс..., 1978], выведенную им для умеренных широт:

$$\Sigma Q / \Sigma Q_0 = 0,25 + 0,75 l/l_0. \quad (5)$$

Проверка этой формулы для станций Красноярского края и Иркутской области показала, что ошибка определения  $\Sigma Q$  по продолжительности солнечного сияния в теплые месяцы (за период устойчивости альbedo) в 90% случаев не превышает 10% (табл. 5).  $\Sigma Q$  на любом высотном уровне определяли по формуле (5) с учетом высотных градиентов  $\Delta \Sigma Q_0$  [Садовничая, 1985] и градиентов отношения  $l/l_0$  (рис. 16).

Возможные суммы суммарной радиации ( $\Sigma Q_0^*$ ), поступающей на склоны, рассчитаны Е. А. Садовничей (1978) по формуле

$$\Sigma Q_0^* = \Sigma S_0^* + \Sigma D_0^* \quad (6)$$

в предположении изотропности потока  $D_0^*$ , где  $\Sigma S_0^*$  и  $\Sigma D_0^*$  — возможные суммы прямой и рассеянной радиации соответственно.

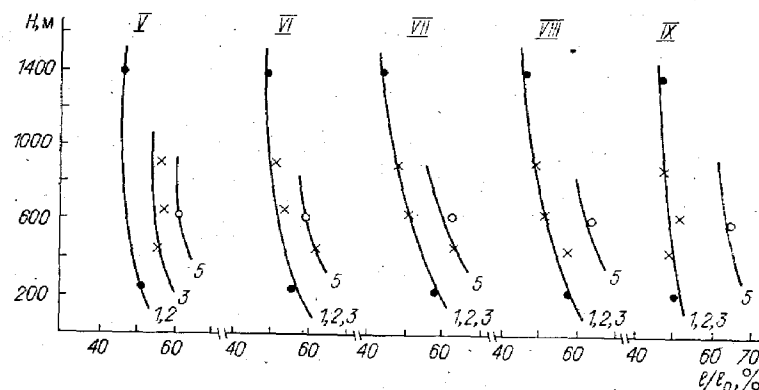


Рис. 16. Зависимость отношения  $l/l_0$  от абсолютной высоты. Усл. обозн. см. рис. 10.

Таблица 5

Действительные суммы суммарной радиации и ошибки их определения по продолжительности солнечного сияния

Станция	Характеристики радиации	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Тура	1	12,0	12,5	12,6	8,0	4,6
	2	14,0	14,0	13,5	9,6	5,5
	3	14,3	10,7	6,7	16,7	16,4
Туруханск	1	12,4	12,8	13,5	8,7	4,2
	2	14,5	14,1	14,7	9,7	4,4
	3	16,6	9,2	8,2	10,3	4,5
Солянка	1	12,6	15,1	14,9	11,3	7,2
	2	13,6	16,1	15,7	12,0	7,5
	3	7,4	6,2	5,1	5,8	4,0
Енисейск	1	11,8	13,7	13,6	9,7	5,7
	2	12,7	14,5	14,6	10,6	6,1
	3	7,1	5,5	6,2	8,5	7,0
Ванавара	1	11,7	14,3	13,7	10,1	5,7
	2	12,3	14,7	14,4	11,0	6,4
	3	4,9	2,7	4,9	8,2	10,9
Кызыл	1	15,2	15,2	15,3	13,2	10,0
	2	15,8	16,1	16,3	13,9	10,3
	3	3,8	5,6	6,1	5,0	3,0
Хакасская	1	13,1	14,4	14,5	12,3	8,0
	2	14,6	15,4	15,7	12,9	8,4
	3	10,3	6,5	7,7	5,4	5,0
Оленья Речка	1	—	14,3	13,7	11,7	—
	2*	—	14,6	15,1	12,4	—
	3	—	2,0	11,9	5,6	—
Ербогачен	1	11,4	13,5	13,5	9,4	4,9
	2	12,0	14,0	14,1	9,6	5,8
	3	5,0	3,6	4,2	2,1	15,4
Киревск	1	11,5	13,3	13,4	9,6	5,7
	2	12,1	14,0	14,5	10,2	6,8
	3	5,0	5,0	6,2	5,9	16,2
Тулуз	1	13,4	13,7	13,7	11,3	8,0
	2	14,0	14,7	14,7	11,0	8,0
	3	4,4	7,2	7,2	-2,7	0,0
Хомутово	1	14,0	14,3	13,6	11,4	8,4
	2	14,4	15,0	14,4	11,6	9,0
	3	2,8	4,7	5,6	1,7	6,7
Ильчир	1	14,7	14,5	13,0	12,0	9,1
	2	16,4	14,3	14,1	12,2	10,1
	3	10,4	-1,4	6,2	1,6	9,9

Примечание. 1 — рассчитанная суммарная радиация, ккал/см<sup>2</sup>; 2 — наблюдаемая суммарная радиация, ккал/см<sup>2</sup>; 3 — ошибка расчета, %. Звездочкой отмечены данные по Е. А. Садовничей [1985].

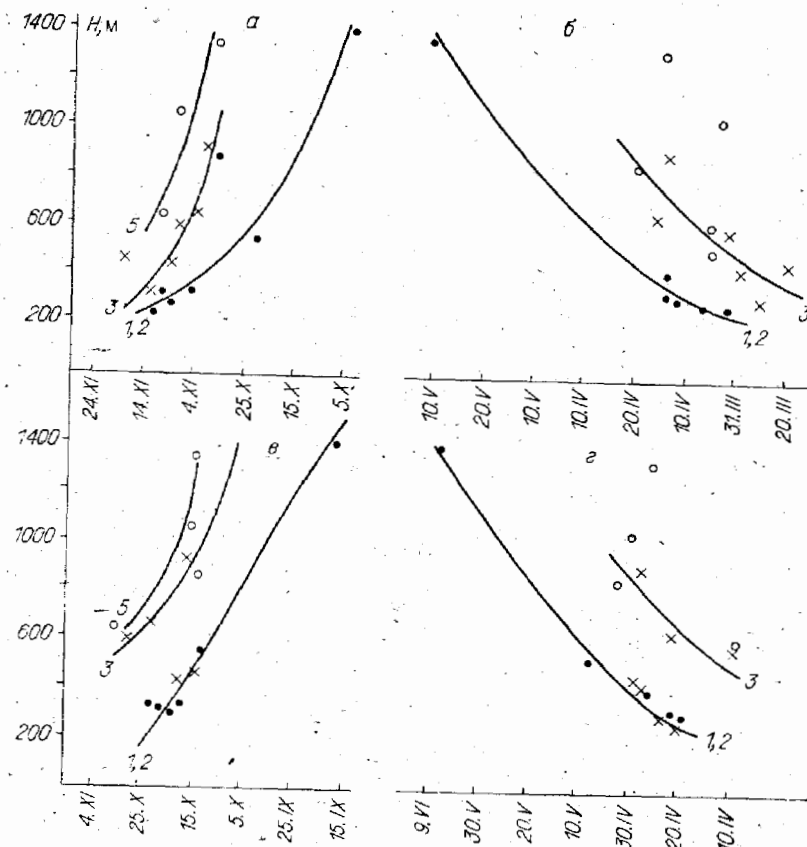


Рис. 17. Зависимость дат появления (а) и схода (б) снежного покрова, образования (в) и разрушения (г) устойчивого снежного покрова от абсолютной высоты. Усл. обозн. см. рис. 10.

Действительные суммы суммарной радиации на склоны находили по формуле (5) с учетом формулы (6).

Альbedo растительного покрова определяли по литературным данным [Радиационный..., 1961; Мухенберг, 1963; Будыко, 1971; Павлов, 1975; и др.]. За основу расчета альbedo естественных поверхностей суши была взята таблица, приведенная в работе М. И. Будыко [1971], составленная на большом статистическом материале из наземных и самолетных наблюдений.

Альbedo (А) хвойного леса за теплый период было дифференцировано в зависимости от породного состава древостоев и доли участия каждой породы в составе. А пихтового леса принимали равным 0,11 [Григорьев, 1980], кедрового — 0,12, соснового — 0,13 и лиственничного — 0,14 [Радиационный режим..., 1961].

Для оценки А в целом для пояса учитывали средние соотношения лесной, луговой и степной растительности, представляющей

Таблица 6

Альbedo растительных поясов на различных высотных уровнях

Н, м	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
<i>Избыточно влажные и влажные районы</i>					
500	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12
1000	0,32	0,11	0,11	0,11	0,13
1500	0,45	0,18	0,12	0,12	0,21
1800	0,45	0,26	0,13	0,13	0,27
<i>Умеренно влажные районы</i>					
500	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15
1000	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14
1500	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
1800	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12

данный пояс. Весной и осенью, в месяцы со снежным покровом,  $A$  рассчитывали с учетом дат появления и схода снежного покрова и образования и разрушения устойчивого снежного покрова (рис. 17). В результате была составлена таблица значений  $A$  за период со средней суточной температурой воздуха выше  $1,5^\circ$ , необходимых для расчета годовых сумм радиационного баланса (табл. 6).

**Эффективное излучение.** Значение эффективного излучения зависит от температуры и влажности воздуха, температуры подстилающей поверхности, облачности, вертикальных градиентов температуры и влажности в атмосфере [Берлянд М. Е., Берлянд Т. Г., 1952; Кондратьев, 1956; Ефимова, 1977; и др.].

В общем виде формулу эффективного излучения можно представить как

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0(1 - cn) + \Delta\mathcal{E}, \quad (7)$$

где  $(1 - cn)$  — член, учитывающий влияние облачности;  $\Delta\mathcal{E} = 4\delta\sigma T^3(T_\omega - T)$  — поправка к эффективному излучению за счет разности температур воздуха и подстилающей поверхности.

В климатических расчетах эффективного излучения при ясном небе широко используются эмпирические формулы Онгстрема [по Будыко, 1971], М. Е. Берлянда [Берлянд М. Е., Берлянд Т. Г., 1952] и Н. А. Ефимовой [1977].

Для проверки указанных формул по двум станциям, ведущим наблюдения за радиационным балансом в Западном Саяне, Хакасская и Кызыл, за период 1973—1975 гг. в теплый период (с мая по сентябрь) в сроки при безоблачном небе были выбраны значения  $\mathcal{E}_0$ ,  $t$ ,  $e$ . Для всех выбранных случаев подсчитывали величину  $\mathcal{E}_0/\delta\sigma T^4$ , которая является функцией  $e$ . Вследствие крайне большого разброса значений  $\mathcal{E}_0/\delta\sigma T^4$  в зависимости от  $e$ , в диапазоне определенных значений  $e$  (2—4, 4—6, ..., 14—16) величину  $\mathcal{E}_0/\delta\sigma T^4$  усредняли и наносили на график. Полученная кривая хорошо аппроксими-

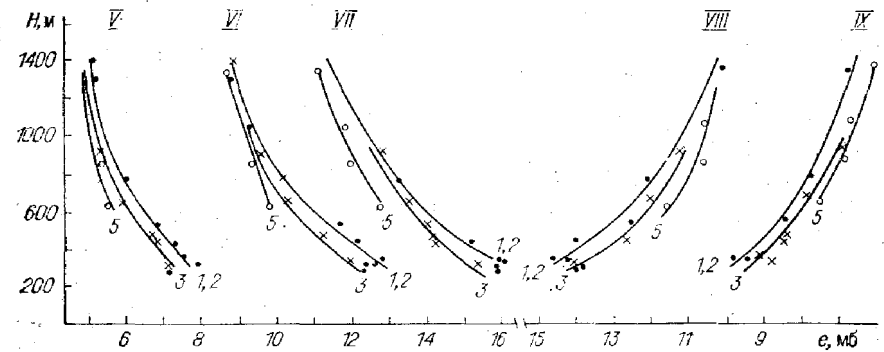


Рис. 18. Зависимость влажности воздуха (а) от абсолютной высоты. Усл. обозн. см. рис. 10.

руется формулами Онгстрема (ошибка 3,5—9,5%) и Берлянда (ошибка 4,3—14,3%). Возрастание ошибок расчета  $\mathcal{E}_0$  по формуле Н. А. Ефимовой связано с тем, что в ней учитываются низкие значения  $e$ , соответствующие зимним условиям, а в наших расчетах использовались данные только теплого периода, характеризуемого достаточно высокими значениями  $e$ .

На основе проведенного сравнения точности оценок  $\mathcal{E}_0$  в дальнейших расчетах использовали формулу Онгстрема

$$\mathcal{E}_0 = \delta\sigma T^4(0,180 + 0,250 \cdot 10^{-0,0945e}), \quad (8)$$

где  $e$  вводится в миллибарах.

Эффективное излучение при действительных условиях облачности определяли по формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0(1 - cn^t), \quad (9)$$

где  $c$  — эмпирический коэффициент, учитывающий среднюю повторяемость облаков различных ярусов на определенной широте, показатель степени  $t$  меняется от 1 до 2.

Теоретический расчет средних широтных значений  $c$  выполнили М. Е. Берлянд и Т. Г. Берлянд [1952]. На основе расчетов указанных авторов нами принято значение  $c$ , равное 0,73 для средней широты Западного Саяна, с учетом того, что широтная протяженность его невелика —  $53,5$ — $51,7^\circ$ , и в ее пределах изменений  $c$  не прослеживается.

Форма зависимости  $\mathcal{E}$  от облачности может быть либо линейной [Ефимова, 1977], либо квадратичной [Берлянд М. Е., Берлянд Т. Г., 1952]. Она меняется в различных климатических районах и зависит от времени года. Чтобы определить, какова форма зависимости  $\mathcal{E}$  от облачности в Западном Саяне, по опорным станциям Хакасская и Кызыл были рассчитаны три вида зависимости при  $t = 1,0, 1,5$  и  $2,0$  (табл. 7). При расчете  $t$  необходимо знать поправку  $\Delta\mathcal{E} = 4\delta\sigma T^3(T_\omega - T)$ . Для приближенной оценки  $t$  за темпера-

Таблица 7

Ошибки расчета месячных значений эффективного излучения при различном учете облачности ( $\delta$ , %)

Станция	Месяц	$\mathcal{E}$ наобл. ккал/ /(см <sup>2</sup> ·мес)	$\mathcal{E}$ расч при $\tau = 1,0$ , ккал/ /(см <sup>2</sup> ·мес)	$\delta$ , %	$\mathcal{E}$ расч при $\tau = 1,5$ , ккал/ /(см <sup>2</sup> ·мес)	$\delta$ , %	$\mathcal{E}$ расч при $\tau = 2,0$ , ккал/ /(см <sup>2</sup> ·мес)	$\delta$ , %
Хакас- ская	Май	4,4	3,8	13,6	4,3	2,3	4,6	-4,5
	Июнь	4,6	4,1	10,9	4,5	2,2	4,9	-6,5
	Июль	4,6	4,3	-6,5	4,7	-2,2	4,9	-6,5
	Август	4,1	3,8	7,3	4,2	-2,4	4,5	-9,8
	Сентябрь	3,1	2,9	-6,4	3,3	-6,5	3,7	-19,4
Бызыл	Средняя ошиб- ка	—	—	8,9	—	-1,3	—	-9,3
	Май	4,0	4,0	0,0	4,5	-12,5	4,9	-22,5
	Июнь	4,0	3,5	12,5	4,0	0,0	4,3	-7,5
	Июль	4,0	3,7	7,5	4,2	-5,0	4,5	-12,5
	Август	3,9	3,3	15,4	3,8	2,6	4,2	-7,7
Сентябрь	3,8	3,0	21,1	3,5	7,9	3,9	-2,6	
	Средняя ошиб- ка	—	—	11,3	—	-1,4	—	-10,5

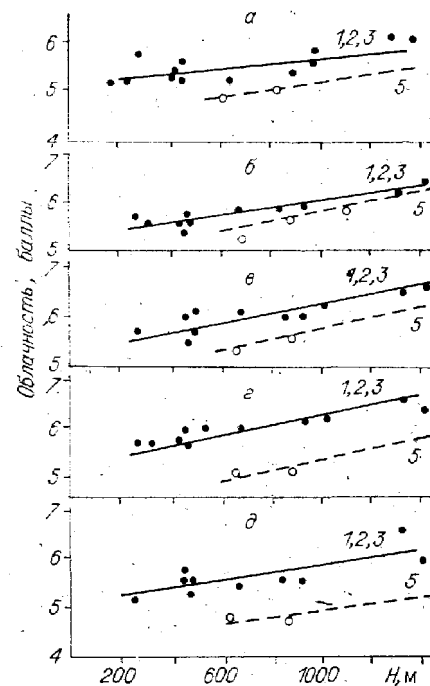
туру подстилающей поверхности была принята температура поверхности почвы. Из табл. 7 видно, что наименьшую ошибку расчета эффективного излучения получаем при  $\tau = 1,5$ . Более точно поправка к эффективному излучению  $\Delta \mathcal{E}$  находится из уравнения теплового баланса с привлечением уравнения Магнуса. Потоки тепла в почву в уравнении оценивали по годовой амплитуде температуры воздуха [Будыко, 1971].  $\Sigma \mathcal{E}$  на любом высотном уровне находили по формуле (7) с учетом изменений  $t$ ,  $e$ ,  $n$  с высотой (рис. 10, 18, 19). Ошибка расчетов месячных значений  $\Sigma \mathcal{E}$  не превышает 15% (табл. 8). Учитывая, что летом различие  $\Sigma \mathcal{E}$  над лесом и травяной растительностью (метеоплощадкой) составляет около 10% (Hager, 1975; Ефимова, 1977; Григорьев, 1980), т. е. находится в пределах точности расчетов, мы сочли возможным для климатологических расчетов принять полученные для метеоплощадки  $\Sigma \mathcal{E}$  равными  $\Sigma \mathcal{E}$  над лесом.

Эффективное излучение для склонов (при  $\beta \leq 30^\circ$ ), какими и является большая часть склонов в горах, занятых растительностью, определяли по формуле [Кондратьев и др., 1978]

$$\Sigma \mathcal{E}^* = \Sigma \mathcal{E} \cdot \cos \beta. \quad (10)$$

Особенно надежные результаты дает расчет по формуле (10) при условиях сплошной облачности, когда эффективное излучение более изотропно, чем при безоблачном небе.

Рис. 19. Зависимость облачности от абсолютной высоты за май (а), июнь (б), июль (в), август (г), сентябрь (д). Усл. обозн: см. рис. 10.



Месячные значения радиационного баланса горизонтальной поверхности определяли на основе формул (2), (5) и (7).

Ошибка расчета  $B$  не превышает 15% (табл. 9).

Очевидно, что годовой радиационный баланс, в который входят отрицательные месячные значения холодного периода, будет равен радиационному балансу за некоторый теплый период. На наличие такого периода указывал М. И. Будыко [1971], показав, что  $\Sigma B_{\text{год}}$  и  $\Sigma B$  вегетационного периода для районов европейской территории СССР равны. Анализ данных по радиационному балансу всех станций, ведущих актинометрические наблюдения в Красноярском крае и Иркутской области, показал, что период, за который радиационный баланс равен годовому, с ошибкой не более 9% определяется датами перехода средних суточных температур воздуха через  $1,5^\circ$  (табл. 10).

Сравнение рассчитанного для леса и наблюденного на метеоплощадке радиационного баланса за теплый период показало, что баланс леса на 18% больше, чем таковой на метеоплощадке, и это хорошо согласуется с литературными данными [Ефимова, 1977; Григорьев, 1980]. Разность баланса леса  $B_{\text{л}}$  и травяной растительности  $B_{\text{т}}$  летом обусловлена в основном различиями альбедо этих видов поверхности. Ю. Л. Раунер [1972] для средней полосы европейской территории СССР дает больший процент различий радиационного баланса леса и луга, что, по мнению Н. А. Ефимовой [1977], вызвано более высокими показателями испарения леса в условиях лесостепи. Большие затраты тепла на испарение приводят к снижению температуры излучающей поверхности, уменьшая эффективное излучение и соответственно увеличивая радиационный баланс.

Очевидно, по этой же причине величины  $B_{\text{л}}/B_{\text{т}}$  для засушливых условий Центральной Якутии, которые приводит А. В. Павлов [1984], также превышают на 15–20% наши расчетные данные.

Радиационный баланс склонов определяли по формуле (2) с заменой горизонтальных потоков радиации на одноименные, поступающие на склоны. Альbedo склона принимали равным альbedo горизонтальной поверхности.

Таблица 8

Ошибки расчета месячных значений эффективного излучения  $\mathcal{E}$  (δ, %)

Станция, Н, м	Месяц	$\mathcal{E}$ набл. ккал/см <sup>2</sup>	$\mathcal{E}$ расч. ккал/см <sup>2</sup>	δ, %
Хакасская, 252	Май	4,4	4,3	2,3
	Июнь	4,6	4,5	2,2
	Июль	4,6	4,7	-2,2
	Август	4,1	4,2	-2,4
	Сентябрь	3,1	3,3	-6,5
Стационар,* 370	Май	4,0	3,8	5,0
	Июнь	3,4	3,7	-8,8
	Июль	3,5	3,6	-2,9
	Август	3,3	3,5	-6,1
	Сентябрь	2,9	3,3	-13,8
Оленья Речка,* 1404	Июнь	3,5	3,7	-5,7
	Июль	4,0	3,5	12,5
	Август	3,8	3,3	13,1
Кызыл, 626	Май	4,0	4,5	-12,5
	Июнь	4,0	4,0	0,0
	Июль*	4,0	4,2	-5,0
	Август	3,9	3,8	2,6
	Сентябрь	3,8	3,5	7,9
Ильчир, 2083	Май	4,1	4,5	-9,8
	Июнь	3,8	4,0	-5,3
	Июль	3,7	3,6	2,7
	Август	3,8	3,6	5,3
	Сентябрь	3,8	3,5	7,9

\* По наблюдениям 1982—1984 гг.

На основе рассчитанных  $\Sigma B_{\text{год}}$  и  $\Sigma t$  построены графики связи между этими показателями для различных высотных поясов (рис. 20). Очевидна нелинейность связи между  $\Sigma B_{\text{год}}$  и  $\Sigma t$ . Она обус-

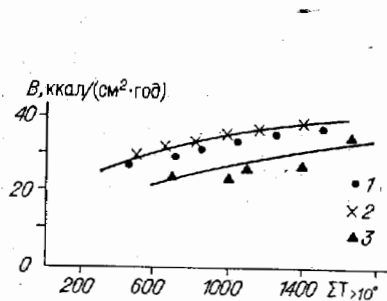


Рис. 20. Связь между годовыми значениями радиационного баланса и суммами температур выше 10°.

1 — избыточно влажные и влажные районы, 2 — умеренно влажные районы гор, 3 — равнинные районы.

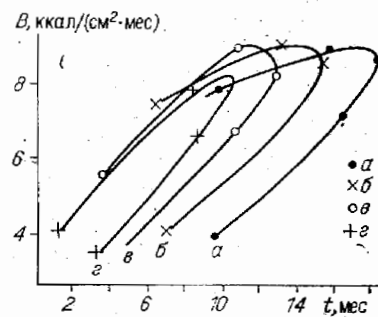


Рис. 21. Связь между месячными значениями радиационного баланса и температуры воздуха (избыточно влажные районы гор). Пояса: а — подтаежно-лесостепной, б — черновой, в — горно-таежный, г — субальпийский, д — горно-таежный, е — горно-таежный.

Таблица 9

Ошибки расчета месячных значений радиационного баланса (δ, %)

Станция, Н, м	Месяц	$B_{\text{набл.}}$ ккал/см <sup>2</sup>	$B_{\text{расч.}}$ ккал/см <sup>2</sup>	δ, %
Хакасская, 252	Май	8,0	8,6	-7,5
	Июнь	8,5	9,7	-14,1
	Июль	8,6	9,8	-14,0
	Август	6,6	7,4	-12,1
	Сентябрь	3,9	3,7	5,1
Стационар,* 370	Май	8,5	7,8	8,2
	Июнь	9,6	9,1	5,2
	Июль	9,0	8,3	7,8
	Август	7,4	7,0	5,4
	Сентябрь	4,7	4,0	14,9
Оленья Речка,* 1404	Июнь	8,5	7,9	7,1
	Июль	8,2	8,0	2,4
	Август	6,8	6,7	1,5
Кызыл, 626	Май	8,6	8,7	-1,2
	Июнь	9,0	9,7	-7,8
	Июль	9,2	9,6	-4,3
	Август	7,5	7,8	-4,0
	Сентябрь	4,5	4,6	-2,2
Ильчир, 2083	Май	7,2	7,7	-7,0
	Июнь	7,5	8,0	-6,7
	Июль	7,6	7,6	0,0
	Август	6,2	6,0	3,2
	Сентябрь	3,6	4,1	-13,9

\* По наблюдениям 1982—1984 гг.

Таблица 10

Ошибки определения годового радиационного баланса ( $\Sigma B_{\text{год}}$ ) по периоду с температурами выше 1,5° (δ, %)

Станция	$B_{\text{набл.}}$ ккал/ (см <sup>2</sup> ·год)	$B_{\text{расч}}$ за период с $t > 1,5^\circ$ , ккал/ (см <sup>2</sup> ·пер.)	Ошибка, δ, %
Красноярский край			
Тура	27,9	27,8	3,6
Солянка	36,2	36,7	-1,4
Туруханск	24,6	24,6	0,0
Енисейск	31,5	32,3	-2,5
Хакасская	43,2	40,0	7,4
Кызыл	49,3	43,4	12,0
Оленья Речка	23,9	23,2	3,0
Иркутская обл.			
Киренск	31,4	30,6	2,5
Тулуно	34,5	34,6	-0,3
Хомутово	42,1	39,4	6,4
Ильчир	31,7	27,3	13,9
Ербогачен	26,0	27,2	-4,6

ловлена, как показал С. А. Шишкин [1979], нелинейностью и гистерезисом зависимости  $t$  и  $\Sigma B$  за месяц. Изменение температуры воздуха в весенне-летний период происходит по выпуклой кривой, а в летне-осенний — по вогнутой кривой. Важным следствием нелинейности этой связи является нелинейность связи их интегральных величин, поэтому мы остановимся на графическом выражении этой зависимости (рис. 24). Найденная зависимость позволяет сделать пересчет радиационного баланса по имеющимся данным о температуре воздуха, что весьма важно для территорий, не охваченных актинометрическими наблюдениями в пределах гор Южной Сибири.

### 2.1.3. Составляющие теплового баланса

Уравнение теплового баланса есть частное выражение одного из основных законов физики — закона сохранения энергии:

$$B = LE + P + F. \quad (11)$$

В годовом выводе в климатологических расчетах принимается  $F = 0$ , и тогда формула (11) записывается как

$$P = B - LE, \quad (12)$$

т. е.  $P$  определяется как остаточный член уравнения теплового баланса.

Затраты тепла на испарение  $LE$  есть произведение скрытой теплоты парообразования ( $L$ ) на испарение ( $E$ ). Величина  $E$ , в свою очередь, определяется по комплексному методу М. И. Будыко, основанному на совместном решении уравнений теплового и водного балансов и экспериментально установленной зависимости скорости испарения от влажности почвы [Будыко, Зубенко, 1961; Будыко, 1971; Зубенко, 1976; Тепловой баланс..., 1978]. Физическая схема метода основана на следующих соображениях: испарение  $[E]$  равно испаряемости ( $E_0$ ) при влажности верхнего слоя почвы выше некоторого критического значения

$$E = E_0 \text{ при } W \geq W_0 \quad (13)$$

и пропорционально ей

$$E = E_0 \frac{W}{W_0} \text{ при } W < W_0. \quad (14)$$

Испаряемость определяется по Будыко [1971] как

$$E_0 = \rho D(q_s - q). \quad (15)$$

Для расчета  $q_s$  необходимо знать температуру испаряющей поверхности  $t_0$ , которую находят из уравнения теплового баланса [Будыко, 1971].

Критическую влажность почвы  $W_0$  определила Л. И. Зубенко [1976] в результате обработки данных по водному балансу почв.

Величина  $W_0$  меняется от фазы развития растений и от климатических условий.  $W_0$  в годовом ходе имеет минимум летом, макси-

Таблица 11

Средние месячные значения критических продуктивных влагозапасов метрового слоя почвы  $W_0$ (см) [Зубенко, 1976]

Тип растительности	При $t < 10^\circ$ весной	В 1-м месяце с $t > 10^\circ$	Во 2-м месяце с $t \geq 10^\circ$	В последние месяцы с $t \geq 10^\circ$	В 1-м месяце с $t < 3^\circ$ осенью	В последние месяцы с $t < 3^\circ$
	Тундры, хвойные, смешанные и лиственные леса	20	47	15	15	17
Лесостепь, степь, полупустыни внетропических широт	17	17	12	10	12	17

Примечание. Подсчет месячных значений продуктивных влагозапасов для станций юга Красноярского края [Агроклиматические ресурсы..., 1974], ведущих наблюдения за влагозапасами в почве, показал, что по полученным значениям критических влагозапасов лесостепные станции (Ермаковское, Каратуз и др.) лучше отнести к лесному, а не к степному типу растительности. Тогда ошибка расчетов испарения уменьшается на 10–20%.

мум — весной и осенью. В результате расчетов Л. И. Зубенко была получена годовая динамика значений  $W_0$  для различных географических зон. В табл. 11 приведены значения  $W_0$  для некоторых зон растительности, характерных для исследуемого региона.

По значениям  $W_0$ , приведенным в табл. 11, были определены значения  $W$  для станций юга Красноярского края, ведущих наблюдения за влажностью почвы. Ошибки расчета даны в табл. 12. Анализ данных этой таблицы показал, что ошибка в основном не превышает 15%, хотя в отдельных случаях может достигать значительных величин — 50%. Этот факт объясняется большой пространственной изменчивостью влажности почвы из-за различия агроэкологических свойств почвогрунтов, а также форм мезорельефа. Особенно велика ошибка расчета для степных станций Хакасская и Таштып. Очевидно, в степи участки для полей выбираются в определенных формах рельефа, где происходит задержание влаги, т. е. в условиях, в целом не характерных для данной природной зоны. Между тем Л. И. Зубенко получила значения  $W_0$  в результате большого пространственного усреднения для определенного типа растительности.

Таблица 12

Ошибка расчетов запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы по данным станций юга Красноярского края ( $\delta$ , %)

Станция	Весной		$\delta$ , %	Осенью		$\delta$ , %
	набл.	расчет		набл.	расчет	
Каратуз	13,5	13,0	-4,4	11,0	11,4	3,6
Таштып	22,0	11,0	-50,0	15,4	10,8	-30,0
Ермаковское	15,6	13,7	-8,8	12,4	11,5	-7,3
Бей	12,8	12,0	-6,2	—	—	—
Хакасская	9,6	6,6	-31,2	7,3	6,1	-16,4
Миусинск	6,9	7,0	1,4	14,2	6,0	-57,7



Таблица 13

Ошибки расчета испарения, произведенного комплексным методом ( $\delta$ , %)

Станция	Средняя высота водосбора*, м	Сток*, мм/год	Осадки, мм/год	Испарение, рассчитанное по уравнению водного баланса, мм	Испарение, рассчитанное комплексным методом, мм	$\delta$ , %
Григорьевка	742	765	1300	535	550	2,8
Оленья Речка	1580	1055	1515	460	430	6,5

\* По А. В. Лебедеву [1982].

Влажность  $W$  в метровом слое почвы определялась путем совместного решения уравнений водного баланса и скорости испарения с верхнего слоя почвы [Будыко, 1971; Зубенок, 1976]. Авторами предложены две схемы расчета  $W$ : 1) при известных значениях годового стока  $f$ , 2) для тех районов, где сток не может быть определен надежно. Для второго случая на основании общих физических соображений ими получены формулы расчета суммарного стока для условий различного увлажнения.

Средние месячные значения испарения ( $E$ ) подсчитывали по формулам (13) и (14) подстановкой средних значений влажности почвы ( $W$ ). Критерием правильности расчетов годовых значений  $E$  является выполнение уравнения водного баланса.

В табл. 13 приведены оценки годовых значений испарения, полученные обоими методами. Согласно принятой схеме расчета испарение определяется испаряемостью  $E_0$  и влажностью почвы  $W/W_0$ . На основе параметров, входящих в схему, Л. И. Зубенок [1976] показала, что для определенных климатических условий испарение с различных видов растительного покрова мало меняется в зависимости от  $W/W_0$ , а определяется испаряемостью. Мы оценили разницу испарения леса и луга, обусловленную большей испаряемостью над лесом (табл. 14). Она имеет наибольшие значения весной и осенью, наименьшие — летом. В среднем за год испарение леса на 12—15% выше, чем травяной растительности.

Проблема преобладания испарения древесной растительности

Таблица 14

Различия испарения леса и безлесных участков в различных поясах растительности, %

Пояс (станция, Н, м)	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Год
Черновой (Верхний Кулужбар, 340)	5,9	1,1	2,2	4,2	14,3	7,1
Горно-таежный (Кулу-мыс, 755)	11,4	6,5	6,7	10,3	18,4	14,8
Субальпийский (Оленья Речка, 1404)	—	10,2	6,2	17,2	—	12,3

над луговой продолжительное время обсуждается в литературе. С энергетической точки зрения в лесу создаются условия для большего испарения. Однако экспериментальные данные не дают однозначного ответа на эту проблему. Спорными, как показал А. В. Павлов [1984], являются аргументы, которыми доказывается большее испарение леса, например накопление влаги в лесу к началу вегетации растительности и др.

Наиболее подробные исследования испарения ( $E$ ) с лесных и безлесных ландшафтов с учетом биологических особенностей лесной растительности и общих физико-географических условий, отраженных индексом сухости  $I_B$ , выполнены Ю. Л. Раунером [1972, 1974]. Для европейской территории Союза и Западной Сибири в зависимости от условий увлажнения разница испарения леса и луга составляет 8—22%.

Для лесостепи Западной Сибири, гор Южной Сибири эти различия равны 13—15% [Лебедев, 1974].

Для засушливых районов Якутии отношение испарения леса и луга оказалось даже большим, чем для увлажненных районов европейской части СССР, достигающим значения 1,5 [Павлов, 1984].

Для расчета испарения на склонах Е. Н. Романовой [1977] была преобразована формула (13). Предполагается, что равенство (13) выполняется как в условиях ровного места, так и на склонах, так как физическая сущность испарения в зависимости от теплоэнергетических и водных ресурсов одинакова. После преобразования формулу (13) можно представить в виде

$$E^* = E_0^* \cdot E/E_0 \cdot K_w \quad (16)$$

или

$$E^* = E_0 \cdot K_n, \quad (17)$$

где  $K_w = W^*/W$  — коэффициент увлажнения склонов,  $K_n = E/E_0 \cdot K_w$  — показатель увлажнения склонов.

Согласно формуле (16)  $E^*$  на склонах можно определить по известным  $E_0^*$ ,  $E/E_0$ ,  $K_w$ .  $E_0^*$  определяется по методу радиационного баланса [Будыко, 1948]

$$E_0^* = B/L. \quad (18)$$

По имеющимся значениям  $E$  и  $E_0$  для горизонтальной поверхности рассчитано  $E/E_0$ ;  $K_w$  определен эмпирически и обобщен Е. Н. Романовой (1977) на основе литературных и собственных данных; отношение  $E/E_0$  помимо характеристики общего увлажнения является непосредственной характеристикой влажности почвы, что следует из равенства (13). Исключением являются условия избыточного увлажнения, когда  $E/E_0$  перестает быть характеристикой влажности почвы:  $E/E_0 = \text{const}$  при  $W > W_0$ .

Л. И. Зубенок [1976] нашла связь между  $E/E_0$  и радиационным индексом сухости ( $E_0/r$ ). Для сухих районов  $E/E_0$  является величиной, обратной  $E_0/r$ .  $E_0/r = 1$  соответствует показатель  $E/E_0 = 0,8$ .

Значение  $E/E_0$  менее 0,5 указывает на существенный недостаток влаги для развития растений.  $E/E_0 = 0,90-0,95$  характеризует условия избыточного увлажнения как в отношении обводнения клеток, так и в отношении аэрации почвы. Однако вопросы количественной оценки переувлажнения местности разработаны еще недостаточно. Оптимум увлажнения для растений определяется интервалом значений  $E/E_0 = 0,50-0,95$ .

$(E/E_0)^*$  определяется из формул (14) и (16) как

$$(E/E_0)^* = (W/W_0)^* = E/E_0 \cdot K_w \quad (19)$$

и может быть использовано для характеристики влажности почвы. Данные наблюдений за влажностью почвы для гор Сибири очень немногочисленны, получены лишь для ограниченных районов в течение кратковременных экспедиционных периодов наблюдений и часто не репрезентативны даже для соседних участков. Расчетные величины влажности почвы в значительной мере осреднены, позволяют охватить широкий набор экологических условий, характерных для горной местности, и могут быть использованы для географических обобщений.

Различия в температурном режиме склонов различной ориентации возможно проследить лишь по температуре подстилающей поверхности, так как температура воздуха на склонах, измеренная на уровне 2 м, не показывает сколько-нибудь существенных различий [Будыко, 1971]. Именно на уровне земной поверхности различия радиационного режима проявляются в большей степени. На более высоких уровнях турбулентное перемешивание воздуха сглаживает различия температур, возникшие на земной поверхности.

Температура подстилающей поверхности ( $t_\omega$ ) является характеристикой не только термического режима склонов, но и растительного покрова, так как при сомкнутом растительном покрове листовая масса является основной составляющей деятельной поверхности.

Определение  $t_\omega$  производили путем решения уравнения теплового баланса растительного покрова относительно  $t_\omega$  [Будыко, 1971]:

$$t_\omega = t + \frac{B_0 - LE - F}{\rho c_p D + 4\delta\sigma T^3} \quad (20)$$

Методика расчета всех составляющих теплового баланса ( $B_0$ ,  $LE$ ,  $F$ ) рассмотрена в разд. 2.1.2 и 2.1.3,  $t$  известна из стандартных метеонаблюдений,  $\rho$ ,  $c_p$ ,  $\delta$ ,  $\sigma$  — метеорологические константы,  $D$  — интегральный коэффициент внешней диффузии, который для летних условий принимается равным 0,63 см/с [Будыко, 1971].

Возможность применения метода теплового баланса для климатологических расчетов  $t_\omega$  подтверждена экспериментальными исследованиями З. А. Мищенко [Микроклимат..., 1967].

## 2.2. КЛИМАТ ГОР ЮЖНОЙ СИБИРИ

Согласно климатическому районированию Б. П. Алисова [1956], горы Южной Сибири лежат в трех климатических областях умеренного пояса: Алтае-Саянской, Прибайкалье и Забайкалье. Положение гор Южной Сибири в центре материка на широтах  $50-55^\circ$  с. ш. определяет общий континентальный умеренно холодный климатический режим. В котловинах и к востоку степень континентальности нарастает, и климат оценивается как резко континентальный [Алисов, 1956; Михайлов, 1961]. Амплитуда годовых температур воздуха доходит в котловинах Тувы и Забайкалья до  $50^\circ$ . Коэффициент континентальности, по Конраду, достигает в степном Забайкалье значения  $87-90$ , а в Тувинской котловине —  $103$  (Кызыл). В горах континентальность несколько снижается, и тот же показатель в тайге Забайкалья равен  $76-80$ , в горно-таежном поясе Восточного Саяна —  $68-70$ , Западного Саяна —  $70-73$ . В Кузнецком Алатау он наименьший:  $55-60$  в горной части и  $70,5$  в котловине [Типы лесов..., 1980].

Средняя годовая температура воздуха на подавляющей части территории отрицательная, но варьирует в широких пределах: от  $0$  до  $-8^\circ$ . Одной из форм многообразного влияния рельефа на климат является развитие фен. Зимние фены обуславливают на Алтае абсолютный максимум температуры воздуха  $5-10^\circ$ , в Туве абсолютный максимум отрицательный  $-10^\circ$  [Мячкова, 1983]. Летние и весенние фены существенно действуют на почву и растительность.

В зимнее время над территорией Южной Сибири устанавливается Азиатский антициклон, который способствует радиационному выхолаживанию и формированию очень холодного воздуха, особенно в межгорных котловинах и долинах, где отмечается промерзание почвы до 2 м.

В течение года в *Алтае-Саянской области* преобладают континентальные воздушные массы, но тем не менее климат там отличается большей мягкостью, чем в Западно-Сибирской низменности, так как горные районы находятся под усиленным рельефом влиянием Атлантики и свободной атмосферы. В формировании климата предгорных областей отмечается существенная роль Арктики: проникновение арктических воздушных масс приводит к значительному понижению температуры воздуха летом вплоть до заморозков [Мячкова, 1983]. Усиление циклонической деятельности происходит в летнее время. Тогда же получают развитие местные циклоны. Самое большое количество осадков выпадает на наветренных северных и северо-западных склонах Алтая, Кузнецкого Алатау и Саяна —  $1500$  мм. На подветренных южных, особенно в межгорных котловинах (Миусинской, Тувинской), выпадает недостаточное для древесной растительности количество осадков —  $250-300$  мм. Отмечается аналогичное распределение осадков зимнего периода и снежного покрова: на наветренных склонах накапливается до  $200$  см снега, на подветренных (южных котловинах) — порядка  $20$  см.

Для сравнительной оценки обеспеченности тепловыми ресурсами достаточно воспользоваться суммой активных температур воздуха  $\Sigma t_{10}$ . С ней связаны тесной коррелятивной связью и другие климатические характеристики:  $\Sigma t_5$ , продолжительность вегетационного периода, оттаивание корнеобитаемого слоя до глубины 20 см, период активной жизнедеятельности корней древесной растительности, начало интенсивного промачивания почвы и т. д.

Для наиболее распространенных условий среднегорья суммы активных температур варьируют в пределах величин 800—1500° в Кузнецком Алатау, 700—1600° в Западном Саяне, 500—1000° в тувинской части Восточного Саяна, 700—1200° в Прибайкалье и, наконец, 800—1600° в Забайкалье. Именно эти параметры в общих чертах определяют уровень обеспеченности теплом горных лесов в разных регионах. Как можно видеть, варьирование количества тепла в зависимости от высоты местности значительно больше, чем по районам, что связано с достаточно близким их широтным положением. К востоку общая теплообеспеченность в лесном поясе снижается, однако это связано не столько с континентальностью, сколько с подъемом вверх лесного пояса.

Климат Прибайкалья менее влажен и более континентален, чем климат Алтае-Саянской области, но он смягчается под влиянием рельефа. Осадки выпадают в основном летом с усилением циклонической деятельности, причем наиболее увлажнен северо-западный склон хр. Хамар-Дабан, где зимой накапливаются большие запасы снега. В среднем для территории запасы снега невелики — 30—40 см, что способствует образованию островов мерзлых грунтов. Лето в Прибайкалье теплое — 18—19°. Охлаждающее влияние оз. Байкал на примыкающие территории из-за окружающих гор невелико и сказывается лишь в узкой прибрежной полосе. Континентальность климата способствует еще большему выхолаживанию приходящего арктического воздуха, вследствие чего заморозки возможны в течение всего лета. Близость к центру Азиатского антициклона в зимнее время определяет антициклонический режим погоды — до 10 антициклонов в месяц [Мячкова, 1983]. Циклоны зимой редки. В начале теплого периода отмечается сильная засушливость.

Особые климатические условия складываются вокруг оз. Байкал. Они формируются под влиянием водного объема озера на фоне общих климатических процессов, характерных для данной области. Зимой над озером температура воздуха выше на 8°, чем на соответствующих широтах над материком, летом — ниже на 5° [Мячкова, 1983]. Лето прохладное, но в отличие от континентального типа климата — теплая осень. Благодаря влиянию озера значительно удлиняется безморозный период. Над Байкалом формируются свои центры давления, которые способствуют развитию местных ветров. Выпадение осадков связано с прохождением южных и северо-западных циклонов.

В Забайкалье отмечается наибольшая повторяемость антициклонов в Восточной Сибири. Зимой местный антициклоногенез активизируется [Мячкова, 1983]. Дальнейшее выхолаживание воздуха

происходит в котловинах и долинах, абсолютный минимум может достигать —60°. Антициклонический режим погоды, скопление холодного воздуха в пониженных формах рельефа способствуют образованию сильных инверсий температуры воздуха.

Весна — самое засушливое время года: до 25 дней в месяц относительная влажность воздуха менее 30%. Летом с усилением циклонической деятельности увеличивается количество осадков, которые связаны также с циклонами Монголии, хотя последние значительно беднее влагой, чем атлантические воздушные массы. В большей мере на режиме осадков в Забайкалье сказывается близость Дальнего Востока, влияние которого выражается в увеличении количества осадков во вторую половину лета в связи с усилением муссонной циркуляции.

Высокие летние температуры воздуха (28—30°) связаны с выносом теплого воздуха из Монголии и северо-востока Китая. Понижение температур летом (до 7—10°) вызывает адвекция арктического воздуха с севера и в тылу циклонов, выходящих из Якутии, а также по периферии антициклонов с центрами над Якутией и Средне-сибирским плоскогорьем [Мячкова, 1983].

Описанные выше общие закономерности формирования климата в данном регионе в значительной мере корректируются рельефом, в частности такими его характеристиками, как абсолютная высота, экспозиция и крутизна склонов, закрытость горизонта, и др.

В последующих разделах освещены вопросы трансформации климатических условий в пересеченном рельефе на примере репрезентативных регионов гор Южной Сибири — Западного Саяна и бассейна оз. Байкал.

### 2.3. ВЫСОТНАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ПОЯСНОСТЬ

Радиационный баланс в горах Сибири изучался крайне недостаточно. Н. П. Бахтиным [1967] на основе собственных четырехлетних наблюдений на высоте 1404 м и данных двух предгорных актинометрических станций (Хакасская и Кызыл) сделаны некоторые выводы о радиационном режиме в Западном Саяне, которые, по словам автора, требуют дополнительного обоснования. Мы использовали расчетные методы определения радиационного баланса, модифицируя их применительно к данным условиям (разд. 2.1.2).

Приходная часть радиационного баланса — суммы суммарной радиации — по высотам и поясам растительности за различные периоды (сутки, месяц, теплый сезон) была подробно охарактеризована Е. А. Садовничей [1978, 1985]. Коротко остановимся на характеристике сумм суммарной радиации за период с температурами выше 1,5° ( $\Sigma Q$ ), так как именно за этот период производили суммирование составляющих радиационного баланса.

В зависимости от высоты за указанный период поступает 46—55 ккал/(см<sup>2</sup>·пер.)  $\Sigma Q$  в верхних поясах и 65—76 — в нижних (табл. 15). На одинаковые высотные уровни различных групп райо-

Таблица 15

## Составляющие радиационного баланса высотных поясов

Высотный пояс растительности	Абсолютная высота Н, м	Суммарная радиация, ккал/((см <sup>2</sup> ·пер.)*)	Поглощенная радиация, ккал/((см <sup>2</sup> ·пер.)*)	Эффективное излучение, ккал/((см <sup>2</sup> ·пер.)*)	Радиационный баланс В, ккал/((см <sup>2</sup> ·год)
1	2	3	4	5	6
<i>Группа избыточно влажных районов</i>					
Лесостепь	300—350	71	61	21	40
Светлохвойные леса	350—400	70	60	20,5	39,5
Темнохвойные леса					
черневые					
пихтово-кедровые	400—900	70—62	60—54	20,5—17,5	39,5—36,5
горно-таежные					
пихтово-кедровые	800—1300	64—55	54—45	17,5—16	36,5—29
субальпийское					
пихтово-кедровое	1300—1800	54—46	45—35	16—12	29—23
редколесье	1800—2100	<46	<35	<12	<23
Горная тундра					
<i>Группа влажных районов</i>					
Светлохвойные леса					
горно-таежные					
сосново-лиственничные	700—1000	66—60	57—52	20—18,5	37—33,5
Темнохвойные леса					
горно-таежные					
кедровые	700—1500	66—51,5	57—40,5	20—14,5	37—26
подгольцово-таежные					
кедровые	1500—1800	51,5—46	40,5—35	14,5—12	26—23
Горная тундра	1800—2200	<46	<35	<12	<23
<i>Группа умеренно влажных районов</i>					
Степь	250—400	76—73	63—60	19	44—41
Лесостепь	400—800	73—66	60—57	19	41—38
Светлохвойные леса					
сосново-лиственничные					
подтаежные	500—1200	71—58	61—50	20—17	41—33
горно-таежные					
лиственничные	800—1500	66,5—52	57—46	19—15	38—31

Окончание табл. 15

1	2	3	4	5	6
Темнохвойные леса					
горно-таежные					
кедровые	1100—1600	60—50	51—43,5	17—15	34—28,5
подгольцово-таежные					
кедровые	1600—1900	50—43,5	43,5—38	15—13	28,5—25
Горная тундра	1900—2200	<43,5	<38	<13	<25

\* За период с температурой воздуха выше 1,5°.

нов поступает почти равное количество  $\Sigma Q$  с перевесом 1—3 ккал/(см<sup>2</sup>·пер.) в группе умеренно влажных районов за счет большей продолжительности солнечного сияния. Еще большие различия в приходе  $\Sigma Q$  наблюдаются между избыточно влажными районами и сухими районами Алашского плато, что объясняется, во-первых, большей продолжительностью солнечного сияния в сухих районах и, во-вторых, значительным увеличением в них периода с температурами выше 1,5° за счет меньшего расхода тепла на снеготаяние.

Между группами районов более заметны различия для поглощенной радиации, которая является функцией альbedo подстилающей поверхности. В группе избыточно влажных районов осенью снежный покров устанавливается до наступления дат перехода средней суточной температуры через 1,5°. Еще большее запаздывание схода снега по сравнению с переходом температур воздуха через предел 1,5° происходит весной (см. рис. 11, 17). С увеличением высоты залегание снежного покрова становится все более продолжительным, и на высотах 1800 м только в течение июня — августа зеленая поверхность свободна от снега. В силу этих причин значительные альbedo снега сильно понижают поглощенную радиацию.

В умеренно влажных районах снег тает весной до наступления температур выше 1,5° и выпадает после перехода температур через указанный предел, в результате чего он практически не влияет на альbedo подстилающей поверхности в течение этого периода. Таким образом, в целом за период в нижних поясах значения поглощенной радиации во всех группах районов выравниваются, а в верхних — на 3—5 ккал/(см<sup>2</sup>·пер.) больше на южном макросклоне, чем на северном.

Расходная часть радиационного баланса — эффективное излучение — составляет 12—16 ккал/(см<sup>2</sup>·пер.) в верхних поясах и 17—21 — в нижних. В пределах одинаковых высот  $\Sigma \mathcal{E}$  в умеренно влажных районах лишь на 1—1,5 ккал/(см<sup>2</sup>·пер.) больше, чем в избыточно влажных (см. табл. 15). При этом месячные значения  $\Sigma \mathcal{E}$  в умеренно влажных районах также несколько выше (табл. 16). В летние месяцы, когда облачность практически одинакова во всех группах районов (см. рис. 19) и выпадает основная масса осадков, разница

Таблица 16

Месячные значения эффективного излучения на горизонтальной поверхности, ккал/(см<sup>2</sup>·мес)

Абсолютная высота Н, м	Группа избыточно влажных районов					Группа умеренно влажных районов				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
500	3,9	3,7	3,6	3,5	3,3	4,0	3,5	3,5	3,5	3,4
1000	3,7	3,8	3,6	3,5	3,3	4,2	3,6	3,5	3,6	3,5
1500	3,4	3,7	3,5	3,3	3,0	4,4	3,9	3,6	3,6	3,5
1800	3,3	3,4	3,3	3,2	3,0	4,5	4,0	3,6	3,6	3,5

эта невелика: всего 0,1—0,2 ккал/(см<sup>2</sup>·мес). В мае и сентябре, в месяцы с небольшой влажностью воздуха и малой облачностью, в засушливых районах  $\Sigma \mathcal{E}$  превышает на 0,3—0,4 ккал/(см<sup>2</sup>·мес) значения  $\Sigma \mathcal{E}$  во влажных районах. Резко уменьшаются  $\Sigma \mathcal{E}$  на высотах со снежным покровом, так как уменьшается температура излучающей поверхности.

Высотный градиент  $\Delta \Sigma \mathcal{E}$  в месяцы без снежного покрова весьма незначителен:  $\pm 0,1—0,2$  ккал/(см<sup>2</sup>·мес) на 500 м и может быть противоположен по знаку. Известно, что влияние температуры и влажности воздуха, а также облачности на эффективное излучение различно. Падение температуры воздуха ведет к уменьшению эффективного излучения, в то время как с уменьшением влажности воздуха уменьшается противозлучение атмосферы, что является причиной роста эффективного излучения. Облачность задерживает излучение подстилающей поверхности. Во всех группах районов до некоторой высоты, значение которой варьирует от месяца к месяцу, происходит увеличение эффективного излучения за счет быстрого уменьшения влажности воздуха. Затем более существенным фактором в определении  $\Sigma \mathcal{E}$  становятся падение температуры излучающей поверхности с высотой и рост облачности, в результате которых эффективное излучение уменьшается (см. табл. 16).

Месячные значения радиационного баланса меняются как во времени (от месяца к месяцу), так и в пространстве (по абсолютной высоте в различных климатических районах) (табл. 17). В летнее время за счет большего поглощения солнечной радиации темнохвойными кедрово-пихтовыми лесами, альbedo которых на 2—3% меньше альbedo светлых лесов,  $\Sigma B$  на одинаковой высоте в избыточно влажных районах на 0,2—0,3 ккал/(см<sup>2</sup>·мес) больше, чем в умеренно влажных районах. В осенние и особенно в весенние месяцы  $\Sigma B$  в умеренно влажных районах значительно превышает таковой в избыточно влажных районах как за счет увеличения продолжительности солнечного сияния на южном макросклоне, так и за счет резкого уменьшения поглощенной радиации на северном макросклоне из-за имеющего место в эти месяцы снежного покрова. В итоге на южном макросклоне накапливаются суммы  $\Sigma B_{\text{год}}$ , равные 25—44 ккал/(см<sup>2</sup>·год) в зависимости от высоты, на северном — 20—

Таблица 17

Месячные значения радиационного баланса на горизонтальной поверхности, ккал/(см<sup>2</sup>·мес)

Абсолютная высота Н, м	Группа избыточно влажных районов					Группа умеренно влажных районов				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
500	8,0	9,1	8,8	7,1	4,1	8,6	9,1	8,6	6,8	3,9
1000	6,0	9,0	8,4	6,8	3,9	8,4	8,8	8,1	6,5	4,0
1500	4,1	7,9	8,2	6,7	3,4	8,3	8,7	8,0	6,4	4,2
1800	3,9	6,0	8,0	6,4	2,9	8,0	8,3	7,9	6,3	4,2

40 ккал/(см<sup>2</sup>·год). Высотный градиент  $\Delta \Sigma B_{\text{год}}$  на северном склоне составляет 1,2 ккал/(см<sup>2</sup>·год) на 100 м, на южном — 1,0. Для сравнения укажем, что высотный градиент  $\Delta \Sigma B_{\text{год}}$  на Большом и Малом Кавказе равен 0,5—1,0 ккал/(см<sup>2</sup>·год) на 100 м [Шихлинский, 1968]. Для Среднего Урала [Ефимова, Зубенко, 1964] уменьшение  $\Sigma B_{\text{год}}$  с высотой в среднем составляет 0,5 ккал/(см<sup>2</sup>·год) на 100 м. Расчеты Н. А. Ефимовой [1977] для горных районов всей суши показали, что градиент  $\Sigma B_{\text{год}}$  равен 10—15 ккал/(см<sup>2</sup>·год) на 1 км в зависимости от условий увлажнения. Из приведенных цифр следует, что значения градиента  $\Sigma B_{\text{год}}$  в Западном Саяне одного порядка с градиентами других горных территорий.

Радиационный баланс, или остаточная радиация, является энергетической основой теплового баланса. Основные расходные статьи радиационного баланса: затраты тепла на фазовые преобразования воды (в основном испарение) и турбулентный теплообмен между земной поверхностью и атмосферой. Поток тепла в почву значительно меньше названных составляющих теплового баланса и в годовом выводе равен нулю.

Рассмотрим изменение основных составляющих теплового баланса  $LE$  и  $P$  в годовом ходе и в связи с увеличением высоты по группам районов (табл. 18). Испарение зависит от испаряемости, которая определяется радиационным балансом и запасами влаги в почве, зависящими прежде всего от общего режима увлажнения. В связи с указанными причинами  $E$  в годовом ходе имеет максимум в летние месяцы (июнь — июль). В избыточно влажных районах максимум  $\Sigma E$ , равный 10 см/мес, следует за максимумом радиационного баланса и отмечается в июне. В группах умеренно и недостаточно влажных районов более существенным фактором в определении  $\Sigma E$  становится количество осадков, максимум которых приурочен к июлю. Значения  $\Sigma E$  в июле в умеренно влажных районах равны 7—8 см/мес, а в сухих межгорных котловинах — 5—6 см/мес. С увеличением высоты при достаточном увлажнении испарение уменьшается, так как уменьшаются тепловые ресурсы (рис. 22). Зависимость годового испарения от абсолютной высоты показана на рис. 23.

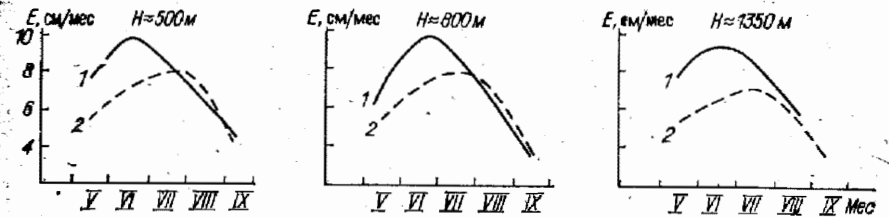
В группе избыточно влажных районов с увеличением увлажнения растет и испарение с градиентом 1 см/год на 100 м: в лесостеп-

Таблица 18

## Составляющие теплового баланса высотных поясов

Высотный пояс растительности	Абсолютная высота $H$ , м	Радиационный баланс $B$ , ккал/(см <sup>2</sup> ·год)	Испарение за год, см	Затраты тепла на испарение, ккал/(см <sup>2</sup> ·год)	Турбулентный теплообмен, ккал/(см <sup>2</sup> ·год)
<i>Группа избыточно влажных районов</i>					
Лесостепь	300—350	40	50	30	10
Светлохвойные леса	350—400	39,5	52	31	8,5
Темнохвойные леса					
черневые пихтово-кедровые	400—900	39,5—36,5	52—55	31—33	8,5—3,5
горно-таежные пихтово-кедровые	800—1300	36,5—29	55—43	33—26	3,5—3
субальпийское пихтово-кедровое редколесье	1300—1800	29—23	43—35	26—22	3—1
Горная тундра	1800—2100	<23	<35	<22	<1
<i>Группа влажных районов</i>					
Светлохвойные леса					
горно-таежные сосново-лиственничные	700—1000	37—33,5	55—50	33—30	4—3,5
Темнохвойные леса					
горно-таежные кедровые	700—1500	37—26	55—40	33—24	4—2
подгольцово-таежные кедровые	1500—1800	26—23	40—35	24—22	2—1
Горная тундра	1800—2200	<23	<35	<22	<1
<i>Группа умеренно влажных районов</i>					
Степь	250—400	44—41	34—31	20—18	24—23
Лесостепь					
котловины	400—800	41—38	38—33	22—20	19—18
Светлохвойные леса					
сосново-лиственничные подтаежные	500—1200	41—34	42—45	25—27	16—7
горно-таежные лиственничные	800—1500	38—31	44—42	26—25	12—6
Темнохвойные леса					
горно-таежные кедровые	1100—1600	34—28,5	45—42	27—25	7—3,5
подгольцово-таежные кедровые	1600—1900	28,5—25	42—38	25—23	3,5—2
Горная тундра	1900—2200	<25	<38	<23	<2

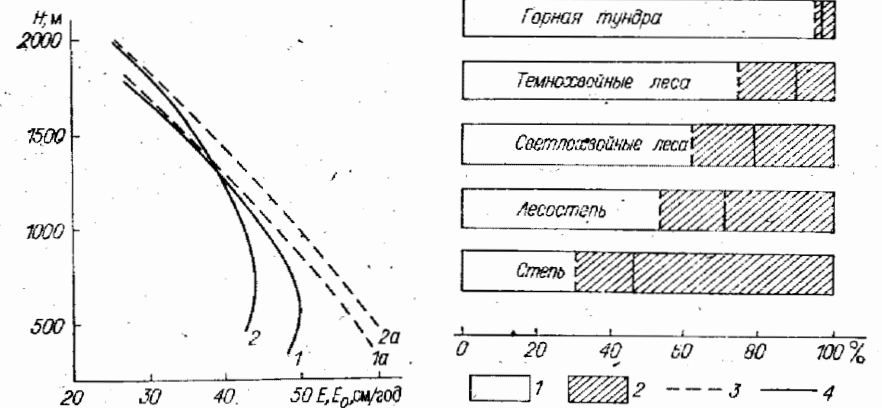
ном поясе (ст. Ермаковское,  $H = 300$  м)  $E = 50$  см/год, в черневом (ст. Неожиданный прииск,  $H = 540$  м) — 52 см/год. Наибольшие величины испарения, равные 55 см/год, отмечаются на высоте 800 м в горно-таежном поясе. А. В. Лебедев [1979] отмечает, что в бассейне оз. Байкал наибольшая величина затрат на испарение также приурочена к зоне горно-таежных лесов. По мере дальнейшего роста высоты испарение начинает уменьшаться и на ст. Оленья Реч-

Рис. 22. Сезонный ход испарения ( $E$ ) в избыточно влажных и влажных (1) и умеренно влажных (2) районах.

ка ( $H = 1404$  м) составляет 43 см/год. Градиент уменьшения испарения с высотой равен 2 см/год на 100 м. В умеренно влажных районах испарение растет до высоты 1,1 км с градиентом 0,5 см/год на 100 м, затем уменьшается с градиентом 1,0 см/год на 100 м. Максимум испарения 45 см/год отмечается в поясе темнохвойных лесов.

Из обобщенных Л. И. Зубенок [1976] данных литературы об испарении в горах следует, что высотные градиенты испарения изменяются в пределах 0,5—2,0 см/год на 100 м. Аналогично распределению годового испарения во времени и в пространстве происходит распределение затрат тепла на испарение (см. табл. 18).

Турбулентный теплообмен зависит как от радиационных условий, так и от увлажнения. Максимальная теплоотдача от земли в атмосферу наблюдается в поясах недостаточного увлажнения: в степи она определяется значениями 23—24 ккал/(см<sup>2</sup>·год). Особенно больших значений турбулентный теплообмен  $P$  достигает в сухих степях: ст. Кызыл —  $P = 34$  ккал/(см<sup>2</sup>·год). В лесных поясах тур-

Рис. 23. Зависимость годовых значений испарения ( $E$ ) и испаряемости ( $E_0$ ) от абсолютной высоты.

1, 1а — избыточно влажные и влажные; 2, 2а — умеренно влажные районы; 1, 2 — испарение, 1а, 2а — испаряемость.

Рис. 24. Соотношение  $LE/B$  и  $P/B$  в различных высотных поясах растительности.

1 —  $LE/B$ ; 2 —  $P/B$ ; 3 — нижняя граница пояса; 4 — верхняя граница пояса.

Термические характеристики климата высотных поясов

Высотный пояс растительности	Абсолютная высота $H$ , м	Средняя июльская температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Годовая амплитуда температуры воздуха $A$ , $^{\circ}\text{C}$	Продолжи- тельность периода с температура- ми выше $10^{\circ}$ , дни	Сумма тем- ператур выше $10^{\circ}\text{C}$
1	2	3	4	5	6

## Группа избыточно влажных районов

Лесостепь	300—350	19,0—18,5	37,5—37,0	120—114	1900—1800
Светлохвойные леса	350—400	18,5—18,0	37,0—36,5	114—109	1800—1650
Темнохвойные леса					
черневые					
пихтово- кедровые	400—900	18,0—14,5	36,5—34,0	109—77	1650—1050
горно-таежные					
пихтово- кедровые	800—1300	15,0—13,0	35,0—32,0	82—59	1150—650
субальпий- ские пихто- во-кедровые					
редколесье	1300—1800	13,0—11,0	32,0—29,5	59—43	650—250
Горная тундра	1800—2100	11,0	29,5—27,5	43—35	250—0

## Группа влажных районов

Светлохвойные леса					
горно-таеж- ные сосно- во-листвен- ничные	700—1000	15,5—14,0	40,0—38,0	87—72	1400—1100
Темнохвойные леса					
горно-таеж- ные кедро- вые	700—1500	15,5—12,0	40,0—34,0	87—52	1250—500
подгольцо- во-таежные					
кедровые	1500—1800	15,5—12,0	40,0—34,0	87—52	1250—500
Горная тундра	1800—2200	11,0	32,0—29,0	43—32	250—0

## Группа умеренно влажных районов

Степь	250—400	19,0	47,0	122—120	2000—1800
Лесостепь	400—800	19,0—16,0	47,0—43,5	120—91	1800—1300
Светлохвойные леса					
сосново-ли- ственничные					
подтаежные	500—1200	18,0—14,0	46,0—40,0	112—72	1700—900
горно-таеж- ные лист- венничные	800—1500	16,0—13,0	43,5—37,5	91—62	1300—650

булентный теплообмен значительно меньше, оставаясь в светлехвойных лесах несколько выше, чем в темнохвойных (соответственно 8—16 и 2—8 ккал/(см<sup>2</sup>·год)). В субальпийском, подгольцовом поясах, а также в горной тундре турбулентный теплообмен не превышает 1 ккал/(см<sup>2</sup>·год) (см. табл. 18).

Соотношение составляющих теплового баланса  $LE$  и  $P$  лучше проследить в относительных единицах, т. е. в процентах по отношению к радиационному балансу (рис. 24). В степных типах растительности до 70% радиационного баланса расходуется на прогревание воздуха и менее 40% на испарение. В лесу значительно увеличиваются затраты тепла на испарение (75—96%), причем максимум отмечается в подгольцовом и субальпийском редколесье. В светлехвойных лесах на испарение расходуется на 10—15% тепла меньше, чем в темнохвойных. В горной тундре почти весь радиационный баланс тратится на испарение и лишь 4—8% на теплообмен.

А. В. Павлов [1984] на основе обобщения материалов литературы и данных собственных наблюдений установил, что за теплый период в среднем соотношение составляющих теплового баланса следующее (%):

	$P/B$	$LE/B$	$F/B$
Тундра	35—50	50—40	10—14
Лес	15—25	80—70	4—5
Степь	35—65	60—30	5—7
Пустыня	60—80	30—10	7—9

Термические показатели климата. Средние июльские температуры воздуха являются характеристикой теплового периода года. Наиболее высокими июльскими температурами характеризуются лесостепные и светлехвойные пояса избыточно влажных районов (18—19°) и светлехвойная тайга умеренно влажных районов в нижней части пояса (18°) (табл. 19). Верхняя часть светлехвойного пояса при умеренном и недостаточном увлажнении ограничивается довольно большими абсолютными высотами — 1200—1500 м и поэтому характеризуется невысокими значениями температур июля — 13—14°.

Достаточно высоки июльские температуры и в черневой тайге — 14,5—18°; в целом же темнохвойный пояс характеризуется значениями температур 12—15° с уменьшением их на границе с тундрой до 11°.

Высотный градиент июльских температур воздуха во влажных и избыточно влажных районах равен в среднем 0,6°/100 м, причем в нижних поясах он несколько выше: 0,60—0,65°/100 м, а в верхних — несколько ниже: 0,50—0,55°/100 м. Уменьшение температурного градиента с высотой обусловлено ростом увлажнения.

В засушливом климате межгорных котловин и Алашского плато вследствие невысокой влажности воздуха падение температуры с высотой происходит еще быстрее: 0,70°/100 м, но при этом на одинаковых высотах температура на южном макросклоне остается на 1,5—3,0° выше, чем на северном.

Для лесной растительности наиболее важна сумма температур, накопленная в течение теплового периода года. Обычно за такой био-

1	2	3	4	5	6
Темнохвойные леса					
горно-таежные кедровые подгольцово-таежные кедровые	1100—1600	14,5—12,5	41,0—37,0	76—58	1000—600
	1600—1900	12,5—12,0	37,0—34,0	58—49	600—350
<i>Группа недостаточно влажных районов</i>					
Степь	800—1800	19,0—13,0	47,0—35,0	135—83	1550—600
Светлохвойные леса					
горно-таежные лиственничные подгольцово-таежные лиственничные	1200—2000	16,0—12,0	42,0—32,5	107—78	1050—450
	2000—2200	12,0—11,5	32,5—30,0	78—74	450—300
Темнохвойные леса					
подгольцово-таежные кедровые и лиственнично-кедровые	1800—2200	13,0—11,5	35,0—30,0	83—74	600—300
Горная тундра	2200—3000	11,5	30,0	74	700

климатический показатель, характеризующий период наибольшей интенсивности процессов роста и жизнедеятельности, принимается период с температурами воздуха выше  $10^{\circ}$  (период активного роста) и суммы температур за этот период (суммы активных температур). Период активного роста, в свою очередь, определяется датами наступления средних суточных температур, равных  $10^{\circ}$  (см. рис. 11). На одинаковой высоте весной быстрее наступает средняя многолетняя дата перехода температуры через  $10^{\circ}$  в группе недостаточно влажных районов. В котловинах Тувы эта дата наступает на 13 дней, в группе умеренно влажных районов — на 20 дней и, наконец, в группах влажных и избыточно влажных районов — на 25 дней позже, чем в недостаточно влажных районах. Порядок наступления дат перехода температур через  $10^{\circ}$  осенью обратен перечисленному. Значительное запаздывание весной наступления температур выше  $10^{\circ}$  во влажных районах вызвано прежде всего большими запасами снега, на стаивание которого тратятся огромные энергоресурсы. Более ранний переход через указанный предел осенью во влажных районах по сравнению с сухими вызван большими затратами тепла на испарение, чем на турбулентный теплообмен.

Соответственно датам перехода температур через  $10^{\circ}$  меняется по высоте и продолжительность периода активного роста (см.

табл. 19). В лесостепном поясе избыточно влажных районов этот период продолжается 114—120 дней, в умеренно влажных в связи с подъемом границ этого пояса продолжительность периода активного роста на нижней границе пояса сокращается до 91 дня. В темнохвойной тайге этот период наиболее продолжителен в черном поясе избыточно влажных районов: 77—109 дней; в горно-таежном поясе он также продолжительней во влажных районах (59—82 дня), чем в умеренно влажных (58—76 дней). В субальпийском и подгольцовом поясах влажных районов период активного роста на 6 дней короче такового в умеренно влажных районах.

Пояс светлохвойных лесов из-за своей растянутости по высоте в умеренно влажных и недостаточно влажных районах отличается большим интервалом значений периода с температурами выше  $10^{\circ}$ : соответственно 62—112 и 74—107 дней. В избыточно влажных районах он составляет 109—114 дней, во влажных — 78—87 дней. Значительной продолжительностью этого периода отличаются засушливые районы Тувы и межгорные котловины. По мере роста увлажнения продолжительность периода активного роста уменьшается, и скорость уменьшения для всех групп районов примерно одинакова: 5 дней/100 м, за исключением межгорных котловин, где градиент увеличивается вдвое: до 10 дней/100 м.

Лесной пояс охватывает большой термический диапазон во всех группах районов, однако соотношение его светло- и темнохвойной частей по суммам активных температур различно (см. табл. 19).

В избыточно влажных районах светлохвойные леса занимают высотную полосу, которая характеризуется суммой активных температур  $\Sigma t$ , равной  $1650—1800^{\circ}$ , темнохвойные леса —  $\Sigma t$ , равную  $300—1650^{\circ}$ . По мере перехода к менее влажным районам увеличивается доля светлохвойных лесов и меняется соотношение термических диапазонов темно- и светлохвойных формаций; в группе влажных районов светлохвойные леса занимают температурный интервал  $1100—1400^{\circ}$ ; темнохвойные —  $300—1250^{\circ}$ ; в группе умеренно влажных районов  $650—1700$  и  $300—1000^{\circ}$  соответственно. В группе недостаточно влажных районов по южным склонам преобладают степи, и лишь в подгольцовом поясе появляется лиственница при суммах тепла  $300—450^{\circ}$ . По северным склонам доминирует лиственничная тайга при  $\Sigma t$ , равной  $300—1050$ . Температурный интервал лиственнично-кедровых лесов сокращается до  $300—600^{\circ}$ .

Высотный градиент  $\Delta \Sigma t$  для всех групп районов примерно одинаков:  $90—100^{\circ}/100$  м в нижних и  $100—110^{\circ}/100$  м в верхних поясах, за исключением тувинских котловин, где он увеличивается вдвое.

Если по термическим характеристикам теплого периода различия между группами районов невелики, то по годовой амплитуде температуры воздуха (A), характеризующей континентальность климата, контрасты весьма показательны (см. табл. 19). В группе избыточно влажных районов по всему спектру растительных поясов годовая амплитуда температуры воздуха меняется от  $37^{\circ}$  в лесостепном поясе до  $29^{\circ}$  в субальпийском редколесье; в группе умеренно влажных районов — от  $47^{\circ}$  в степном и лесостепном поясах до  $34^{\circ}$



Климатические характеристики увлажнения высотных поясов

в подгольцовом. Максимальна  $A$  в межгорных котловинах —  $52-53^\circ$  (за счет очень низких зимних температур). По мере увлажнения климата, вызвано ли оно подъемом в горы или переходом из одной группы районов в другую,  $A$  уменьшается, но в разной степени. Максимальный градиент  $\Delta A$  отмечается в недостаточно влажных районах:  $1,2^\circ/100$  м, в умеренно влажных его значение —  $0,9^\circ/100$  м и во влажных —  $0,5^\circ/100$  м.

**Показатели увлажнения.** Большой дифференциацией в пространстве отличается режим увлажнения. Разнообразие орографических условий, в первую очередь ориентация горных хребтов, их абсолютная высота, последовательность размещения по отношению к влагонесущим ветрам, является причиной разделения всей территории Западного Саяна на отдельные районы, различающиеся в итоге как по годовому количеству осадков, так и по их вертикальным градиентам.

Как отмечалось выше, выделенные по увлажнению районы совпадают с лесорастительными районами, отличающимися спектрами растительных поясов. Наиболее увлажнены районы северного наветренного макросклона, Джебашский и Амыльский (до 1700 мм осадков в год), объединенные в группу избыточно влажных районов, а также Араданский район (до 1200 мм осадков) влажной группы. Особенно разнообразна по увлажнению группа умеренно влажных районов. Она представлена Нижне-Онинским районом, который, несмотря на общую северную ориентацию макросклона, увлажнен гораздо меньше предыдущих, так как находится в дождевой тени Кузнецкого Алатау. Затем по мере убывания годового количества осадков ( $r$ ) следуют районы: Усинский (до 950 мм осадков), Сейбинский (до 800 мм), Куртушибинский (до 650 мм). Наименее увлажнены в этой группе районов котловины. В Тоджинской котловине на высотах 900—1000 м выпадает 350—380 мм осадков, в то время как на этих высотах в Сейбинском и Усинском районах выпадает 500—650 мм. Засушливостью отличаются межгорные котловины: менее 300 мм осадков в год, хотя с высотой  $r$  растет и в них (см. рис. 15, табл. 20).

Особая засушливость присуща климату Алашского плато, где в спектре поясов господствуют степи. Лишь высоко в горах (1500—2200 м) создаются условия увлажнения, достаточные для произрастания древесной растительности.

Каждый район характеризуется не только определенным количеством осадков, но и темпами нарастания их с высотой. Наибольший градиент осадков ( $\Delta r$ ) отмечается в низкогорье и среднегорье избыточно влажных районов:  $100-200$  мм/100 м. В высокогорных поясах он резко уменьшается: до  $20$  мм/100 м, так как основная масса осадков выпадает по мере продвижения воздушных масс по склону, и влагосодержание их значительно падает с приближением к высокогорью. Средний градиент годового количества осадков в группе влажных районов равен  $70$  мм/100 м, уменьшаясь в высокогорье. В группе умеренно влажных районов в зависимости от района он также изменяется от  $50$  до  $35$  мм на каждые  $100$  м. Приблизи-

Высотный пояс растительности	Абсолютная высота $H$ , м	Осадки за год $r$ , мм	Радиационный индекс сухости $I_B$	Относительное испарение $E/E_0$
<i>Группа избыточно влажных районов</i>				
Лесостепь	300—350	550—580	1,09—1,03	0,75
Светлохвойные леса	350—400	580—950	1,03—0,61	0,78
Темнохвойные леса				
черневые пихтово-кедровые	400—900	950—1400	0,61—0,37	0,78—0,90
горно-таежные пихтово-кедровые	800—1300	1400—1500	0,37—0,27	0,90
субальпийские пихтово-кедровое редколесье	1300—1800	1500—1650	0,26—0,18	0,90—0,96
Горная тундра	1800—2100	1650—1700	0,18—0,13	0,96
<i>Группа влажных районов</i>				
Светлохвойные леса	700—1000	750—950	0,71—0,50	0,77
Темнохвойные леса				
горно-таежные кедровые	700—1500	750—1200	0,71—0,29	0,80—0,92
подгольцово-таежные кедровые	1500—1800	1200—1350	0,29—0,20	0,92—0,96
Горная тундра	1800—2200	1350—1450	0,22—0,14	0,96
<i>Группа умеренно влажных районов</i>				
Степь	250—400	300—350	2,10—1,70	0,45—0,44
Лесостепь, котловины	400—800	350—550	1,70—0,97	0,44—0,52
Светлохвойные леса				
сосново-лиственничные подтаежные	500—1200	400—750	1,40—0,62	0,61—0,79
горно-таежные лиственничные	800—1500	500—800	1,07—0,52	0,68—0,79
Темнохвойные леса				
горно-таежные кедровые	1100—1600	700—850	0,71—0,47	0,79—0,88
подгольцово-таежные кедровые	1600—1900	850—950	0,47—0,35	0,88—0,92
<i>Группа недостаточно влажных районов</i>				
Степь	800—1800	250—450	2,50—1,11	—
Светлохвойные леса				
горно-таежные лиственничные	1200—2000	350—500	1,02—0,72	—
подгольцово-таежные лиственничные	2000—2200	500—600	0,75—0,58	—
Темнохвойные леса				
подгольцово-таежные кедровые и лиственнично-кедровые	1800—2200	480—600	0,75—0,50	—
Горная тундра	2200—3000	600	0,50	—

тельная оценка  $\Delta\gamma$  на Алашском плато показала, что там наблюдается его наименьшая величина: 17 мм/100 м.

Все градиенты положительны. По имеющимся данным невозможно определить уровень выпадения максимума осадков, т. е. тот уровень, на котором градиент меняет знак.

Таким образом, в Западном Саяне, как и на прилегающих горных территориях, имеются самые разнообразные условия увлажнения, которые можно представить семейством графических кривых зависимостей годового количества осадков от высоты в различных климатических районах (см. рис. 15). Характерной чертой континентального климата является выпадение основной массы осадков в летнее время: 75—90%, причем максимальный процент (90%) характеризует низкогорья и котловины.

Снежный покров распределяется по группам районов аналогично количеству осадков. Однако из-за небольшого количества станций, ведущих наблюдения за снежным покровом, и его сильной микроклиматической изменчивости, можно представить лишь общие закономерности изменения этого показателя.

На северном наветренном макросклоне отмечаются наибольшие высоты снежного покрова: 170 см (ст. Оленья Речка) в субальпийском поясе и 110 см (ст. Неожиданный прииск) в черневом. Значительно меньшие высоты снежного покрова на подветренном южном макросклоне: 40 см (ст. Нижне-Усинское) в лесостепном поясе и 65 см (ст. Арадан) в горно-таежном темнохвойном. В межгорных котловинах Тувы снега накапливается еще меньше (ст. Кызыл — 26 см, ст. Чиргаланды — 29 см). Подробно снежный покров на северном макросклоне Западного Саяна изучался А. В. Лебедевым [1982], П. М. Ермоленко, Л. Г. Ермоленко [1981].

Абсолютная характеристика увлажнения — годовое количество осадков — не дает полного представления о влагообеспеченности растений. Сопоставление увлажнения с термическими ресурсами, иначе говоря, нормировка по какому-либо термическому показателю, значительно дополняет его содержательную сторону.

Одним из показателей относительного увлажнения, несущим вполне определенный физический смысл (разд. 2.1), является радиационный индекс сухости  $I_B$ . Значение  $I_B = 1,0$  характеризует условия некоего физиологического равновесия между тепло- и влаго-ресурсами, а следовательно, оптимум влагообеспеченности. Именно такие условия создаются на границе лесостепи и светлохвойных лесов (см. табл. 20). Изменения  $I_B$  в сторону увеличения ведут к изменению типа растительности: лесной на степную, в сторону уменьшения — к изменению породного состава лесов (светлохвойные леса сменяются темнохвойными), а при дальнейшем уменьшении  $I_B$  лесной тип растительности замещается субальпийскими лугами. Границы между типами растительности определяются в среднем постоянными значениями:  $I_B = 1,15$  на границе между лесом и степью,  $I_B = 0,65$  делит диапазон простираения лесной растительности на две части: темнохвойную ( $I_B = 0,15—0,65$ ) и светлохвойную ( $I_B = 0,65—1,15$ ). Граница между лесом и тундрой определяется не индексом сухости, а теплом.

Описанные закономерности в большей степени соответствуют периодическому закону географической зональности Григорьева — Будыко [1948], согласно которому смена широтных зон растительности обусловлена определенными значениями  $I_B$ . Особенности проявления периодического закона географической зональности в Западном Саяне посвящен раздел 3.1.

Другим относительным показателем увлажнения, информативным при сопоставлении условий увлажнения, является относительное испарение ( $E/E_0$ ), характеризующее резервы испарения при данной теплообеспеченности. Как следует из табл. 20, показатель  $E/E_0$  растет с высотой, приближаясь к максимуму, равному единице, в подгольцовом поясе; он характеризует границы высотных поясов растительности и имеет определенное соответствие с радиационным индексом сухости, выраженным через испаряемость:  $I_B = E_0/r$ . Граница между степью и лесостепью определяется значением  $E/E_0 \sim 0,75$ , что соответствует  $E_0/r \sim 1,7$ . Значение  $E/E_0$ , равное 0,5, характеризует переход степей к степям опустыненного вида ( $E_0/r > 2,0$ ). Светлохвойные леса отделены от темнохвойных значениями относительного испарения 0,80. В диапазоне значений  $E/E_0 = 0,80—0,96$  располагаются темнохвойные леса; показателям более 0,96 соответствуют горные тундры.

#### 2.4. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СКЛОНОВ

Все рассмотренные выше климатические показатели характеризовали условия ровного места, под которыми в горах принято понимать платообразные участки гор. Очевидно, эти показатели не могут быть распространены на все разнообразие форм рельефа в горах: склоны, долины, водоразделы и т. д. Следующим этапом исследований явились выбор и расчет тех климатических показателей, которые могли бы характеризовать условия не только горизонтальной поверхности, но и склонов. Это, во-первых, радиационный баланс, на основе которого стал возможен расчет испаряемости и испарения, а следовательно, и относительного испарения. Во-вторых, температуры подстилающей поверхности, полученные путем решения уравнения теплового баланса по имеющимся данным радиационного баланса и испарения.

Радиационный баланс склонов изучен недостаточно. Экспериментальные методы его изучения крайне трудоемки. Кроме того, практически невозможно охватить наблюдениями большое разнообразие форм рельефа в горах. В литературе имеются отдельные данные наблюдений за радиационным балансом в некоторых элементах горного рельефа [Айзенштат, 1961, 1962; Волопина, 1964; Веремейчикова, 1962; Борзенкова, 1965, 1967; и др.]. Совместив расчетные методы с данными наблюдений, можно описать радиационные условия склонов в наиболее полном виде. Расчет радиационного баланса как алгебраической суммы его составляющих был применен

многими авторами [Аверкиев, 1939; Голубева, 1967; Денисенко, 1975; Кондратьев и др., 1978]. Этот подход опирается на теоретические и экспериментальные исследования зависимостей составляющих радиационного баланса от элементов рельефа. Аналогичный алгоритм расчета применили и мы, используя для данного региона соответствующие эмпирические коэффициенты.

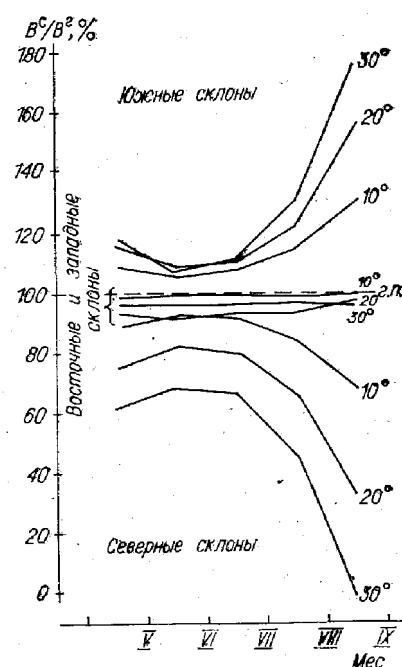
На любых склонах умеренно влажных районов и до высотного уровня 1500 м во влажных районах максимальные значения радиационного баланса  $\Sigma B^*$  наблюдаются в июне, относительно которого его годовой ход симметричен. В группе умеренно влажных районов на склонах южных экспозиций примерно одинаковые значения  $\Sigma B^*$  отмечаются в мае и июне, так как за счет значительной продолжительности солнечного сияния весной майские значения  $\Sigma B^*$  столь же высоки, как и в июне. По этой же причине в умеренно влажных районах  $\Sigma B^*$  на южных склонах в мае могут превышать на 0,5—1,0 ккал/(см<sup>2</sup>·мес) июльские значения  $\Sigma B^*$ . При наличии снежного покрова в мае и июне с увеличением высоты разность майских и июльских значений  $\Sigma B^*$  увеличивается на несколько килокалорий в месяц в пользу последних вплоть до смещения годового максимума с июня на июль.

С ростом высоты  $\Sigma B^*$  уменьшается. Изменения его незначительны по высоте и для склонов одинаковых ориентаций в месяцы без снежного покрова составляют 0,2—0,7 ккал/(см<sup>2</sup>·мес) на 1 км. Намечается определенная тенденция увеличения высотного градиента  $\Delta \Sigma B^*$  по южным склонам, где он на 0,15—0,20 ккал/(см<sup>2</sup>·мес) больше, чем на северных. Наибольший градиент  $\Delta \Sigma B^*$ , равный 0,4—0,6 ккал/(см<sup>2</sup>·мес) на 1 км, наблюдается в летние месяцы, а весной и осенью он составляет 0,2—0,3 ккал/(см<sup>2</sup>·мес) на 1 км. Значительно меняется  $\Sigma B^*$  в месяцы со снежным покровом, и разность его значений для высот 500 и 1800 м достигает 3—4 ккал/(см<sup>2</sup>·мес) весной и 1—2 ккал/(см<sup>2</sup>·мес) осенью.

Большее влияние, чем высота, на перераспределение  $\Sigma B^*$  оказывают различия склонов по крутизне и экспозиции. На склонах северных экспозиций в месяц накапливается тепла меньше, чем на горизонтальной поверхности, на южных склонах — больше. Разности  $\Sigma B^*$  между северными и южными склонами также зависят от крутизны склонов и годового хода радиационного баланса. Наибольшая разница в нагревании контрастных склонов отмечается для крутых склонов: 3,5—7,0 ккал/(см<sup>2</sup>·мес), причем меньшая цифра характеризует летние месяцы (период высокого стояния Солнца), а большая — весенние и осенние месяцы (период более низкого стояния Солнца). С уменьшением крутизны различия в нагревании склонов сопоставляемых экспозиций сглаживаются: при  $\beta = 20^\circ$  разница составляет 2,5—5,0 ккал/(см<sup>2</sup>·мес), а при  $\beta = 10^\circ$  — 1,0—2,5 ккал/(см<sup>2</sup>·мес). Наблюдается определенная асимметрия нагревания склонов по отношению к горизонтальной поверхности: разница ( $\Sigma B$ ) северных склонов в 1,5—3 раза больше, чем южных, причем знак этой разности в первом случае всегда отрицательный, во втором — положительный.

Рис. 25. Ход относительных значений радиационного баланса на склонах.

$B^*$  — баланс на горизонтальной поверхности;  $B^*$  — то же, на склонах; г. п. — горизонтальная поверхность.



Относительные значения радиационного баланса склонов (по отношению к горизонтальной поверхности) не зависят от абсолютной высоты и общей климатической обстановки: коэффициент вариации  $\Sigma B^*/\Sigma B$  в зависимости от этих факторов составляет 1—1,5%. Полученные значения  $\Sigma B^*/\Sigma B$  всегда больше 100% на южных склонах, меньше 100% на северных и около 100% на восточных и западных. При высоком стоянии Солнца (июнь, июль) различия в нагревании южных склонов и горизонтальной поверхности невелики — 5—10%. Осенью эти различия значительны и увеличиваются с ростом крутизны склонов, достигая 70% на крутых склонах (рис. 25).

По обеспеченности солнечной энергией северные склоны значительно уступают ровному месту: для крутых склонов в летние месяцы разница составляет 30—50%, увеличиваясь до 100% в сентябре.

Отношение годового радиационного баланса на склонах к горизонтальной поверхности  $\Sigma B^*_{\text{год}}/\Sigma B_{\text{год}}$  демонстрирует аналогичные закономерности облучения склонов:

Экспозиция	Крутизна, град		
	10	20	30
Север	0,86	0,71	0,53
Запад, восток	0,98	0,96	0,93
Юг	1,12	1,18	1,24

На территории юга Приморского края максимальные значения  $\Sigma B^*/\Sigma B$  за вегетационный период наблюдаются на южных склонах при крутизне  $10^\circ$  (1,02), а минимальные (0,64) — на северных [Выгодская, 1981].

Характер распределения изолиний испаряемости  $\Sigma E_0$  во всех группах районов одинаков и симметричен относительно южных экспозиций с максимальными значениями на них. Однако абсолютные значения  $\Sigma E_0$  для определенных высот отличаются по группам районов. Например, если изолиния  $\Sigma E_0 = 60$  см на южных склонах крутизной  $10^\circ$  проходит во влажных и умеренно влажных районах

на высоте 850 м, то на склонах крутизной 20° эта изолиния поднимается во влажных районах до 900 м, а в умеренно влажных — до 1000 м, на склонах крутизной 30° соответственно до 1000 и 1150 м во влажных и умеренно влажных районах. Наибольший градиент изменения  $\Delta E_0$  в зависимости от ориентации наблюдается на крутых склонах, где он почти в 3 раза больше, чем на пологих.

Высотные градиенты испаряемости на различных склонах существенно неодинаковы. Наибольшие различия отмечаются для контрастных крутых склонов: на южных склонах градиент равен 2,7 см/100 м, на северных — 0,8. На более пологих склонах эти показатели составляют соответственно 2,1 и 1,5 см/100 м для южных и северных склонов.

Влияние крутизны на склонах различных ориентаций противоположно: на южных склонах  $\Sigma E_0^*$  растет с увеличением крутизны, на восточных и западных несколько уменьшается, на северных резко падает.

Отношения  $\Sigma E_0^*/\Sigma E_0$ , согласно формуле (18), можно рассматривать как отношения  $\Sigma B^*/\Sigma B$ . Они необходимы при пересчетах  $\Sigma E_0$  с ровного места на склоны. Отношения  $\Sigma E_0^*/\Sigma E_0$  обладают важным свойством: не зависят от абсолютной высоты и определяются экспозицией и крутизной склонов. Они несколько увеличиваются в более сухом климате умеренно влажных и недостаточно влажных районов. Аналогичную закономерность отметила Е. Н. Романова [1977], указав, что отношения  $\Sigma E_0^*/\Sigma E_0$  очень медленно нарастают к югу, т. е. с уменьшением увлажнения.

Испарение имеет более сложный, нежели испаряемость, характер распределения в пространстве. В условиях неограниченного увлажнения при наличии достаточных тепловых ресурсов (в пределах высот 500—1000 м)  $\Sigma E$  в избыточно влажных районах превышает  $\Sigma E$  в умеренно влажных как за месяц, так и в сумме за теплый период. Особенно заметны различия в испарении в низкогорьях контрастных по увлажнению районов, где испаряемость одинаково высока и испарение полностью определяется наличием влаги в почве. Поскольку наибольшее количество влаги скапливается в нижних частях склонов, именно здесь различия  $\Sigma E^*$  во влажных и умеренно влажных районах достигают наибольших значений: 12—15 см/пер. В более сухих верхних и средних частях склонов эти различия составляют 7—12 см/пер.

По мере увеличения высоты различия в испарении с одноименных склонов в разных группах районов сглаживаются, так как количество осадков с высотой растет, и испарение в умеренно влажных районах не ограничивается влагозапасами в почве, а определяется лишь энергетическими ресурсами.

На высоте 1500 м  $\Sigma E^*$  во всех группах районов выравнивается и только на относительно сухих верхних и средних частях южных склонов во влажных районах по-прежнему выше, чем в умеренно влажных. С увеличением высоты до 1800 м в силу больших энерго-ресурсов в группе умеренно влажных районов на склонах всех экс-

позиций, кроме южной, влаги испаряется больше, чем во влажных районах. На южных склонах испарение по-прежнему регулируется влагозапасами в почве, которые в избыточно влажных районах превышают таковые в умеренно влажных районах (табл. 21).

Несмотря на повышенную испаряемость на южных склонах, испарение на них из-за меньшего содержания влаги в почве меньше, чем на северных. Наибольшие  $\Sigma E^*$  наблюдаются на северных некрутых склонах в нижних частях в июне и июле. Именно здесь в это время отмечаются значительная испаряемость и аккумуляция влаги, что способствует усиленному испарению. Можно предполагать, что именно эти местообитания благоприятны для произрастания и продуцирования растительности.

Влияние крутизны склонов на испарение проявляется неоднородно и зависит от ориентации. Значительно уменьшается  $\Sigma E^*$  на более крутых ( $\beta = 20^\circ$ ) северных склонах по сравнению с более пологими ( $\beta = 10^\circ$ ): разница составляет 1,2—1,4 см/мес в летние месяцы, а в целом за теплый сезон — 4,0—5,3 см/пер. На восточных и западных склонах это влияние крутизны незначительно: увеличение крутизны на  $10^\circ$  дает уменьшение испарения лишь на 10—15%. На южных склонах с увеличением их крутизны  $\Sigma E^*$  несколько увеличивается, поскольку существенно растут энергоресурсы.

Разности испаряемости и испарения ( $E_0^* - E^*$ ), или иначе дефицит увлажнения, представлены в табл. 22. В более сухом климате умеренно влажных районов дефицит увлажнения на одноименных склонах на 5—10 см/пер. больше, чем во влажных районах, достигая наибольших значений в верхних и средних частях склонов южных экспозиций. Наименьшие различия ( $E_0^* - E^*$ ) отмечаются в нижних частях северных пологих склонов, причем в группе избыточно влажных районов на этих склонах испарение равно испаряемости на всех высотных уровнях. По критерию, разработанному Е. Н. Романовой [1977], увлажнение является недостаточным, если дефицит увлажнения равен 30 см/пер. и более. Как видно из табл. 22, недостаточно увлажненными являются верхние и средние части южных склонов на всех высотах в умеренно влажных районах и до высоты 400 м в избыточно влажных. В нижних частях склонов недостаток увлажнения имеется лишь в низкогорье умеренно влажных районов. Остальные элементы рельефа можно отнести к до-

Таблица 21

Разности испарения на одноименных склонах в избыточно влажных и умеренно влажных районах за теплый сезон, см/пер.

Абсолютная высота Н, м	Ориентация склона	Верхняя и средняя части склона	Нижняя часть склона
500	С	8	15
	В, З	8	15
1000	Ю	12	12
	С	0,5	7
1500	В, З	1	4,5
	Ю	8	2
1800	С	0	4
	В, З	0	3
1800	Ю	4	0,5
	С	-1,5	1,5
	В, З	-1,5	0
	Ю	3,0	-1,5

Таблица 22

Дефицит увлажнения ( $E_0 - E$ ) на склонах за теплый период, см/пер.

Абсолютная высота $H$ , м	Верхняя и средняя части склона		Нижняя часть склона		Верхняя и средняя части склона		Нижняя часть склона	
	Крутизна, град							
	10	20	10	20	10	20	10	20
<i>Группа избыточно влажных и влажных районов</i>					<i>Группа умеренно влажных районов</i>			
500								
С	11,6	9,4	0	0	26,6	21,6	17,9	14,4
В, З	17,5	16,7	1,5	0	35,8	34,5	25,8	24,8
Ю	28,2	29,2	13,2	13,1	48,7	50,6	35,7	36,7
1000								
С	10,8	8,6	0	0	12,6	10,1	2,1	1,5
В, З	17,6	17,2	2	2	21,5	20,6	9,5	9,0
Ю	25,9	27,2	13,4	13,9	34,3	35,3	18,6	18,7
1500								
С	10,3	7,8	0	0	15,1	12,1	5,9	4,5
В, З	17,3	16,0	3,7	3,0	23,6	22,9	12,9	12,3
Ю	24,8	26,8	12,9	14,0	35,5	36,4	21,6	21,4
1800								
С	11,6	9,1	0	0	16,5	12,2	7,8	4,9
В, З	18,1	17,3	6,3	5,9	24,2	23,2	14,3	13,7
Ю	25,9	28,0	15,6	17,1	35,7	37,4	22,8	23,6

статочны и избыточно увлажнены. В сравнении с ровным местом лишь в нижних частях склонов испаряется больше влаги, а в верхних и средних частях склонов любых экспозиций испарение меньше (табл. 23). На южных склонах, несмотря на повышенную испаряемость, в итоге за теплый период испарение меньше, чем на ровном месте. Это подтверждает значение коэффициента увлажнения южных склонов, которое значительно меньше единицы. Влагозапасы на северных склонах близки к таковым на ровном месте, но из-за пониженной испаряемости испарение на них меньше, чем на ровном месте. В нижних частях склонов всех ориентаций за счет больших запасов влаги испарение на них меньше, чем на ровном месте.

Изменение относительного испарения  $E^*/E_0^*$ , характеристики влажности почвы на различных склонах и высотах следующее. При одинаковых формах рельефа во влажных районах влажность почвы всегда на 20—30% выше, чем в умеренно влажных районах. Северные склоны всегда увлажнены больше, чем южные, причем в группе влажных районов это различие составляет 30—40%, а в группе умеренно влажных достигает 60%. Нижние части склонов одинаковой ориентации на 30—40% влажнее верхних и средних частей склонов. С увеличением высоты растет и относительное увлажнение почвы. Во влажных районах изменение влажности почвы с высотой со-

Таблица 23

Разности испарения ( $E$ ) на склонах и на горизонтальной поверхности, см/пер.

Абсолютная высота $H$ , м	Верхняя и средняя части склона		Нижняя часть склона		Верхняя и средняя части склона		Нижняя часть склона	
	Крутизна, град							
	10	20	10	20	10	20	10	20
<i>Группа избыточно влажных и влажных районов</i>					<i>Группа умеренно влажных районов</i>			
500								
С	-5,3	-10,6	12,8	4,1	-4,6	-8,6	4,8	-0,9
В, З	-6,7	-8,2	10,1	8,6	-6,2	-7,0	3,9	2,9
Ю	-11,7	-9,9	3,7	6,6	-13,5	-12,5	1,3	3,4
1000								
С	-4,7	-9,7	11,8	6,1	-5,4	-10,3	5,7	-1,1
В, З	-6,7	-8,5	9,2	8,1	-7,6	-8,4	4,5	3,4
Ю	-9,5	-7,6	3,4	6,1	-16,3	-15,0	1,6	4,1
1500								
С	-3,9	-8,4	10,2	3,4	-5,0	-9,3	5,0	-1,1
В, З	-5,6	-6,3	8,2	6,9	-6,8	-7,7	4,1	3,2
Ю	-9,3	-7,7	3,0	5,4	-14,6	-13,5	1,3	3,6
1800								
С	-3,5	-7,4	8,8	2,9	-4,6	-8,6	4,7	-0,9
В, З	-5,2	-5,7	7,0	6,0	-6,2	-7,2	3,9	2,8
Ю	-8,1	-6,7	2,5	4,5	-13,5	-12,4	1,2	3,4

ставляет 0,04—0,05 см/500 м, в умеренно влажных районах градиент влажности почвы неодинаков по высоте: до высоты 1 км он равен 0,10—0,15 см/500 м на верхних и средних частях склонов и 0,20—0,25 см/500 м на нижних. На высотах более 1 км он значительно уменьшается: до 0,02—0,03 см/500 м в верхних и средних частях склонов и 0,03—0,04 см/500 м в нижних.

На особую роль температуры подстилающей поверхности в горах указывают Ф. Ф. Давитая и Ю. С. Мельник [1962]. Они установили, что термическая граница древесной растительности в горах и на равнина существенно различается по сумме температур воздуха выше 10° и определяется суммами температур подстилающей поверхности, т. е. поверхности растительного покрова.

Различия в температуре растительного покрова и воздуха в значительной мере определяются соотношением составляющих теплового баланса местообитаний, представленных формами рельефа. Эти различия мало меняются по высоте, а зависят в основном от ориентации склонов, определяющей энергоресурсы местообитания, и положения на склоне, регулирующего влагозапасы в почве. В среднем за месяцы (май — сентябрь) эти различия составляют (град/мес):

	Верхняя и средняя часть склона	Нижняя часть склона
Север	3—6	0—2
Юг	7—10	4—6

Таблица 24

Разности сумм температур ( $\Delta\Sigma t$ ) поверхности растительности ( $\Sigma t_{\omega}$ ) и воздуха ( $\Sigma t_{\omega}$ ), град

Абсолютная высота Н, м	$\Sigma t_{\omega}$	$\Sigma t$	$\Delta\Sigma t$
------------------------	---------------------	------------	------------------

*Группа избыточно влажных и влажных районов*

500	1975	1500	475
1000	1180	950	230
1500	720	500	220
1800	515	300	215

*Группа умеренно влажных районов*

500	2175	1650	525
1000	1400	1100	300
1500	900	650	250
1800	635	400	235

можно охарактеризовать лишь по температуре подстилающей поверхности ( $t_{\omega}$ ) (см. разд. 2.1.3). Разности  $\Delta t_{\omega}$  на склонах и ровном месте велики в верхних и средних частях южных склонов и в нижних частях северных склонов (2—3°), причем на северных склонах они всегда отрицательны, а на южных — положительны. В течение теплого периода разности  $\Delta t_{\omega}$  увеличиваются с уменьшением средних высот Солнца, достигая в сентябре наибольших значений на крутых склонах южных экспозиций. Наименьшие разности  $\Delta t_{\omega}$  отмечаются в период высокого стояния Солнца: в июне и июле.

В более сухом климате умеренно влажных районов температура подстилающей поверхности  $t_{\omega}$  на 0,5—1,5° превышает таковые на одноименных склонах во влажных районах. С увеличением высоты  $t_{\omega}$  изменяются гораздо меньше (в среднем на 0,7° на 1 км), чем при изменении экспозиции склона с северной на южную, которое дает увеличение  $t_{\omega}$  на 4°.

На основании полученных значений были построены гистограммы  $t_{\omega}$  за теплый период для разных форм рельефа (всего 104 варианта), с которых снимали производные термические характеристики подстилающей поверхности: даты перехода  $t_{\omega}$  через 10°, продолжительность периода с этими температурами, суммы  $\Sigma t_{\omega}$ , накопленные за определенные периоды.

На основании гистограмм получены изменения средних многолетних дат перехода  $t_{\omega}$  через 10° на склонах в сравнении с ровным местом. На более сухих верхних частях склонов северных экспозиций в сравнении с ровным местом происходит запаздывание наступления  $t_{\omega} = 10^{\circ}$  на 2—4 дня весной и более раннее наступление на 4—6 дней осенью (табл. 25). На южных склонах в аналогичных условиях увлажнения наступление указанных температур происходит на 4—7 дней раньше весной и 6—10 дней позже осенью, чем на ров-

По наблюдениям А. В. Павлова [1984] в Якутске разности температур подстилающей поверхности кроны сосны и воздуха в дневные часы всегда положительны и достигают 4°, а ночью всегда отрицательны и по абсолютной величине превышают дневные значения.

Разности сумм температур растительного покрова и воздуха в течение теплого времени года всегда положительны; величина их зависит от высоты (с ее увеличением разности сглаживаются) и общей влажности климата (разности больше в сухом климате) (табл. 24).

Как указывалось выше, термический режим склонов

Таблица 25

Изменения дат наступления температур подстилающей поверхности выше 10° на различных склонах по сравнению с ровным местом (северный макросклон)

Сезон	Абсолютная высота Н, м	Северный склон				Ровное место (дата наступл.)	Южный склон			
		Верхняя часть		Нижняя часть			Верхняя часть		Нижняя часть	
		20°	10°	20°	10°		10°	20°	10°	20°
Весна	500	4	1	13	12	5.V	-4	-4	2	2
	1800	3	2	14	14	17.VI	-7	-7	1	2
Осень	500	-7	-6	-12	-9	20.IX	6	6	-1	0
	1800	-4	-2	-11	-11	17.VIII	9	12	-5	-3

ном месте. На влажных нижних частях склонов процессы прогревания подстилающей поверхности замедляются, так как значительная часть радиационного баланса расходуется на испарение, а его меньшая часть идет на прогревание. И даже на склонах южных экспозиций из-за значительных запасов снега в нижних частях склонов весной происходит запаздывание перехода  $t_{\omega}$  через 10° по сравнению с ровным местом на 1—2 дня. Осенью на нижних частях южных склонов переход  $t_{\omega}$  через указанный предел происходит на 1—5 дней раньше (в зависимости от высоты), чем на ровном месте. Следует отметить, что крутизна склонов незначительно влияет на прогревание подстилающей поверхности.

Приведенные расчетные данные хорошо согласуются с экспериментальными материалами. По наблюдениям Н. И. Молоковой в Западном Саяне наступление всех фенологических явлений в весенний период в черневом поясе (300—500 м) на северных склонах запаздывает по сравнению с южными в среднем на 4—6 дней. По расчетам это запаздывание составляет 5—8 дней. В долине ручья, условия увлажнения которого можно приравнять к нижним частям склонов, разница в наступлении феноявлений на противоположных склонах составляет по наблюдениям 12—14 дней, а по расчетам 14. Такое хорошее согласование расчетных и фенологических данных заставляет предполагать определенный биологический смысл сумм температур подстилающей поверхности: в весенний период подстилающая поверхность представлена в основном почвой, прогревание которой обуславливает сезонное развитие растений.

В целом за счет дополнительного тепла на южных склонах возможно сокращение периода с фиксированными суммами температур выше 10° в сухих местообитаниях на 10—17 дней в сравнении с ровным местом. На северных склонах в таких же условиях увлажнения отмечается удлинение этого периода на 7—11 дней. Во влажных местообитаниях необходимая для вегетации растений сумма  $\Sigma t_{\omega}$  накапливается на южных склонах за такой же период, что и на ровном месте, а на северных склонах — на 25 дней дольше, чем на ровном месте (табл. 26).

Таблица 26

Возможное изменение продолжительности периода с температурами подстилающей поверхности выше  $10^{\circ}$  (вегетационного периода) на различных склонах по сравнению с ровным местом (северный макросклон), дни

Абсолютная высота $H$ , м	Северный склон				Ровное место (продолжительность периода)	Южный склон			
	Верхняя часть		Нижняя часть			Верхняя часть		Нижняя часть	
	$20^{\circ}$	$10^{\circ}$	$20^{\circ}$	$10^{\circ}$		$10^{\circ}$	$20^{\circ}$	$10^{\circ}$	$20^{\circ}$
500	11	7	25	21	140	-10	-10	1	2
1300	7	4	25	25	62	-16	-19	-4	-1

На рис. 26 показаны разности сумм температур подстилающей поверхности на склонах и горизонтальной поверхности. На южных склонах в верхних и средних частях в низкогорье влажных районов аккумулируется на  $300^{\circ}$  тепла больше, чем на ровном месте. Еще большие различия в нагревании склонов и горизонтальной поверхности наблюдаются в группе умеренно влажных районов: более  $400^{\circ}$ . С увеличением высоты разница в нагревании склонов и ровного места уменьшается в 2—3 раза. Верхние и средние части северных склонов в термическом отношении незначительно отличаются от ров-

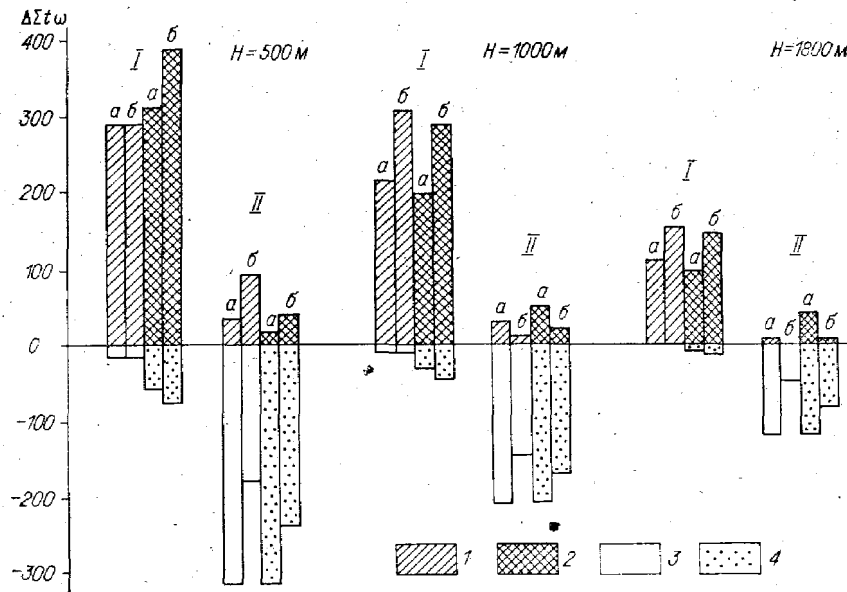


Рис. 26. Разности сумм температур подстилающей поверхности за период с температурой воздуха выше  $10^{\circ}$  на склонах и на ровном месте.

1, 2 — южные склоны крутизной 10 и  $20^{\circ}$ ; 3, 4 — северные склоны крутизной 10 и  $20^{\circ}$ ; I — верхние и средние части склонов, II — нижние; а — влажные районы, б — умеренно влажные.

ного места (на  $60-90^{\circ}$ ) в нижних полосах и практически не отличаются от ровного места в высокогорье, так как в этих условиях рельефа создаются одинаковые условия для испарения. В нижних частях северных склонов накапливается тепла существенно меньше, чем на горизонтальной поверхности, так как значительная часть энергоресурсов тратится на испарение влаги, для аккумуляции которой в пониженных формах рельефа создаются наилучшие условия. В нижних частях южных склонов  $\Sigma t_w$  незначительно превышает таковые на ровном месте.

Влияние крутизны склонов на накопление тепла сказывается значительно меньше, чем ориентация. Например, разница в суммах  $\Sigma t_w$  на склонах крутизной  $10-20^{\circ}$  составляет  $5-30^{\circ}$ , что находится в пределах точности расчета сумм по гистограммам. Разности, обусловленные сменой ориентации с северной на восточную или западную, равны  $140-190^{\circ}$  в низкогорье и  $50^{\circ}$  в высокогорье, а с северной на южную —  $300-370$  и  $100^{\circ}$  соответственно для низко- и высокогорья.

Наши данные о нагревании склонов различных ориентаций отличаются от данных З. И. Мищенко [1967] и М. И. Будыко [1971]. Полученные ими температуры и суммы температур подстилающей поверхности обладают некоторой симметричностью относительно горизонтальной поверхности, так как расчеты были выполнены в предположении равного испарения с горизонтальной поверхности и со склонов. Последующими исследованиями Е. Н. Романовой [1977] было показано, что испарение со склонов существенно неодинаково и определяется значениями коэффициента увлажненности  $K_w$ . Но так как значения последнего для средних и верхних частей склонов и ровного места близки между собой, а  $K_w$  южных склонов значительно меньше, испарение с северных склонов и горизонтальной поверхности почти одинаково, а с южных склонов меньше, чем с горизонтальной поверхности. Следовательно, на южных склонах большая часть радиационного баланса расходуется на нагревание подстилающей поверхности, а северные склоны и горизонтальная поверхность прогреваются меньше, так как основная часть тепла расходуется на испарение.

В заключение этого раздела следует отметить, что выявленные различия склонов имеют бесспорное экологическое значение. Его можно оценить, например, в сравнительно-географическом плане. Для умеренно влажных районов экспозиционные различия северных и южных склонов по тепло- и влагообеспеченности настолько велики, что могут привести к сосуществованию горных степей и тайги без промежуточных зональных подразделений растительности: лесостепи и подтайги. Для влажных районов склоны различных экспозиций менее контрастны: тип растительности или даже группа формаций остаются неизменными, а различия проявляются на уровне продуктивности и групп типов леса.

Наиболее резкие различия типологического состава и продуктивности древостоев, сезонного развития растений отмечаются между плейфами и нижними частями склонов северных экспозиций

и верхними частями южных склонов соответственно началом и концом экологического ряда тепло- и влагообеспеченности.

Отраженные в настоящей главе показатели климата будут использованы далее при анализе связей между растительностью и климатом.

### ГЛАВА 3

## АНАЛИЗ СВЯЗИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА

### 3.1. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ОРДИНАЦИЯ ШИРОТНЫХ ЗОН И ВЫСОТНЫХ ПОЯСОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Климатические факторы, в конечном итоге охватывающие три основных экологических понятия — «свет», «тепло» и «влага», являются теми внешними регуляторами, под контролем которых происходят как физиологические и биохимические процессы в отдельных организмах, так и биогеоценозические и почвенно-геохимические процессы, формирующие крупные природные образования — ландшафтные зоны, высотные пояса и т. д.

Идея зональности, как следует из исторической справки Ф. Н. Милькова [1977], является одной из старейших в географической науке. Более чем за полтора века до оформления учения о природной зональности в его современном представлении появились первые попытки увязать сложные взаимодействия между климатом, растительностью и животным миром в виде зон растительности, обусловленных климатом.

Свое четкое выражение идея зональности получила на рубеже XIX—XX столетий в трудах В. В. Докучаева, который обосновал зональность как всеобщий закон природы, уделяя большое внимание обусловленности географической зональности не только факторами тепла и влаги, но и их соотношением.

Развитие докучаевского направления продолжили его ученики Г. Н. Высоцкий и А. К. Краснов. В последние годы Ф. Н. Мильковым [1977] на основе идеи Д. Г. Вилленского было разработано учение об аналогичных рядах (группах) в ландшафтных зонах в зависимости от баланса влаги.

Остановимся несколько подробнее на рассмотрении ординаций зон растительности в гидротермических координатах. В начале нашего века Кеппен (по [Tivi, 1971]) на основании средних годовых и месячных значений осадков и температур выделил пять климатических регионов, которые соответствовали пяти регионам растительности. Основные влажные лесные климаты в его ординации разграничивались на основе термического фактора, граница между ними и сухими климатами определялась «эффективными» осадками, т. е. отношением осадков к испарению.

Позже американский климатолог Торнтвайт (по [Tivi, 1971]) определил границы климатов и соответствующих им типов растительности по комбинации трех критериев: эффективности осадков (отношение месячных осадков к месячному испарению  $r/E$ ), эффективности температур (отношение средних месячных температур к месячному испарению  $t/E$ ) и сезонного распределения осадков. Он выделил пять климатических провинций по влажности и шесть — по термике. Из схемы Торнтвайта следует, что в достаточно теплом климате границы между типами растительности определяются факторами относительного увлажнения, а в прохладном и холодном — термическим фактором. В схеме не отражена область холодного и сухого климата, в современное время имеющего место лишь в горных условиях.

Схема классификации растительных формаций Холдриджа (по [Риклефс, 1979]) выполнена в виде трапеции. Изменение основных компонентов происходит по трем направлениям: годовому количеству осадков, средней годовой биотемпературе (при расчете которой все отрицательные температуры принимались за нулевые) и потенциальной эвапотранспирации (отношению испаряемости к осадкам). Эта схема интересна тем, что в ней отражена и горная растительность, но область ее распространения сужена по фактору увлажнения. Как известно, с увеличением высоты в горах не только уменьшается температура воздуха, но и нарастает количество осадков, что в схеме отражено неполно. В отличие от равнины появляется область холодного и влажного климата со свойственной ему высокогорной растительностью. Очевидно, трапеция Холдриджа должна быть расширена до параллелограмма.

Схемы Уиттекера [1980]; Волобуева (по [Букштынов и др., 1981]) даны в координатах средней годовой температуры воздуха и годового количества осадков. В схеме Константинова—Сакали [1967] в качестве осей ординации использованы средняя годовая температура и влажность воздуха. А. М. Рябчиков [1968, 1972] в показателе увлажнения использовал «валовое увлажнение» (осадки минус сток), которое нормировал по радиационному балансу.

Детальному анализу литературы (преимущественно иностранной) по вопросу связей зональных категорий растительности с климатическими факторами, выраженными различными гидротермическими показателями, посвящены работы финского геоботаника С. Туканена [Tuukkanen, 1980; 1984]. Во всех работах ординации зон растительности проводились в основном по температуре воздуха, количеству осадков и соотношению этих факторов, получившему название индекса относительного испарения и выраженному либо непосредственно через указанные показатели, либо через осадки и испаряемость. Существует достаточно много эмпирических индексов увлажнения, включающих в качестве энергетического фактора испаряемость. В силу недостатка наблюдений за этой характеристикой, а также трудностей физической интерпретации показаний испарителей, которые использовались для определения испаряемости, было разработано значительное количество расчетных методов, где испаряемость определялась через другие метеорологические показатели



[Будыко, 1971]: 1) по дефициту влажности воздуха, 2) по температуре воздуха, 3) по радиационному балансу. Первые две группы индексов региональны, и применение их в других районах вызывает резкое несоответствие растительных зон определенным значениям индексов увлажнения.

Третья группа индексов основана на оценке испаряемости через радиационный баланс. Идея обусловленности физико-географических процессов и уровня интенсивности их развития радиационными факторами климата в связи с условиями увлажнения была высказана известным советским географом А. А. Григорьевым [1946, 1954]. Это предположение теоретически доказал М. И. Будыко [1956] путем совместного решения уравнений теплового и водного балансов. Сочетание относительных и абсолютных значений членов теплового и водного балансов определяется соответственно параметрами: индексом сухости ( $I_B$ ) и радиационным балансом ( $B$ ).

Обусловленность смены географических зон этими двумя параметрами отразилась в закономерности, которую можно сформулировать следующим образом: в пределах широтного пояса существует соответствие границ природных зон изолиниям определенных значений  $I_B$ . Значениям  $I_B$  до 1/3 соответствует тундра, от 1/3 до 1,0 — лесная зона, от 1 до 2 — степная, от 2 до 3 — полупустынная, более 3 — пустынная. В различных широтных поясах одинаковым значениям  $I_B$  соответствуют природные зоны, сходные по ряду признаков.

Таким образом, закономерность размещения границ основных природных зон по определенным значениям радиационного индекса сухости проявляется во всех основных географических поясах: умеренном, субтропическом, тропическом, что придает этой закономерности статус закона природы, получившего название «периодического закона географической зональности». Общая схема его была отображена М. И. Будыко [1971] в «Таблице географической зональности».

Как показал Ф. Н. Мильков [1977], в «Таблице географической зональности» Григорьева—Будыко есть существенный недостаток: в один радиационный ряд поставлены арктическая пустыня, тундра, северная, средняя и южная тайга, смешанные леса, лиственные леса, лесостепь, полупустыня умеренного пояса. А эти зоны относятся к принципиально различным географическим циклам биострома: полярному и умеренному. Дифференциация типов ландшафтов в полярном цикле связана с термическим фактором, в умеренном — с увлажнением. Поэтому Ф. Н. Мильков дает поправку к «Таблице географической зональности» в виде схемы «Периодической системы географических зон» [Мильков, 1977, с. 12], где в полярном поясе зоны-аналоги выделяются по термическим условиям, а в умеренном, субтропическом поясах — по увлажнению.

Однако ни «Таблица географической зональности» Григорьева—Будыко, ни «Периодическая система географических зон» Милькова не содержат данных по горным территориям. Расчет и построение мировых карт  $I_B$  были произведены М. И. Будыко [1955] лишь для равнин. В горных речных бассейнах с резким изменением характера

подстилающей поверхности далеко не всегда выполняется уравнение связи [Будыко, 1956], которое использовалось им для теоретического обоснования основных факторов географической зональности.

В силу этих причин в литературе крайне мало работ по подтверждению закона географической зональности (высотной поясности) в горах, хотя высотная поясность как проявление общей дифференциации природных условий в горах известна с начала XIX в. с появлением работ Гумбольдта.

Для ординации вертикальных поясов растительности обычно используются различные оси координат: средняя годовая температура воздуха и осадки [Уиттекер, 1980; и др.], суммы температур выше 10° и осадки [Гребенщиков, 1972; 1974; Поликарпов, Назимова, 1976; Назимова и др., 1981]. Оси могут быть представлены качественными показателями [Родионов, 1976], косвенно характеризующими степень тепло- и влагообеспеченности.

Ординационные построения высотных поясов растительности в осях  $\Sigma B_{\text{год}}$  и  $I_B$  представляют собой по сути проверку выполнения периодического закона географической зональности в горах. Такие очень немногочисленные построения представлены, например, в работах Б. А. Айзенштата [1966] и И. И. Борзенковой [1967]. В них подчеркивается, что меняющиеся с высотой и на различных склонах климатические условия являются причиной смены поясов растительности и почв, а соотношение тепла и влаги, выраженное индексом сухости, определяет границы между высотными поясами.

Из иностранной литературы, посвященной вопросам климатической обусловленности высотных поясов растительности в горах [Obado, 1969; Ciancio, 1971; Hartmann, 1972; Lauer, 1973; Sinch, 1973; Yim, 1977; и др.], на наш взгляд, наиболее полным, географически и экологически обоснованным является исследование С. Синха [Sinch, 1973], проведенное им в горных районах провинции Уттар-Прадеш в Индии. Здесь представлены почти все типы климата, который характеризовался в соответствии со схемой Торнтвайта. В качестве показателя влагообеспеченности использовался показатель потенциальной эвапотранспирации, близкий, по существу, к индексу сухости Будыко. Автором сделан вывод о том, что увлажнение является главным фактором, контролирующим распределение типов растительности и потенциал роста растений. Но в субарктических зонах, так же как в высокогорье, термический контроль оказывается принципиально более важным.

Таким образом, ординационные построения вертикальных поясов растительности, выполненные в координатах  $I_B$  и  $\Sigma B_{\text{год}}$  (или по физической сути близких к ним), убеждают в том, что периодический закон географической зональности, выведенный для широтных зон, принципиально выполняем и в горах.

Более полная и последовательная, чем предыдущие попытки, проверка периодического закона географической зональности в горах была сделана в работах Е. А. Садовничей и авторов на примере распределения высотных поясов растительности в Западном Саяне [Садовничая, Чебакова, 1978; Назимова, Садовничая, Чебакова, 1985].

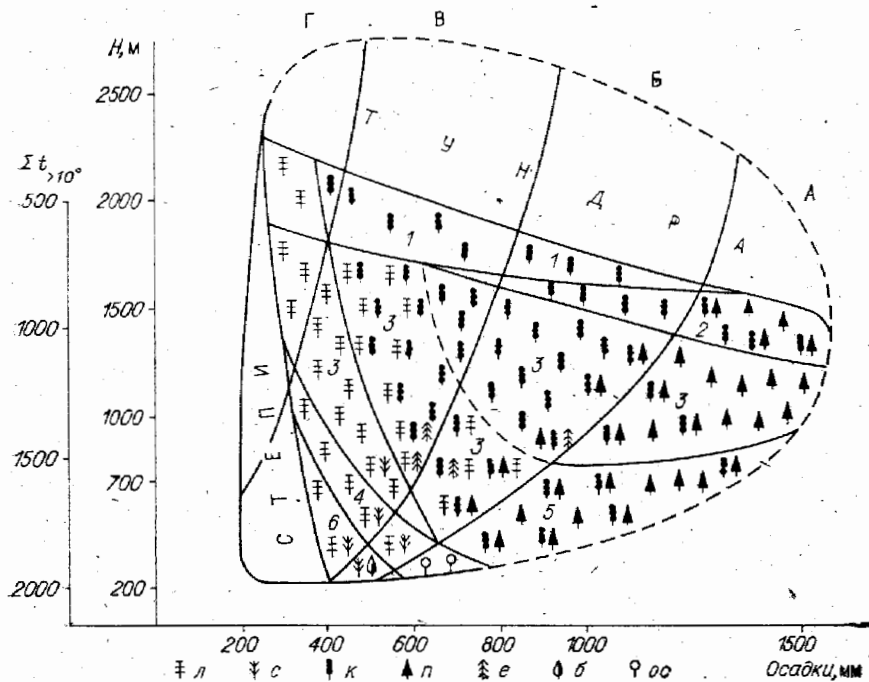


Рис. 27. Высотные пояса растительности Южной Сибири в системе гидротермических координат.

Районы: А — избыточно влажные, Б — влажные, В — умеренно влажные, Г — недостаточно влажные; к — кедр, п — пихта, е — ель, л — лиственница, с — сосна, б — береза, ос — осина; 1 — подгорьцовая тайга; 2 — субальпийские леса; 3 — горная тайга; 4 — подтайга; 5 — горно-черневые леса; 6 — лесостепь.

Первое обобщение связей растительности и климата для гор Южной Сибири было проведено Н. П. Поликарповым и Д. И. Назимовой [1976] в виде ординации высотных поясов растительности по градиенту тепла и влаги, выраженным суммами активной температуры и годовыми суммами осадков (рис. 27). Позже были построены многомерные схемы ординации поясов растительности в поле климатических параметров [Назимова, Молокова, Джансеитов, 1981] и показано, что они полностью подтверждают полученную картину и при этом не обладают какими-либо существенными преимуществами перед выполненной ранее. И в случае 16-мерного, и в случае 5-мерного пространства признаков основной вклад в интегральные оси главных компонент давали признаки тепло- (ось  $Y_1$ ) и влагообеспеченности (ось  $Y_2$ ). Лучшие результаты дала 5-мерная схема, в которой ось  $Y_2$  в интегральном виде отразила изменения абсолютного и относительного увлажнения и континентальности, связанные обратной коррелятивной связью. В сумме первые две оси главных компонент взяли на себя 86% общей дисперсии, т. е. обеспечили надежный результат. Обе схемы многомерной ординации, спроектированные на

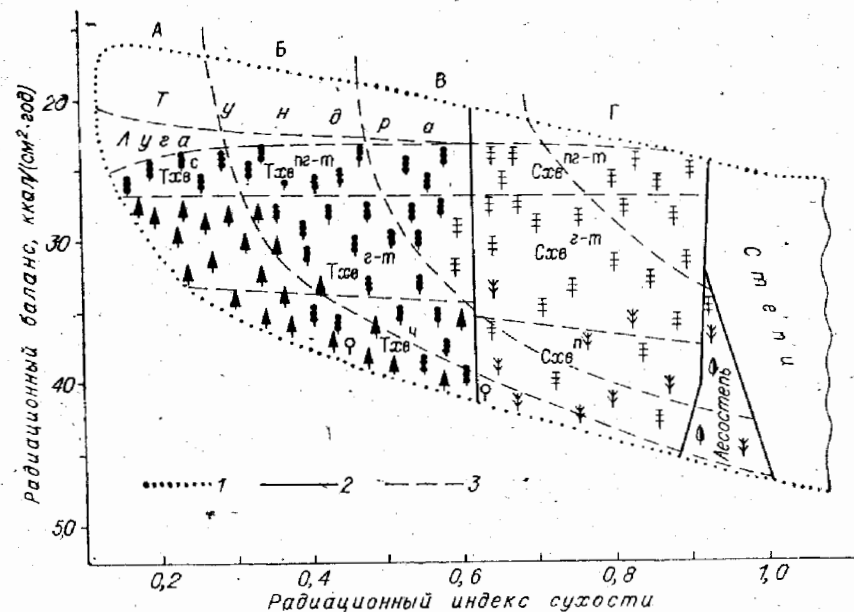


Рис. 28. Схема высотной поясности растительности Западного Саяна в координатах радиационного баланса и индекса сухости.

Ткв — темновойный пояс; Схв — светловонойный пояс. Подпояса: ч — черневой, гт — горно-таежный, с — субальпийский, п-т — подгорьцово-таежный, п — подтаежный. Границы: 1 — реально встречающихся значений В и  $I_D$ , 2 — поясов, 3 — подпоясов, Ост. обозн. см. рис. 27.

плоскость, показали очень хорошее совпадение между собой и со схемой, построенной всего по двум признакам, использованным ранее.

Таким образом, можно считать доказанным, что тепло- и влагообеспеченность и различия в их соотношении являются теми основными системообразующими факторами, которые определяют высотнопоясные категории лесной и нелесной растительности в горах Южной Сибири. Вопрос сводится лишь к выбору наиболее информативных признаков для их определения.

Наш опыт работы с данными «Справочников по климату СССР» [1966—1970], как и опыт других авторов [Карты эколого-фитоценологических комплексов..., 1977], показывает, что недоучет почвенной влаги, обязанной своим происхождением мерзлоте, может приводить к неоднозначности связей. Количественное выражение связей растительности с климатом, кроме того, как показывают схемы разных авторов, изменяется, поскольку ни тепло, ни влага, выраженные в абсолютных единицах, не могут однозначно характеризовать границы поясов растительности.

Картина может измениться, если на данную систему координат наложить дополнительную ось — ось относительного увлажнения, например, ГТК по Селянинову, или коэффициент увлажнения по Мезенцеву. Тогда становится ясно видно, что границы между высот-

ными поясами и даже группами формаций (темно- и светлохвойной) следуют определенным значениям этих показателей.

Следующим этапом исследований явилось построение ординации высотных поясов растительности в координатах  $I_B$  и  $\Sigma B_{год}$ , что явилось одновременно проверкой выполнения закона географической зональности Григорьева—Будыко для гор.

После необходимого этапа полевых исследований нами были рассчитаны значения  $\Sigma B_{год}$  и  $I_B$  для каждой границы между соседними поясами с учетом ее высотной и экспозиционной принадлежности. За основу была взята структура высотной поясности растительности в Западном Саяне, изученная для каждого лесорастительного района Д. И. Назимовой [1968, 1975]. Полученные значения нанесены на график с координатами  $\Sigma B_{год}$  и  $I_B$  и построена схема высотных поясов растительности в Западном Саяне (рис. 28).

На рисунке достаточно четко обозначились области господства степи, леса и альпийско-горнотундровой зоны, представляющие собой высотно-поясные категории растительности самого крупного порядка, сопоставимые с географическими широтными зонами в схеме Григорьева—Будыко. В географической литературе их было предложено называть высотными зонами [Гвоздецкий, 1957], в отличие от более узко понимаемых высотных поясов, которые представляют собой, как правило, их части (в одном спектре поясности) или варианты их (при сравнении спектров между собой). Наиболее мелкие таксоны (подпояса) в пределах высотных зон соответствуют высотно-поясным комплексам типов леса и их классам.

Границы высотных зон растительности фиксируются определенными значениями индекса сухости:  $I_B = 0,15$  между лесом и субальпийскими лугами,  $I_B = 1,15$  между лесом и степью,  $I_B = 2,3$  между степью и полупустыней.

Наибольшим диапазоном значений  $I_B$  и  $\Sigma B_{год}$  характеризуется степная зона:  $I_B$  меняется от 1,15 до 2,3, а  $\Sigma B_{год}$  — от 23 до 47 ккал/(см<sup>2</sup>·год). В группе недостаточно влажных районов из-за нехватки влаги для произрастания древесной растительности в спектре поясности пространственно доминирует горная степь, которая поднимается в горы до отметок 1500 м, а по южным склонам — до 1800—2000 м. В высокогорье этих районов степь может контактировать с тундрой, при этом она качественно сильно преобразуется [Растительные сообщества..., 1982].

В теплых и влажных частях климатического ареала степь через пояс лесостепи переходит в сосново-лиственную подтайгу.

Лесная зона в Западном Саяне занимает климатический ареал, ограниченный значениями  $I_B$ , равными 0,2—1,1, и  $\Sigma B_{год}$ , равными 23—46 ккал/(см<sup>2</sup>·год). По степени относительного увлажнения лесная зона значением  $I_B = 0,62$  делится на два пояса: более влажный темнохвойный и более сухой светлохвойный. На целесообразность выделения этих поясов в горах Сибири указывала Л. В. Шумилова [1962].

Светлохвойные леса располагаются в следующем диапазоне значений:  $I_B = 0,62—1,15$  и  $\Sigma B_{год} = 23—45$  ккал/(см<sup>2</sup>·год). Более

теплую часть климатического ареала светлохвойных лесов ( $\Sigma B_{год}$  меняется от 35 до 45 ккал/(см<sup>2</sup>·год)) занимают сосновые и сосново-лиственничные подтаежные леса, более холодную — лиственничные таежные и подгольцово-таежные леса, которые на верхней границе своего распространения контактируют либо с подгольцовыми зарослями ерников, либо с тундрой.

Климатический ареал темнохвойных лесов характеризуется значениями  $I_B = 0,15—0,62$  и  $\Sigma B_{год} = 23—41$  ккал/(см<sup>2</sup>·год). Наиболее теплую и влажную его часть ( $\Sigma B_{год} = 33—41$  ккал/(см<sup>2</sup>·год)) занимают черневые пихтово-кедровые леса, а наиболее холодную (менее 27 ккал/(см<sup>2</sup>·год)) — подгольцовые кедровые и пихтово-кедровые леса, которые при  $\Sigma B_{год}$  менее 23 ккал/(см<sup>2</sup>·год) и  $I_B = 0,2—0,3$  сменяются субальпийскими лугами. В промежуточной между ними обширной термической области господствуют горно-таежные темнохвойные леса: пихтовые в самой влажной части ареала ( $I_B = 0,20—0,35$ ), кедровые — при  $I_B = 0,36—0,50$  и лиственнично-кедровые (в полосе контакта со светлохвойным поясом) —  $I_B = 0,50—0,62$ .

Широкий климатический ареал по оси относительного увлажнения имеет горная тундра:  $I_B = 0,15—1,0$ , что в корне отличает ее от равнинной тундры, характеризующейся, по М. И. Будыко [1956], значениями  $I_B$  менее 0,35. Очевидно, здесь уместно еще раз вспомнить замечание Ф. Н. Милькова [1977; с. 11], что «...дифференциация типов ландшафтов в полярном цикле ...связана с изменениями не увлажнения, а термических условий». То есть в высокогорном поясе, так же как и в полярной зоне на равнине, дифференциация растительных поясов происходит по термическому фактору: горная тундра отделяется от лесной растительности по радиационному балансу, а не по индексу сухости.

Широкий диапазон горной тундры по  $I_B$  позволяет ей граничить со всеми основными зонами растительности: субальпийскими лугами, темно- и светлохвойными лесами, степью. При этом по мере роста значений  $I_B$  меняется и внешний облик горной тундры: во влажных частях ареала располагается моховая и мохово-лишайниковая тундра, в сухих — типчаковая, кобрезиевая.

В заключение можно сказать, что соотношение тепла и влаги, выраженное через  $I_B$ , оказалось определяющим для дифференциации растительности на высотные зоны. Лишь граница леса и тундры определяется термическим фактором. Субальпийская граница леса характеризуется более низкими значениями сумм температур в период активного роста и более высокими значениями радиационного баланса, чем ее полярная граница. Большое разнообразие сочетаний природных условий в горах, чем на равнине, приводит к тому, что горная тундра в отличие от равнинной граничит со всеми основными высотными зонами растительности: субальпийской, лесной (темно- и светлохвойной), степной.

Существенным моментом различий высотной поясности и широтной зональности является непосредственный контакт в горах степи и тундры в наиболее аридных районах. В современной климатической обстановке область контакта зональной тундры и степи неве-

лика и ограничена Западной Чукоткой [Юрцев, 1972], хотя в эпохи оледенения она была представлена значительно шире.

Дифференциация высотных поясов на подножья происходит по термическому фактору, так же как и деление на подзоны на равнине.

Таким образом, с учетом некоторых особенностей, обусловленных горным рельефом, периодический закон географической зональности в значительной мере описывает общие географические закономерности природной зональности также и в горах.

### 3.2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД

#### 3.2.1. Характеристика исходных материалов и методы их анализа

Исходные материалы по древесной растительности и почвам были взяты из двух источников: а) материалов лесоводственно-географических исследований, проводившихся в Западном Саяне комплексным отрядом под руководством Н. П. Поликарпова в течение ряда лет с целью изучения пространственных закономерностей размещения и формирования лесов; б) массовых материалов наземного лесоустройства в Ермаковском и Усинском лесхозах Хакасско-Минусинского управления лесного хозяйства.

При маршрутно-ключевых исследованиях основным был метод топоэкологических профилей, отражающих смену типов леса в зависимости от изменений мезорельефа, литологии и других особенностей экологического фона. По профилям было заложено около 350 пробных площадей, а также выполнены многочисленные, но менее детальные (летучие) описания. Пробные площади выбирались таким образом, чтобы максимально полно охватить природное разнообразие горных лесов. Описание пробной площади включало подробную характеристику рельефа, почв, таксационных показателей древостоев, подроста, подлеска, живого напочвенного покрова. Анализировались древостой спелого и перестойного возраста, с запасами, близкими к максимальным для данных лесорастительных условий, рассчитанными по наиболее сомкнутому участкам древостоев. Почвенная характеристика основывалась преимущественно на аналитических показателях (использованы данные М. П. Смирнова [1970]).

Из лесоустроительных материалов была сделана выборка по районированному (типическому) способу [Бочаров, 1971]. По планам лесонасаждений были подобраны «ключи», репрезентативно представляющие леса для каждого высотного пояса. Ключи представляли собой трансекту шириной около 20 км, пересекающую Западный Саян в направлении, перпендикулярном основному водоразделу. Оно совпадает с направлением, по которому сменяют друг друга три выделенные ранее климатические фации (разд. 1.3).

Все выделы, попавшие в трансекту, были включены в анализ. Анализировались материалы только наземного лесоустройства I—III

разрядов таксации. Местоположение каждого выдела (абсолютная высота, экспозиция и крутизна склонов) уточнялось по топографическим картам масштаба 1 : 100 000. Во избежание ошибок в оценке рельефа для анализа оставлялись лишь те выделы, для которых характеристики рельефа, полученные визуально и по картам, совпадали. Таким способом было отработано 1200 выделов.

В выборке недостаточно полно представлены районы распространения светлохвойных пород, так как основной упор в работе сделан на изучение темнохвойных пород, занимающих 2/3 лесной площади Западного Саяна. В выборку вошли лишь те районы светлохвойных лесов, которые находятся в области контакта с темнохвойными лесами.

Из морфологических показателей древостоев были выбраны: состав по преобладающей породе (5 единиц по запасу и более) и характеристики продуктивности — класс бонитета и запас древесины ( $m^3/га$ ).

Основные лесообразующие породы — кедр сибирский, пихта сибирская, лиственница сибирская и сосна обыкновенная. Ель сибирская заметной роли в горных лесах не играет. Леса с елью в Западном Саяне занимают лишь 1% площади, локализуясь в пониженных формах рельефа, и потому в анализ не включены.

Благодаря работам в плане Международной биологической программы накоплен огромный материал по биологической продуктивности лесов, разработаны методики исследований биологической продуктивности, в частности методики сбора и обработки первичных данных [Уткин, 1975]. Получены корреляционные связи между объемами стволов и фитомассой фракций крон, что открывает путь к пересчету объемных единиц запасов древесины в весовые единицы наземной части или общей фитомассы. Однако полученные коэффициенты перехода носят региональный характер, и, в частности, для Западного Саяна имеются первые количественные оценки наземной фитомассы [Поздняков и др., 1969; Протопопов, 1975], отражающие общие тенденции связей ее основных элементов с запасами стволовой древесины. Однако эти данные не всегда дифференцированы для насаждений различных составов, возраста, строения, поэтому пока не могут быть использованы для решения прикладных задач. Более детально в Сибири разработаны переходные коэффициенты для островных лесов красноярско-ачинской и канской лесостепи [Протопопов, Зюбина, 1977], для сосняков Средней Сибири [Горбатенко, 1975] и бассейна оз. Байкал [Онучин, Борисов, 1984].

Из климатических показателей было выбрано несколько, наиболее полно и разносторонне характеризующих гидротермические условия. Основным показателем, характеризующим энергетические ресурсы местообитаний, является годовой радиационный баланс. Биоклиматическим показателем периода наибольшей интенсивности процессов роста и жизнедеятельности лесной растительности принято называть суммы температур, накопленные за период со средними суточными температурами выше  $10^\circ$ , хотя жизненные процессы весной у многих пород начинаются при устойчивых средних суточных

температурах выше 5°. Поскольку в литературе чаще используется показатель сумм температур выше 10°, для возможности сравнения наших данных с данными других авторов мы отдали предпочтение последнему, а также продолжительности периода с температурами выше 10°. Важным показателем континентальности климата служит годовая амплитуда температуры воздуха. Показателем, непосредственно характеризующим температуру растительного покрова, а также термический режим склонов, является температура подстилающей поверхности и ее суммы за период со средней суточной температурой воздуха выше 10°.

Степень увлажнения территории описывали показателями абсолютного и относительного увлажнения. К первому относится годовое количество осадков, второй представлен двумя показателями: радиационным индексом сухости и относительным испарением.

Все перечисленные климатические показатели получены расчетным путем по методикам, изложенным в разд. 2.1.

Сопряженный анализ связей растительности с факторами внешней среды проведен методом информационно-статистического анализа. Расчеты выполнены на ЭВМ М-3040 по программе, составленной инженером Института физики СО АН СССР А. Е. Грабежковым.

**Информационно-статистический анализ в приложении к изучению связей растительности и факторов внешней среды.** В последнее десятилетие в науках о природе применение количественных методов приобрело широкий размах. Особенно интенсивно количественные методы внедрены в географию, биогеографию, экологию. В Тарту в 1969 г., Риге в 1974 г., Петрозаводске в 1976 г., Новосибирске в 1982 г. проведен ряд совещаний по применению количественных методов в этих науках, которые продемонстрировали большое разнообразие идей и подходов, может быть, не всегда равноценных. Все эти исследования можно отнести к системным, так как они вскрывают различные стороны взаимодействия параметров, компонентов, блоков единого целого — природной системы. В конечном итоге на основе изученных связей и их анализа мы подходим к ядру системного анализа: моделированию природных явлений, систем, к поиску управления ими.

Имеется несколько обзоров работ по применению количественных методов в геоботанике [Василевич, 1972], в биогеографии [Неронов, 1980], ландшафтоведении [Александрова, 1969]. Во всех подчеркивается, что выбор того или иного метода необходимо делать в соответствии с конкретно поставленной задачей.

Среди обширного арсенала математических методов, используемых в современном естествознании, нам предстояло выбрать математический аппарат, наиболее соответствующий решению поставленной задачи, вскрыть связь между растительностью и факторами климата, количественно оценить ее и построить прогностические схемы с перспективой управления этим блоком природной системы.

Важной особенностью природных систем является вероятностный характер их свойств. В этом случае описание свойств системы лучше проводить методами математической статистики. Возможности

Свойства и ограничения показателей плотности связи [Арманд, 1975]

Свойства и ограничения	Коэффициент корреляции	Отношение дисперсий	Информационный канал связи
Требует нормального распределения значений переменных	Да	Да	Нет
Пригоден для оценки только ливневых связей	Да	Не только	Не только
Отражает направление передачи информации	Нет	Да	Нет
Система единиц	Относительная и абсолютная	Относительная	Относительная и абсолютная

использования различных математических методов для решения природоведческих задач подробно рассмотрены в работах Ю. Г. Пузаченко [1969, 1971, 1976 и др.], А. Д. Арманда [1971, 1975], В. Д. Александровой [1964, 1969] и др.

Применение методов классической статистики для оценок сопряженности параметров в живых системах ограничено из-за требований, предъявляемых к ним: линейность связи, упорядоченность состояний, независимость параметров между собой.

А. Д. Арманд [1975] сделал некоторые обобщения и сравнение свойств показателей связи различных методов (табл. 27). Ю. Г. Пузаченко [1969, 1971] показал, что информационно-статистический анализ является методом, наиболее подходящим для оценки природных систем, характеризующихся большим разнообразием качественных и количественных параметров и относительно высокой взаимозависимостью между ними. Количественная теория информации имеет дело с любым разнообразием, вероятность которого может быть подсчитана и сопоставлена с вероятностью другого разнообразия. Возможность количественного выражения информации и послужила толчком к применению элементов теории информации во многих науках о живой и неживой природе.

В географических науках информационно-статистический анализ был успешно введен Ю. Г. Пузаченко в конце 60-х гг. С тех пор метод широко применяется как в географии [Спектор, 1971; Арманд, 1975], так и в других науках о Земле — почвоведении [Карпачевский и др., 1978], климатологии [Маючая, 1976], лесоведении [Апалькова, Петропавловский, 1976] и т. д.

Не всегда, к сожалению, использование математических методов, и в частности информационного анализа, проводится корректно, что вызывает справедливую критику [Сорочкин, 1977].

Как любой метод, информационно-статистический анализ требует соблюдения некоторых условий, в частности условия квантования или разбивки данных [Пузаченко, 1976]. Квантование может

быть двух типов: квантование, максимизирующее энтропию каждого компонента, и равномерное квантование.

При решении задач построения статистических моделей оптимальной считается пропорциональная выборка, в которую с одинаковой частотой входят как обычные, так и редкие комбинации состояний компонентов. Оптимальная схема пропорциональной выборки лучше осуществляется на основе предварительного районирования территории по тем компонентам, которые предполагается рассмотреть в качестве независимых переменных.

Для задач анализа пространственной структуры территории и протекающих на ней процессов корректна лишь регулярная выборка. Ее принципы полностью определяются теоремой отсчета (теоремой Котельникова), в которой понятие частоты во времени заменяется понятием частоты в пространстве [Пузаченко, 1976].

Переходим к изложению информационно-статистического метода по основным работам Ю. Г. Пузаченко [1969, 1974, 1976 и др.].

Каждый элемент системы обладает некоторым разнообразием состояний. Проявление каждого состояния неопределенно в некоторый момент времени, и неопределенность эта устраняется приемами сигналов из внешней среды. Неопределенность  $(H(A))$  может быть оценена как функция от вероятности нахождения системы в любом из возможных состояний в пространстве или во времени  $(p_{a_i})$ :

$$H(A) = \sum_i p(a_i) \log p(a_i). \quad (20)$$

Тогда количество неопределенности, устраняемой в процессе познания, или иначе количество информации, передаваемое в системе, определяется как

$$T(A, B) = H(A) + H(B) - H(A, B), \quad (21)$$

где  $T(A, B)$  — количество информации,  $H(A)$  — неопределенность параметра  $A$ ,  $H(B)$  — неопределенность параметра  $B$ ,  $H(A, B)$  — их совместная неопределенность. Количество информации об элементе  $A$ , содержащееся в состоянии  $b_k$ , определяется как

$$\mathcal{I}(A/b_k) = H(A) - H(A/b_k), \quad (22)$$

где  $H(A/b_k) = -\sum_r p(a_r/b_k) \log_2 p(a_r/b_k)$  — условная неопределенность  $A$  по конкретному состоянию  $b_k$  или шум в канале связи.

Тогда количество информации, содержащееся во всей совокупности состояний параметров, будет

$$T(A, B) = \sum p(b_i) \cdot \mathcal{I}(A/b_k) = H(A) - H(A/B). \quad (23)$$

В трехкомпонентной системе сопряженность определяется выражением

$$T(A, B, C) = H(A) + H(B) + H(C) - H(A, B, C). \quad (24)$$

Для устранения размерности (информация измеряется в битах) при сопоставлении мер сопряженности (количества информации) между собой целесообразно осуществить нормировку  $T(A, B)$

в виде

$$K = \frac{2^{T(A,B)} - 1}{2^{H_{\min}} - 1} \cdot 100\%, \quad (25)$$

где в качестве нормы введена максимально возможная величина связи. Коэффициент  $K(A, B)$  называется коэффициентом сопряженности. Область его изменений лежит в пределах от 0 (при полной независимости  $A$  и  $B$ ) до 100% (при однозначном соответствии состояний  $A$  и  $B$ ). Этот коэффициент можно рассматривать как параметр системы, определяющий эффективность ее функционирования, и можно трактовать как меру чувствительности  $A$  к  $B$ . Чем ниже значение  $K(A, B)$  и выше независимость элементов системы, тем более надежно и устойчиво она функционирует в изменяющихся условиях среды.

В общем случае нормированные коэффициенты сопряженности не аддитивны [Пузаченко, Скулкин, 1981], т. е. сумма коэффициентов, полученных при однофакторном анализе, не обязательно равна коэффициенту, полученному при двухфакторном анализе:

$$K(A/B, C) \neq K(A/B) + K(A/C). \quad (26)$$

Возможны два варианта соотношений коэффициентов сопряженности: 1) случай ортогональности факторов, когда неаддитивный эффект возникает вследствие собственного совместного влияния обоих факторов  $K(A/B, C)$ , в двухфакторном канале больше, чем сумма коэффициентов в однофакторных каналах:

$$K(A/B, C) > K(A/B) + K(A/C); \quad (27)$$

2) если факторы неортогональны, т. е. связаны друг с другом, соотношение коэффициентов следующее:

$$K(A/B, C) < K(A/B) + K(A/C). \quad (28)$$

Информационный критерий максимального правдоподобия, или классификационный критерий:

$$J(b_j/a_i) \log \frac{p(b_j/a_i)}{p(b_j)}, \quad (29)$$

где  $p(b_j/a_i)$  — условная вероятность события явления  $b_j$  при состоянии фактора  $a_i$ ,  $p_{a_i}$  — общая априорная вероятность; на основе  $J(b_j/a_i)$  определяются отображения состояний явления  $b_j$ , характерных для данного состояния фактора  $a_i$ . Если величина  $J(b_j/a_i) > 0$ , то  $b_j$  и  $a_i$  имеют однозначное отображение, или иначе состояние  $b_j$  характерно для состояния  $a_i$ . Под характерным понимается то состояние  $b_j$ , которое по всей выборке реализуется с наибольшей частотой именно при определенном состоянии  $a_i$ .

Оценка достоверности информационных мер связи  $T(A, B)$  производится по критерию хи-квадрат ( $\chi^2$ ):

$$\chi^2 = 2NT \ln 2 \quad (30)$$

с  $(r-1)(c-1)$  степенями свободы, где  $N$  — объем выборки,  $r$  и  $c$  — количество градаций фактора и явления соответственно.

Следующим этапом анализа является перекодирование полученной информации, правила которого построены в теоремах математической логики [Пузаченко, 1969; Пузаченко, Скулкин, 1981]. Путем нескольких логических высказываний на основе информационных мер синтезируется сложное логическое высказывание, которое является по сути моделью системы.

Для решения практических задач синтез логического высказывания не всегда необходим, и решение прогноза производится по общим правилам, сформулированным на основе анализа логических моделей.

Правила прогноза состояний явления по исходному сочетанию состояний факторов следующие:

1) в качестве истинного состояния  $a_i$  принимается такое, для которого число классификационных критериев со значениями больше 0 максимально;

2) если таких состояний два или больше, то в качестве истинного принимается такое состояние, к которому передается наибольшее количество информации:

$$T(A/b_j)_{\max} = T(a_i/b_j) + T(a_i/c_i) + \dots + T(a_i/l_n). \quad (31)$$

Ошибка прогноза определяется по наблюдениям, не вошедшим в анализ.

### 3.2.2. Влияние климатических факторов на размещение основных лесообразующих пород

В табл. 28 представлены осредненные значения коэффициентов сопряженности, вычисленные между характеристиками климата и основными показателями структуры древостоев. Как показывают Ю. Г. Пузаченко и В. С. Скулкин [1981], коэффициенты сопряженности не аддитивны, но по ним вполне возможно проследить взаимосвязь входов (климатических факторов) и выходов (характеристик древостоев) в системе.

Наибольшие меры сопряженности отмечаются между климатическими параметрами ( $K = 23\%$ ). Менее, чем климатические, связаны между собой структурные показатели древостоев (составы) и климатические параметры, но и они в 2—3 раза превышают меры сопряженности между функциональными характеристиками, отражающими уровень продуктивности древостоев, и климатическими. В системе по мере передачи информации от абиотических составляющих к биотическим происходит ее потеря, что с точки зрения организации означает, что организованность в системе снижается [Пузаченко, Скулкин, 1981]. Авторы подтвердили свой вывод и на процедуре топологического отображения структуры потоков информации в системе. Они показали, что в топологическом пространстве выделяется ядро системы, образованное климатическими факторами. Эдафоорографические факторы располагаются в этом пространстве обособленно. Все характеристики растительности располагаются по периферии пространства со значительной удаленностью их друг от друга. Таким

Таблица 28

Средние значения мер сопряженности между характеристиками насаждений и климатическими показателями, %

Характеристика насаждений	Порода	Факторы			
		климатические			почвенные
		температурные	увлажнения	в целом	
				в целом	
Состав Бонитет	Кедр	14,6	19,2	16,3	6,9
	Пихта	7,8	5,1	6,8	—
	Лиственница	11,1	8,3	10,1	—
	Сосна	5,1	4,4	4,8	—
	В целом	3,9	7,4	5,7	—
Запас	Кедр	—	—	—	12,0
	Пихта	4,3	3,9	4,2	—
	Лиственница	3,3	3,5	3,4	—
	Сосна	3,1	5,4	4,6	—
Климатические показатели в целом		4,3	5,9	5,1	—
		—	—	23,0	—

образом, подтверждается вывод о диссипации информации при передаче ее от абиотических факторов к биотическим.

Также на основе анализа расположения элементов системы в топологическом пространстве часть их (дублирующие или мало сопряженные элементы) может быть исключена из анализа. Ю. Г. Пузаченко и В. С. Скулкин [1981] показали, что наиболее связанными по структуре потоков информации являются: 1) осадки за теплый период и за год; 2) географическая широта и суммы температур выше  $10^\circ$ ; 3) прирост по диаметру и в высоту и 4) сомкнутость и запас древостоев. Из перечисленных пар параметров мы отобрали наиболее экологически важные: 1) осадки за год, так как в этом показателе учитываются условия перезимовки растений; 2) суммы температур выше  $10^\circ$ , так как прямо действующим на жизнедеятельность растений фактором является тепло, а влияние географической широты на растительность проявляется опосредованно через климатические условия (кроме того, в горных регионах изменение климатических параметров обусловлено не широтой, а высотой местности); 3) прирост в высоту, так как бонитет древостоев в определенном возрасте, используемый нами в качестве показателя продуктивности, является функцией высоты древостоев; 4) запас древостоев, являющийся непосредственной характеристикой их производительности.

Степень связанности характеристик древостоев с климатическими показателями можно проследить по коэффициентам сопряженности (табл. 29), уровень значимости которых не превышает 20%.

В размещении древостоев определенных составов определяющими характеристиками являются абсолютное увлажнение (осадки за год) и годовая амплитуда температуры воздуха. Достаточно высоким значением меры сопряженности ( $K = 18,1\%$ ) подтверждается

Таблица 29

Коэффициенты сопряженности между характеристиками насаждений и климата, %

Характеристика насаждений	L	A	$\Sigma t$	$\Sigma P_{\text{год}}$	$\Sigma t_{\omega}$	r	$I_B$	E/E <sub>0</sub>
Состав	14,2	24,4	14,7	3,9	15,6	28,8	18,1	10,8
Бонитет:								
кедра	13,8	3,7	10,0	3,4	8,2	9,0	4,3	2,1
пихты	11,4	10,4	12,8	5,4	15,7	11,5	8,4	5,0
лиственницы	5,5	7,5	6,6	1,8	3,9	4,4	4,7	4,1
сосны	2,6	3,0	4,6	3,9	5,2	3,9	5,9	12,5
Занас:								
кедра	6,6	4,9	4,4	1,9	3,7	6,6	3,7	1,4
пихты	3,1	2,2	3,6	2,4	5,1	4,3	2,9	3,4
лиственницы	3,3	3,5	3,6	4,6	5,7	8,0	4,2	4,0
сосны	4,1	3,0	5,5	5,1	3,9	4,4	6,1	7,1

связь доминирующей породы в составе с относительным показателем увлажнения — индексом сухости. Относительное испарение в меньшей степени регулирует размещение лесобразующих пород ( $K = 10,8\%$ ). В условиях достаточного увлажнения состав древостоев в большей мере формируется под влиянием межпоисных различий климата. При недостаточном увлажнении экспозиционные различия климата, в частности увлажнения, могут оказывать более существенное влияние на функциональном уровне — уровне продуктивности (разд. 4.2.1). В целом влияние температурных показателей климата на состав древостоев меньше, чем показателей увлажнения. Сопряженность показателей продуктивности и показателей тепло- и влагообеспеченности зависит от общего увлажнения климата: во влажных районах продуктивность больше зависит от термических условий, в умеренно и недостаточно влажных — от условий увлажнения местообитаний.

Как указывалось выше (разд. 3.2.1), на основе информационного критерия максимального правдоподобия  $J$  определяются наиболее однозначные отображения состояний характеристик древостоев (в данном случае состава) на любой климатический показатель. Если  $J > 0$ , то данное состояние явления ( $b_j/a_i$ ) принимается характерным для состояния фактора ( $a_i$ ). Применяя правила раскрытия кода информации [Шузаченко, Скулкин, 1981], были составлены таблицы критериев максимального правдоподобия (табл. 30), где коэффициенты более нуля при 20%-ном и менее уровне значимости отмечены знаком «+», коэффициенты менее нуля — знаком «-», а не отмеченные никаким знаком — состояние фактора, в котором не зафиксировано присутствие данной породы. Там же представлены меры информации  $\mathcal{I}(A/b_j)$ , которые отражают диапазон толерантности конкретной породы по каждому термическому показателю. Чем больше мера  $\mathcal{I}(A/b_j)$ , тем более чувствительна порода к данному фактору, чем меньше, тем более устойчива, толерантна. На основании табл. 30 можно заключить, что наибольшей толерантностью к термическим

Таблица 30

Диапазоны доминирования основных лесобразующих пород по различным гидротермическим показателям

Порода	Сумма температур выше 10°									Мера толерантности
	<350	350—500	500—650	650—800	800—950	950—1100	1100—1250	1250—1400	>1400	
Кедр	+	+	+	+	-	-	-	-	-	0,247
Пихта	-	-	-	-	+	+	+	+	+	0,042
Лиственница										0,605
Сосна					+	+	+	+	+	0,715
Кедр	Амплитуда температуры воздуха, °C									Мера толерантности
	<30	30—32	32—34	34—36	36—38	38—40	40—42	42—44	>44	
Пихта		+	+	+	+	-	-			0,459
Лиственница		+	+	+	+	-	-			0,942
Сосна		-	-	-	+	+	+	+	+	0,738
					-	+	+	+	+	0,848
Кедр	Длина вегетационного периода, дни									Мера толерантности
	<30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100	>100	
Пихта		+	+	+	-	-	-	-	-	0,272
Лиственница		+	+	+	+	+	+	+	+	0,014
Сосна					-	+	+	+	+	0,910
					-	+	+	+	+	0,811
Кедр	Температура подстилающей поверхности, °C									Мера толерантности
	<800	800—950	950—1100	1100—1250	1250—1400	1400—1550	1550—1700	1700—1850	>1850	
Пихта	+	+	+	-	-	-	-	-	-	0,433
Лиственница	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-0,075
Сосна					+	+	+	+	+	0,736
					+	+	+	+	+	0,585
Кедр	Радиационный баланс B, ккал/(см²·год)									Мера толерантности
	<20	20—25	25—30	30—35	35—40	40—45	45—50	>50		
Пихта	+	+	+	-	-	-	-	-	-	0,075
Лиственница	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-0,102
Сосна										0,262
										0,358



	Осадки за год $r$ , см									
	>150	150—135	135—120	120—105	105—90	90—75	75—60	60—45	<45	
Кедр	+	+	+	+	+	+	+			0,331
Пихта	+	+	+	+	+	+	+			0,815
Лиственница										
Сосна				—	—	+	+	+	+	1,649
										1,737

	Индекс сухости $I_B$									
	<0,2	0,2—0,3	0,3—0,4	0,4—0,5	0,5—0,6	0,6—0,7	0,7—0,8	0,8—0,9	0,9—1,0	
Кедр	+	+	+	+	—	—	—			0,432
Пихта	+	+	+	+	—	—	—			0,589
Лиственница					+	+	+	+	+	±0,260
Сосна					—	+	+	+	+	±0,247

	Относительное испарение									
	<0,3	0,3—0,4	0,4—0,5	0,5—0,6	0,6—0,7	0,7—0,8	0,8—0,9	0,9—1,0	>1	
Кедр				+	—	+	+	+		0,077
Пихта				+	—	+	+	+		0,220
Лиственница	+	+	+	—	+	—	+	—		0,256
Сосна	+	+	+	—	—	—	—	—		0,153

условиям вегетационного периода в данном регионе обладает *пихта*. Она может произрастать в широком диапазоне  $\Sigma t$  (350—1500°) с характерным доминированием при 800—1500°.

Примерно такой же термический диапазон занимает *кедр*, но область его доминирования сдвинута в область более низких значений  $\Sigma t$  (350—800°), что заставляет нас предполагать фитоценологическую обусловленность распространения кедра в Западном Саяне. Пихта в силу своих биологических свойств, усиливающих ее конкурентные способности, занимает оптимальные термические условия, характеризующиеся:  $\Sigma t$  — 800—1500°,  $\mathcal{L}$  — 62—100 дней,  $\Sigma B_{год}$  — 20—40 ккал/(см<sup>2</sup>·год),  $\Sigma t_{\omega}$  — 1100—1700°. Распространение кедра ограничивается крайними термическими условиями распространения вообще лесной растительности: в высокогорье — это граница леса с тундрой, обусловленная  $\Sigma t$  — 200—300°, в низкогорье — это граница темнохвойных лесов со светлохвойными и лиственными, обусловленная недостаточным для кедра относительным увлажнением ( $I_B$  более 0,6).

Область доминирования кедра в составе можно охарактеризовать следующими термическими показателями:  $\Sigma t$  — более 800°,  $\Sigma B_{год}$  — более 30 ккал/(см<sup>2</sup>·год),  $\mathcal{L}$  — более 60 дней,  $\Sigma t_{\omega}$  — более 1100°. Эти цифры еще раз подтверждают фитоценологические причины преобладания кедра в составе лесов, так как вне конкуренции со стороны пихты диапазон доминирования кедра в составе древостоя значительно расширяется [Пузаченко, Скулкин, 1981].

Термические оптимумы *лиственницы* и *сосны* в горах Южной Сибири близки и характеризуются  $\Sigma t$  — 800—1500°. Результаты, полученные Ю. Г. Пузаченко и В. С. Скулкиным [1981] для этих пород на всей территории Советского Союза, отличны от наших. Из их анализа следует, что сосна и лиственница менее чувствительны к термическому фактору, чем пихта и кедр, а термический диапазон доминирования, например, лиственницы определяется весьма низкими значениями  $\Sigma t$  (менее 600°). Для сосны характерны очень низкие (600—800°), средние (1200—1400°) и высокие (1800—2200°) значения  $\Sigma t$ . Расхождения в полученных результатах объясняются свойствами выборок, включенных в анализ (авторами и нами), а также особенностями фитоценологических взаимоотношений пород.

Во-первых, диапазон температурных условий в горах Южной Сибири значительно уже, чем для всей территории Советского Союза (соответственно 300—1800° против 500—2800°). Кроме того, в горах Южной Сибири в группе влажных районов пихта находит свой оптимум и именно поэтому имеет пироклий и равномерный по фактору теплообеспеченности диапазон распространения вообще и доминирования в частности. В аналогичных температурных грациях при анализе лесов умеренной зоны СССР пихта не доминирует, так как эти термические условия сопряжены либо с недостаточным для пихты увлажнением на европейской территории Союза, либо с наличием холодных почв и вечной мерзлоты, весенних заморозков и ожогов, характерных для резко континентального климата азиатской части СССР. В выборке, представляющей территорию Советского Союза, пихта локализуется при  $\Sigma t$  — 1400—1600° (пихта сибирская) и при 2200—2600° (пихта цельнолистная). Таким образом, размытость распределения пихты по температурной координате в горах Южной Сибири, с одной стороны, и сконцентрированность ее в определенных термических грациях на всей территории Советского Союза — с другой, стали причиной того, что мера толерантности для пихты в первом случае выше, чем для других пород, а во втором — ниже.

Фактором, ограничивающим распространение пихты в горах Южной Сибири, наряду с недостатком влаги, является континентальность климата, выраженная годовой амплитудой температуры воздуха. При проекции состава лесов на координату годовой амплитуды температуры воздуха (А) темно- и светлохвойные породы резко разделяются: до значений 38° доминируют кедр и пихта, более 40° — лиственница и сосна. Несмотря на то, что пихта имеет близкие термические ниши с нишами сосны и лиственницы, пространственно они не пересекаются. При проекции состава на координату А и координату влажности видно, что диапазоны распространения пихты,

сосны и лиственницы различаются. Наглядно этот факт будет продемонстрирован при анализе двухфакторных каналов связи.

Лиственница сибирская в отсутствие конкуренции со стороны темнохвойных пород широко распространена и является единственной породой, доминирующей в группе умеренно влажных районов. В подгольцовом поясе она образует смешанные насаждения с кедром, в горно-таежном поясе (в полосе контакта с темнохвойными лесами) — с кедром и другими породами, в подтаежном поясе — с сосной. Как уже говорилось выше, с темнохвойными породами лиственница разделяется по координатам годовой амплитуды температуры воздуха и относительного увлажнения. В районе исследования лиственница и сосна имеют в целом близкий диапазон доминирования по термическому фактору, который характеризуется высокими значениями  $\Sigma t$  — 800—1500° для обеих пород,  $\Sigma B_{\text{год}}$  — 60—80 дней для лиственницы и 70—100 дней для сосны,  $\Sigma B_{\text{год}}$  — 25—35 ккал/(см<sup>2</sup>·год) для лиственницы и 30—40 ккал/(см<sup>2</sup>·год) для сосны,  $\Sigma t_{\text{о}}$  — 1100—1850° для лиственницы и 1250—1850° для сосны. Как следует из приведенных цифр, термический оптимум сосны сдвинут в область повышенных значений параметров, что указывает на большее теплолюбие сосны, чем лиственницы сибирской. При низких значениях термических показателей доминирование сосны в составе не характерно, как это имеет место на Европейском Севере (по результатам анализа Ю. Г. Пузаченко и В. С. Скулкина [1981]). В горах Южной Сибири холодные климатические пояса во влажных районах заняты кедром, а в умеренно влажных — нетребовательной к теплу лиственницей, которая образует устойчивые насаждения. Проекция сосны на координаты, учитывающие экспозиционные различия термических показателей, смещены в область повышенных значений. В пределах одинаковой высотной полосы такие условия могут создаваться лишь на склонах южных экспозиций, хотя зачастую на них создаются условия меньшей влагообеспеченности.

Во влажных районах сосна может доминировать только в предгорной полосе, проникновение в которую темнохвойных пород лимитировано относительным увлажнением. С увеличением влажности климата усиливается конкуренция со стороны кедра и пихты, в ходе которой сосна вытесняется из тех местообитаний, которые могла занять после пожаров.

Как следует из средних величин мер сопряженности между характеристиками древостоев и климата (табл. 28), показатели увлажнения имеют большее влияние на формирование насаждений определенного состава, чем термические (соответственно  $K = 19,2\%$  против  $K = 14,3\%$ ).

При анализе мер толерантности выяснилось (см. табл. 30), что к абсолютному увлажнению наиболее чувствительны светлохвойные породы. Однако широко известен экологический факт, что сосна и лиственница — породы, нетребовательные к увлажнению. Чтобы объяснить это противоречие, обратимся к смысловой стороне понятия «чувствительность» и обратного ему «приспособленность» (толерантность), сравнив его с понятием «требовательность» породы к определенному фактору среды.

В эти понятия заложены различные критерии. Понятие «требовательность» сформировалось в процессе сравнения различных пород по их отношению к фактору среды, например к увлажнению. Показатель, на основе которого построен ряд влаголюбия, — *нижний предел* влагообеспеченности, при котором данная порода может встречаться. Чем ниже этот показатель, тем менее требовательна порода к увлажнению.

Критерий толерантности [Одум, 1975; и др.] характеризует *диапазон распространения*, устойчивость определенной породы к фактору увлажнения: чем шире этот диапазон, тем более приспособлена порода к изменению этого фактора, т. е. толерантна к нему. Критерий толерантности может быть выражен количественно, в частности количеством информации. Меры информации, как указывалось выше, построены на критерии разнообразия: чем больше разнообразие состояний фактора, при которых зафиксировано наличие определенной породы, тем менее чувствительна эта порода к данному фактору.

В табл. 30 показаны прямые отображения состава древостоев на координаты абсолютного и относительного увлажнения, отражающие основные закономерности формирования древостоев определенного состава в зависимости от показателей увлажнения.

Светлохвойные породы занимают вдвое меньший диапазон по абсолютному увлажнению, чем темнохвойные породы, следовательно, менее толерантны к данному фактору (если не учитывать их конкурентных взаимоотношений с темнохвойными). Вместе с тем светлохвойные породы менее требовательны к абсолютному увлажнению, так как нижний предел их распространения определяется величиной  $r = 400$  мм, а аналогичный показатель для темнохвойных пород — 600—750 мм.

Наиболее чувствительны к относительному увлажнению, выраженному через  $I_B$ , темнохвойные породы, особенно пихта. Лиственница и сосна в равной мере толерантны к условиям относительного увлажнения. Из картины проекции состава древостоев на координату  $I_B$  (см. табл. 30) видно, что значение  $I_B = 0,60$  отделяет темнохвойные формации от светлохвойных. Сказанное еще раз подтверждает вывод о том, что соотношение тепла и влаги является признаком, разграничивающим не только зональные типы и классы растительности, но и зональные группы формаций.

Менее информативным в этом смысле является другой показатель относительного увлажнения — относительное испарение ( $E/E_0$ ). Этот показатель характеризует мезоклиматическую изменчивость увлажнения, которое сильно варьирует в зависимости от рельефа в пределах одного высотного пояса. Поэтому диапазон изменений увлажнения для каждой породы расширяется и выравнивается: меры толерантности примерно одинаковы для пихты, лиственницы и сосны и несколько меньше для кедра (см. табл. 30). Из данных табл. 30 также следует, что при проектировании состава лесов на координату относительного испарения достаточно четко обрисовываются области доминирования каждой из пород. Наиболее характерные градации относительного испарения при доминировании темнохвойных по-

род — 0,7—1,0, лиственницы — 0,6—0,7 и сосны — 0,3—0,5. Следовательно, наиболее влагообеспеченные местообитания занимают кедр и пихта, самые сухие — сосна и промежуточные — лиственница.

Рамки предпочтительной зоны по индексу сухости для каждой из пород определяются: для темнохвойных — наиболее влажными условиями, характеризующимися  $I_B = 0,20-0,40$  для пихты и  $I_B = 0,40-0,60$  для кедра, для светлохвойных — условиями умеренного увлажнения, определяемыми значениями  $I_B = 0,60-0,70$  для лиственницы и 0,70—1,0 для сосны.

Наибольший диапазон доминирования по координате абсолютного увлажнения имеет кедр — 600—1500 мм. Пихта произрастает также в широком диапазоне увлажнения — 750—1500 мм, но доминирует в довольно узкой, наиболее влажной полосе — 1200—1500 мм. Климатический ареал кедра шире, чем у пихты, так как благодаря своей способности переносить высокую континентальность климата кедр проникает в умеренно влажные районы, занимая здесь верхние части горно-таежных поясов. Абсолютное увлажнение в этих поясах характеризуется величинами 600—900 мм. Распространение кедра в нижних поясах умеренно влажных районов ограничено сухостью климата (осадков за год выпадает менее 600 мм), которая является также причиной частых пожаров. В группе недостаточно влажных районов кедр встречается лишь в подгольцовом поясе, хотя по склонам южных экспозиций на верхнюю границу леса выходит лиственница.

Диапазон распространения лиственницы по координате количества осадков достаточно широк (450—1200 мм), но преобладание ее в составе ограничено довольно узкими рамками ( $r = 450-750$  мм). Эту область преобладания она делит с сосной.

На координате  $r$  наблюдается область пересечения светло- и темнохвойных пород (см. табл. 30). Возможны два объяснения этому факту. Прежде всего, эти области могут быть представлены реально существующими лиственнично-темнохвойными формациями, имеющими свой климатический и эдафический ареал [Назимова, 1975]. Области пересечения по абсолютному увлажнению могут быть разобщены в пространстве, относиться к различным термическим поясам, т. е. иметь различные проекции на другие координаты.

Как было показано выше, при проецировании областей распространения или доминирования лесообразующих пород на одну координату многомерного экологического пространства может иметь место пересечение этих областей. Не всегда породы можно рассматривать как экологически подобные, так как области их распространения могут быть разобщены на других координатах пространства [Пузаченко, Скулкин, 1981]. Более корректным будет одновременное проецирование на несколько координат. Обычно в ординационных построениях ограничиваются наиболее существенными экологическими координатами — показателями тепло- и влагообеспеченности.

Прежде чем перейти к анализу распространения и установлению экологических оптимумов основных лесообразующих пород в

двумерном пространстве, рассмотрим степень связанности структурных характеристик насаждений (породного состава) с гидротермическим режимом (табл. 31). Проанализируем с позиций соотношений (26)—(28) полученные коэффициенты сопряженности. В табл. 29 и 31 приведены значения этих коэффициентов в одно- и двухфакторных каналах связи.

Анализ таблиц показывает, что лишь в одном случае (при совместном влиянии годовой амплитуды температуры воздуха и количества осадков) сумма коэффициентов сопряженности превышает коэффициент, полученный при их совместном влиянии. В данном случае особенно проявляется прямая связь обоих факторов с абсолютной высотой, которая послужила основой расчета их высотных градиентов. В пространстве этих координат проекции составов древостоев могут быть искажены. Эти так называемые когерентные искажения могут быть исключены при рассмотрении многофакторных проекций [Пузаченко, Скулкин, 1981].

В остальных рассмотренных случаях наблюдается значительное приращение информации за счет их совместного влияния, что говорит об ортогональности каждой пары факторов. Особенно велик неаддитивный эффект в координатах, учитывающих экспозиционные различия гидротермических условий:  $\Sigma B_{\text{год}}$  и  $I_B$ ,  $\Sigma t_{\omega}$  и  $E/E_0$ . На размещение лесообразующих пород в большей мере оказывают влияние общие межпоясные показатели климата — температура воздуха и осадки, а роль других параметров, трансформированных элементами рельефа:  $\Sigma B_{\text{год}}$ ,  $I_B$ ,  $\Sigma t_{\omega}$ , проявляется в большей степени на уровне продуктивности.

Рассмотрим климатические условия доминирования лесообразующих пород. Аналогично однофакторной схеме анализа на основе критериев максимального правдоподобия устанавливается наличие наиболее характерных пород для каждой пары климатических показателей. Обычно в качестве координатных осей используются такие показатели тепло- и влагообеспеченности, как суммы температур выше 10° и годовое количество осадков (см. рис. 27).

На следующем этапе была составлена схема распределения состава древостоев в координатах  $\Sigma B_{\text{год}}$  и  $I_B$  (см. рис. 28). В этой двумерной проекции видно четкое разграничение климатических ара-

Таблица 31

Коэффициенты сопряженности между характеристиками растительности и климата (двухфакторные каналы связи), %

Характеристика насаждений	$\Sigma t_{\omega}$	$\Sigma B_{\text{год}} - I_B$	$\Sigma t_{\omega} - E/E_0$	A—r
Состав	43,0	31,7	27,9	34,0
Бонитет:				
кедра	21,5	10,7	14,9	—
пихты	16,0	11,2	26,7	—
лиственницы	11,5	13,5	18,4	—
сосны	8,7	11,2	27,5	—
Запас:				
кедра	8,3	5,2	6,3	—
пихты	5,9	6,5	17,5	—
лиственницы	4,5	10,4	10,5	—
сосны	9,3	14,3	19,3	—

лов лесобразующих пород. Например, имея одинаковую область доминирования по координате тепла ( $\Sigma B_{\text{год}} - 25-45$  ккал/(см<sup>2</sup>·год)), пихта, лиственница и сосна разделяются по индексу сухости ( $I_B$  менее 0,60 — область доминирования пихты, более 0,60 — сосны и лиственницы). Можно видеть, что смена доминирующей породы в составе происходит по интегральному вектору тепловлагообеспеченности. Самые теплые и влажные местообитания занимает пихта. По мере роста сухости и похолодания климата следует зона равновероятного доминирования в составе пихты и кедра, за которой начинается полоса чистых кедровников. С дальнейшим уменьшением тепла и ростом сухости возникает одинаковая вероятность появления в составе насаждений наряду с кедром и лиственницей. При  $I_B$  более 0,60 в горно-таежном термическом поясе лиственница становится единственным лесообразователем. В аналогичных по сухости, но более теплых поясах равноправным с лиственницей лесообразователем становится сосна. В целом область господства светлохвойных лесов вполне однозначно отделена по показателю относительного увлажнения от темнохвойной области.

В координатах  $\Sigma t_0$  и  $E/E_0$ , описывающих гидротермические условия каждого склона, картина распределения лесобразующих пород получается менее определенной, «размытой». Мезоклиматические различия климатических показателей склонов в пределах одного пояса могут быть больше, чем межпоясные, поэтому по данным показателям отмечается большая зона перекрытия областей доминирования определенных пород. Однако и в этих координатах можно выделить условия преобладания какой-либо одной породы.

Выявленные двухфакторные связи основных лесообразователей с параметрами тепло- и влагообеспеченности в целом подтвердили установленные ранее закономерности, придав им количественную определенность. Насколько адекватно они будут отражать общую картину размещения лесов по породному составу в реальном географическом пространстве, покажет проверка составленных моделей (см. разд. 3.5).

### 3.2.3. Климатическая ординация основных серий типов леса

Как было отмечено ранее (разд. 3.2.1), для анализа состава насаждений по высотно-поясным комплексам использованы статистические данные лесоустройства. Состав по отдельным выделам, естественно, может заметно отклоняться от средней статистической картины, однако общий процент таких участков в рамках ВПК, как показывает опыт, невелик, даже в том случае, если в каком-либо районе развиты особенно сильно литоморфные и гидроморфные серии лесной растительности. Это дало повод сделать анализ состава лесной растительности на уровне серий типов леса. По существу, они близко совпадают с сериями ассоциаций, выделяемых с учетом доминирующих видов и сопутствующих эколого-ценотических групп травяно-кустарничкового и мохового ярусов. Поэтому индикаторная роль этих таксонов в отношении комплекса прямодействующих

факторов, формирующих условия местообитания лесных биогеоценозов, не подлежит сомнению, хотя и не равнозначна для разных серий.

Основные серии типов леса, образующие темнохвойные ВПК в Западном Саяне, и соответствующие им почвы были представлены на двумерных схемах ординации в работах Д. И. Назимовой [1968, 1975]. В данной работе кроме опубликованных материалов [Типы лесов..., 1980] привлечены данные наземного лесоустройства последних лет, использовавшего типологические разработки лаборатории лесной типологии ИЛиД СО АН СССР для лесхозов Иркутской области, Красноярского края и Бурятии. Лесоустроительные данные служили в основном для корректировки выявленных ранее закономерностей формирования типологического состава лесов в каждой из четырех климатических фаций (групп районов).

С целью выявления высотно-поясных закономерностей при отборе материала были исключены крайние лито- и гидроморфные серии типов леса, представленные в подчиненных элементах ландшафтов. Все остальные местообитания, занимающие 80—90% лесной территории, включены в анализ и рассматриваются как эквивалентные зональным сообществам. Они представлены широким спектром элементов автономного ландшафта, охватывая водоразделы и склоны всех экспозиций.

Ближе всех к зональным в горных условиях будут коренные и условно коренные сообщества относительно пологих склонов нейтральных экспозиций с достаточно развитыми суглинистыми среднецебнистыми почвами. Мы в данной работе относили к «зональным» гораздо более широкий диапазон сообществ: исключение составляли лишь серии, связанные с неразвитыми каменными почвами, либо с бедными песчаными почвами, весьма редкими в данных горных системах, либо явно гидроморфные серии, обусловленные не климатом, а эдафическими причинами. Все эти сообщества принято рассматривать как интразональные или аazonальные, хотя и они несут черты зональности, проявляющиеся в их сезонной ритмике, особенностях флористического состава и продуктивности.

Различия в экспозиции склонов в горах приводят к смещению границ поясов и к формированию экстразональных сообществ, согласно правилу преувращения зональности, о котором упоминалось ранее. Данный вариант схемы (рис. 29), составленный в осях радиационный баланс — относительное увлажнение, имеет то несомненное преимущество перед прежними, что может отразить экспозиционные различия и более однозначно определить место каждого экотопа на схеме в климатическом пространстве: самые теплые и сухие склоны сконцентрируются соответственно в нижнем правом углу, а самые влажные и холодные — в левом верхнем углу контуров каждого ВПК. Общее направление смены растительности с высотой будет близко к тому, какое показано на схеме прерывистыми линиями, разделяющими разные климатические фации. При этом, если рассматривать спектр поясов какого-либо конкретного района, можно убедиться, что, как правило, он укладывается внутри одной кли-



развитым покровом гигромезофильных трав слабое, и это сближает их с черневыми лесами.

Характерные серии субальпийско-таежного ВПК образуют кедровники и пихтарники чернично-папоротниковые субальпийские (ч-пап), лангсдорфвейниково-папоротниковые (лв-пап) с кочедыжником альпийским и вейником Лангсдорфа, крупнотравные субальпийские (крт - с) и чернично-разнотравные субальпийские (ч-рт-с). Они отличаются высокой насыщенностью видами лугово-лесного и субальпийского разнотравья и высокотравья.

Кедровники имеют IV и V класс бонитета, пихтарники — V—Vб. Насаждения обычно куртинные, редкостойные. Возобновление кедра слабое, пихтовый подрост, как правило, обильный, но преимущественно вегетативный, очень угнетенный.

Во *влажной климатической фации*, где наиболее развит пояс горной темнохвойной тайги, имеются близкие к черневой тайге климатопы, для которых характерна зеленомошно-вейниково-крупнотравная серия типов леса (с вейником тупоколосковым, борцом высоким, лилией саранкой, чиной Гмелина и другими элементами многочисленной группы лугово-лесного крупнотравья). В составе древостоя наряду с кедром и пихтой часто присутствует ель, и это отличает данную серию от сходных серий выше рассмотренной климатической фации. Другое отличие — в резко сниженной фитоценотической роли папоротников — показателей постоянной высокой влажности воздуха. Класс бонитета по кедру и ели III, с высотой снижается до IV. Возобновление удовлетворительное, особенно пихтой и елью.

В сходных условиях теплообеспеченности, но при меньшем увлажнении развиваются вейниково-осочковая (в-осч), спирейно-осочково-зеленомошная (сп-осч-зм), разнотравно-бруснично-зеленомошная (рт-бр-зм) серии типов леса, имеющие наиболее сложный состав древостоев (см. рис. 28), включающий как темнохвойные, так и светлохвойные и лиственные породы в постоянной примеси благодаря нередким пожарам.

Из других серий типов леса, характерных для влажной климатической фации, можно отметить чернично-зеленомошную (ч-зм) с мхами Шребера, этажным, осоково-чернично-мшистую (ос-ч-мш) с осокой Ильина и покровом из этажного и других зеленых мхов с примесью сфагнов и кукушкина льна, близкую к ней долгомошно-черничную, а также вейниково-зеленомошную (в-зм) с характерным для данной фации участием ягодных кустарничков — брусники или черники и с доминированием вейника тупоколоскового. Все эти серии представлены преимущественно кедровниками, имеющими производительность от II до IV класса бонитета; реже встречаются смешанные пихтово-кедрово-еловые насаждения и пихтарники. Во всех этих сериях типов леса хорошо развит ярус мхов. Возобновление кедра и других темнохвойных пород успешное.

В высокогорьях тех же районов широко распространены субальпийско-таежные и подгольцово-таежные кедровники, представленные разнообразными типами леса, из которых на схеме указаны

лишь некоторые: кедровник субальпийский чернично-гераниевый (ч-гер) с геранью белоцветковой и другими видами субальпийского разнотравья, подгольцовый ольховниково-мшистый (ольх-мш) с ольхой кустарниковой, кедровник кашкарниково-мшистый (кашк). Густой подлесок из кашкары, или рододендрона золотистого характерен для кедровой высокогорной тайги Саян и Прибайкалья; изредка встречается он и в среднегорных кедровниках зеленомошных как реликт эпохи оледенения.

В *умеренно влажной климатической фации* в спектре лесных ВПК развиты подтаежно-лесостепной и горно-таежный светлохвойный (преимущественно лиственничный) ВПК. В первом наиболее теплые климатопы занимают осочково-разнотравные (осч-рт) и спирейно-злаково-осочковые (сп-зл-осч) серии с заметным участием вейника Павлова, коротконожки, а также других злаков: мятлика сибирского, трищетинника сибирского, овсеца опушенного.

В более холодных условиях в горно-таежном поясе получают широкое распространение рододендрово-брусничная (род-бр) с рододендром даурским, вейниково-брусничная (с вейником тупоколосковым), бруснично-злаковая (бр-зл) с вейником Павлова и мятликом сибирским, бруснично-ирисовая (бр-ир) с ирисом русским серии типов леса. На теневых склонах или на более высоких уровнях их сменяют багульниково-бруснично-зеленомошная (баг-бр-зм), рододендрово-бруснично-зеленомошная (род-бр-зм), багульниково-моховая (баг-мох), ольховниково-багульниково-аулякомниевая (ол-баг-аул) и близкие к ним серии типов леса; здесь в роли доминанта выступает и голубика. Наблюдается постепенное вытеснение лиственницы кедром с подъемом вверх, но при этом не происходит сколько-нибудь заметной перестройки нижних ярусов. Видовая насыщенность этих серий невысокая. Значительно возрастает роль психрофитов.

Производительность лиственничников и сосняков горно-таежных однозначно определяется тепловыми ресурсами местообитаний, тогда как для подтаежных и лесостепных лесов лимитирующим фактором выступает и недостаток почвенного увлажнения, особенно на каменистых склонах. В результате класс бонитета насаждений колеблется в широких пределах: от II до V в горно-таежных и от I до IV в подтаежных и лесостепных лиственничниках и сосняках.

Кедровники слагают в данной климатической фации преимущественно высокогорную тайгу и подгольцовые редколесья нередко с участием лиственницы. Здесь более, чем в других фациях, характерны ерниково-моховые (ерн-мох), ерниково-зеленомошные (ерн-зм), ерниково-лишайниковые (ерн-лиш), багульниково-бруснично-моховые (баг-бр-мох) серии типов леса, представленные вариантами с высокой константностью брусники. В роли доминантов выступают также осоки Ильина и шаровидная, вейники тупоколосковый и Лангсдорфа, голубика. Для мохового покрова характерно сочетание зеленых мхов (этажного, дикранумов, мха Шребера) со сфагновыми мхами, кукушкиным льном и аулякомнием при незначительном преобладании какой-либо группы. Эта пестрота обязана

своим происхождением мерзлотным процессам, повсеместно развитым в почвах.

Небогатый видовой состав пополняется за счет субальпийского и лесного разнотравья (сосюра альпийская, жарок, водосбор сибирский, герань белоцветковая, горец змеиный, сныть альпийская и др.).

В южных районах при достаточно высоких показателях радиационного баланса даже на больших абсолютных высотах можно встретить кедровники почти без мохового яруса, сходные по составу с лиственничниками спирейно-осочковыми и бруснично-рододендронново-злаковыми. Значительная часть их местообитаний занята пирогенными лиственничниками.

В недостаточно влажной климатической фации распространены самые ксероморфные типы подгольцовых лесов и редколесий: лиственничные ерниково-овсяницевые (ерн-овс), ерниково-лишайниковые (ерн-лиш), водяниково-лишайниковые (вод-лиш), голубично-багульниково-аулякомниевые (баг-аул), ритидиево-рододендронново-брусничные (ритид-род-бр), ритидиево-овсяницевые (ритид-овс). Характерные доминанты и субдоминанты в лесах данной субаридной фации — мох ритидиум морщинистый, овсяницы овечья, сфагновая, алтайская, водяника, нигде ранее не отмеченные заметной фитоценотической ролью. На южных склонах нередки ерниково-разнотравные и гераниево-злаковые (гер-зл) лиственничники с геранью белоцветковой, мятликом сибирским, овсяницей овечьей, осокой стоповидной и многими видами высокогорных остепненных лугов. Они сочетаются с подгольцовыми багульниково-сфагновыми, ерниково-лишайниковыми и водяниково-лишайниковыми (вод-лиш) кедровниками и лиственничниками Va класса бонитета. Возобновление кедра, как правило, слабое или отсутствует.

На контакте со степями характерно развитие ритидиевых лиственничников, которые также именуется сухомышными [Крылов, Речан, 1967]. Мох ритидиум морщинистый выполняет, по-видимому, важную роль вида-детерминанта для всей описываемой климатической фации, встречаясь в составе разных серий типов леса вплоть до высокогорий. В еще более аридном климате ритидиевый цикл отмечает распространение псевдотаежного ВПК [Леса МНР, 1983].

Детальная систематизация типов леса, выделяемых нами в субаридную климатическую фацию, приведена С. А. Ильинской [1980]. Она обосновывает выделение своеобразных перистепного, травяно-таежного и субальпийско-подгольцово-таежного остепненного ВПК, что на рассматриваемой схеме получает подтверждение (см. рис. 29).

Заканчивая обзор основных серий типов леса, проследим некоторые тенденции изменения их состава в направлении возрастания сухости при близких показателях радиационного баланса. Для этого мы выберем класс горно-таежных ВПК, занимающий основную часть на схеме и пространственно наиболее выраженный в Южной Сибири. В избыточно влажных районах он представлен фоновыми сериями, которые могут быть объединены в одну крупную группу травяно-зеленомошных (гигромезофильных) типов леса. Общие для

нее признаки — несколько избыточное проточное увлажнение, достаточно высокий лесорастительный потенциал, большая конкуренция трав в ходе естественного лесовозобновления, в особенности на вырубках. Преобладание получает пихта, хотя она не использует полностью лесорастительный потенциал местообитаний. Лимитирующим фактором для роста всех древесных пород, и особенно пихты, может оказаться недостаток тепла. Почвенная влага не лимитирована ни в один сезон года. Избыток атмосферной влаги в сочетании с фитоценотическими факторами ограничивает рост всех древесных пород, кроме пихты.

В группе влажных районов (с преобладанием влажной климатической фации темнохвойных лесов) фон образуют кустарничково-зеленомошные (с черникой в верхней высотной полосе и брусникой в нижней) типы леса. Кедр является преобладающей породой. Возобновление его в основном успешное. Травяно-зеленомошные серии большей частью переходят в положение подчиненных, тяготея к вогнутым склонам и мощным почвам. Лимитирующим фактором, как и в первом случае, выступает теплообеспеченность, локально может сказываться и периодический недостаток почвенной влаги.

Последовательно продвигаясь в направлении возрастания сухости климата, мы отмечаем в умеренно влажной климатической фации закономерное возрастание роли лиственницы и все более выраженное доминирование серий брусничного и багульникового циклов, полное исчезновение черничников и мелкотравно-зеленомошных (с кислицей) типов леса. Бруснично-разнотравная серия становится более ксероморфной, а затем замещается бруснично-злаковой (с вейником Павлова), в целом более олиготрофной и ксероморфной. Дальнейшее продвижение вдоль оси абсцисс неизбежно должно привести к границе леса и степи. В контакт с горной степью вступят перистепные и горно-таежные лиственничники наиболее сухой климатической фации, тогда как подтайга и лесостепь выклиниваются. Ритидиевая, рододендронново-брусничная и ерниково-моховая серии, контрастные по своей экологии, весьма характерны для данной субаридной климатической фации. Лимитирующие факторы продуктивности — сухость, мерзлота почв, контрастность сезонных режимов в течение года.

На схеме ординации основных серий типов леса реальные границы климатического пространства, занятого каждой серией, не показаны. В большинстве случаев они значительно шире того климатопа, в котором данная серия является фоновой: сказывается многообразие почвенно-климатических ситуаций, свойственных любой горной местности, благодаря которым на разных элементах рельефа при неоднородном климатическом фоне создаются биологически равноценные местообитания. О них мы судим по сходству прежде всего нижних ярусов, а также по лесорастительному эффекту, выраженному классом бонитета древесных пород. Одним из частных проявлений биологической равноценности местообитаний служит правило предварения зональности, о котором было сказано выше. В конечном счете все представленные на схеме серии типов леса, подчиняясь

общему экологическому закону — закону минимум-фактора Либиха, занимают в большей или меньшей степени биологически равноценные местообитания, хотя варьирование их неизбежно не только по параметрам климата, но и по всем другим параметрам, включая и собственно фитоценоотические признаки.

Было бы неверно утверждать, что представленные зональные серии типов леса равнозначны по своей экологической валентности, напротив, легче доказать обратное. Можно также убедиться в том, что тщательное сравнение представительных описаний типов леса из разных районов и провинций обнаружит некоторые различия. Показательнее, однако, мера их флористической общности, хотя с ботанико-географических позиций можно было бы ожидать большего своеобразия географических вариантов серий. В частности, они свойственны и бруснично-разнотравной, и осочково-разнотравной, и широколиственно-папоротниковой сериям типов леса, трактуемым достаточно широко. Такая трактовка оправдана тем, что даже внутри одного лесорастительного района имеется значительное варьирование данных серий как по видовому составу, так и по производительности [Типы лесов..., 1980; и др.].

В нашем представлении не всегда оправдана излишняя детализация при выделении серий и типов леса, не подтвержденная достаточным фактическим материалом, показывающим пределы варьирования отдельных типов леса в конкретном районе. Весь опыт работы в горах говорит в пользу более четко различимых в природе типов и серий типов леса, разумеется, не теряющих внутренней общности признаков, важных для научной классификации и для практической деятельности.

### 3.2.4. Связи древесной растительности с почвами

Анализ имеющихся данных о взаимосвязях почв и растительности в данном горном регионе [Коляго, 1961; Носин, 1963; Назимова, Смирнов, 1970; Смирнов, 1970; Лесные почвы..., 1977; Горбачев, 1978; и др.] показывает, что однозначной связи между ними нет, зависимости носят сложный, вероятностный характер.

Дифференциация почвенного покрова на пояса подчиняется высотной климатической поясности, а нередко хорошо увязывается с высотной поясностью растительности. Указанная закономерность особенно хорошо прослеживается во влажных районах Северной Алтае-Саянской провинции, имеющей достаточно однородное литологическое строение. Здесь каждому поясу растительности отвечает один зональный генетический тип или подтип почв. В более контрастных климатических условиях умеренно и недостаточно влажных районов эта связь нарушается из-за резко выраженной экспозиционной асимметрии ландшафтов, и тогда для одного пояса зональными могут оказаться два типа почв.

Анализ взаимосвязей лесных формаций и генетических типов почв показал, что одинаковые формации распространены на самых разнообразных почвах, даже резко различающихся по своим лесо-

растительным свойствам. Взаимосвязи древесной растительности с генетическим типом почв опосредованы климатом. В пределах одного климатического пояса под разными породами могут образовываться одинаковые почвы.

На основе полихорического показателя связи Д. И. Назимовой [1975] было установлено, что связь лесобразующих пород-эдификаторов с генетическими типами почв очень низка. Несколько повышается она с зональными группами формаций. Еще более высокая связь генетических типов почв с сериями ассоциаций, выделенными по сходству доминантов и сопутствующих им групп видов — индикаторов. Важно подчеркнуть, что из множества серий, обусловленных разнообразием экотопов, антропогенными и пирогенными факторами и т. д., наиболее информативны для климатического анализа те, которые ближе всего к зональным типам эдафотопов [Воробьев, 1967]. Это и будут зональные климаксовые сообщества или, иначе, климакс-серии.

Особый акцент в рассмотренных работах авторами сделан на связь растительности именно с генетическими типами почв, так как этот вопрос был исследован с целью разработки принципов естественной и генетической классификации лесов.

Помимо генетической принадлежности почв, анализировали также и некоторые другие характеристики: минеральное богатство, мехсостав, скелетность и другие, их связь с производительностью лесов. Анализ связей между почвенными показателями и производительностью древостоев был произведен на качественном уровне, выявлены общие закономерности изменения продуктивности лесов в зависимости от почвенных факторов, также было указано на необходимость подтверждения качественных закономерностей на основе объективных количественных методов.

Мы в продолжение этих работ исследовали связи древесной растительности и почв на основе информационно-статистического анализа. В качестве почвенных характеристик вслед за Л. О. Карпачевским и др. [1978] были использованы генетический тип почв, мощность органогенного горизонта, содержание гумуса, степень насыщенности основаниями, содержание обменных оснований и подвижных форм калия и фосфора, соотношение  $C : N$ ,  $pH$  в первом минеральном горизонте почвенного профиля, а также мехсостав и скелетность.

Данные по почвенным показателям взяты из монографий М. П. Смирнова [1970] и Д. И. Назимовой [1975]. В табл. 32 приведены коэффициенты сопряженности между доминирующей породой и почвенными показателями. Средний коэффициент для почвенных характеристик равен 6,9%, что вдвое меньше, чем коэффициент сопряженности с климатическими показателями, равный 16,3%. Из рассмотренных почвенных показателей наиболее высока связь доминирующей породы со степенью насыщенности основаниями и генетическим типом почвы.

Достаточно высока связь доминирующей породы с  $pH$  почвы. Другие почвенные характеристики примерно равнозначны в опре-



Таблица 32

Меры сопряженности между морфологическими характеристиками древостоев и почвенными показателями

Характеристика насаждений	Генетический тип почвы	Механический состав	Скелетность	Мощность органо-генного слоя
Состав	13,1	4,0	5,0 *	6,9
Бонитет	7,9	15,2	13,1	20,7

Характеристика насаждений	Характеристики 1-го минерального горизонта						pH
	C : N	Содержание гумуса	Степень насыщенности основаниями	Обменные основания	Питательные элементы		
					форфор	калий	
Состав	—	4,8 *	13,4	4,0 *	4,7 *	2,9 *	10,1
Бонитет	11,4	5,3 *	11,9	5,1 *	21,4	9,3	10,3

\* Уровень значимости менее 20%.

деления породы, и связь с ними значительно меньше, чем с ведущими.

Анализ мер толерантности древесных пород к почвенным условиям показал, что в горах Южной Сибири наиболее чувствительны к ним пихта и сосна, а кедр и лиственница более толерантны (табл. 33). Эти выводы не противоречат полученным ранее данным [Поликарпов, 1970].

В табл. 34 показаны прямые отображения доминанты древесного яруса на координаты почвенных характеристик. Плюсом отмечены наиболее характерные состояния. При широком распространении кедра и лиственницы на всех типах почв для кедра предпочтительными остаются почвы двух типов: горные подзолистые (и близкие к ним перегнойно-подзолистые, торфянисто-перегнойно-подзолистые)

Таблица 33

Меры толерантности основных лесообразующих пород к почвенным факторам \*

Порода	Генетический тип почвы	Механический состав	Скелетность	Мощность органо-генного слоя	Характеристики 1-го минерального горизонта						pH
					Содержание гумуса	Степень насыщенности основаниями	Обменные основания	Питательные элементы			
								фосфор	калий		
Кедр	2	1-2	1	1	2-3	1	1-2	1	3	3	
Пихта	4	4	2	2-3	4	2	4	3	1-2	4	
Лиственница	1	1-2	3	2-3	1	3	3	2	1-2	1	
Сосна	3	3	4	4	2-3	4	1-2	4	4	2	

\* Меры толерантности представлены оценочным рядом (от 1 до 4) по мере возрастания чувствительности к данному фактору.

Таблица 34

Прямые отображения доминирующей породы на почвенные факторы

Порода	Генетический тип почвы*						Мера толерантности
	1	2	3	4	5	6	
Кедр	+		+				0,267
Пихта			+			+	1,020
Лиственница	+	+		+	+		0,023
Сосна			+	+	+		0,552

Порода	Механический состав					Мера толерантности
	сугл. легк.	сугл. сред.	сугл. тяж.	глина легк.	глина сред.	
Кедр			+	+		0,791
Пихта			+	+		0,081
Лиственница		+				0,137
Сосна	+	+				

Порода	Скелетность, %			Мера толерантности
	0-30	31-70	>70	
			+	
Кедр		+		0,068
Пихта	+	+		0,237
Лиственница	+		+	0,480
Сосна	+			

Порода	Мощность органо-генного горизонта, см			Мера толерантности
	<10	10-20	>20	
			+	
Кедр		+		0,195
Пихта	+	+		0,192
Лиственница	+			0,917
Сосна	+			

Порода	Содержание гумуса в минеральном слое, %			Мера толерантности
	<10	10-15	15-20	
			+	
Кедр		+		0,773
Пихта	+			0,003
Лиственница	+	+		0,089
Сосна			+	

Порода	pH 1-го минерального горизонта				Мера толерантности
	<5	5-6	6-7	>7	
			+		
Кедр		+			0,833
Пихта	+		+		0,011
Лиственница	+	+	+	+	0,243
Сосна		+	+		

Окончание табл. 34

Порода	Степень насыщенности основаниями, %			Мера толерантности
	<30	31—70	>70	
Кедр			+	0,221
Пихта		+		0,285
Лиственница	+			0,340
Сосна		+		0,930
	Содержание обменных оснований в горизонте, мг-экв/100 г			
	<20	21—40	>40	
Кедр	+	+		-0,065
Пихта		+		0,653
Лиственница		+	+	0,051
Сосна	+			-0,031
	Содержание подвижных форм калия, мг/100 г			
	<10	10—20	20—30	>30
Кедр		+	+	+
Пихта	+			+
Лиственница	+		+	
Сосна	+	+		
				0,074
				-0,007
				-0,025
				0,899
	Содержание подвижных форм фосфора, мг/100 г			
	<5	5—10	10—20	>20
Кедр		+	+	
Пихта	+	+		
Лиственница				+
Сосна	+			
				-0,190
				0,715
				-0,046
				1,470

\* По Д. И. Назимовой, М. П. Смирнову [1970].

1 — горно-таежная торфянисто-перегнойная мерзлотная и длительно-сезонно-мерзлотная; 2 — горно-таежная перегнойная неоподзоленная; 3 — горно-подзолистая, перегнойно-подзолистая, торфянисто-перегнойно-подзолистая, торфянисто-перегнойная оподзоленная; 4 — горно-лесная дерновая неоподзоленная и дерново-карбонатная; 5 — горно-лесная дерновая оподзоленная (без мерзлоты); 6 — горно-таежная бурая оподзоленная и неоподзоленная.

и горно-таежные бурые почвы, а для лиственницы — дерново-карбонатные и горно-таежные перегнойные неоподзоленные. Обе породы могут расти на мерзлотных почвах в отличие от пихты и сосны, которые их избегают. Пихта предпочитает горно-таежные бурые и горные перегнойно-подзолистые почвы. Сосна растет на горных перегнойно-подзолистых и дерново-карбонатных почвах.

Анализ связи доминирующей породы и мощности органогенного горизонта показал, что наиболее характерная его мощность для темнохвойных пород составляет 10—20 см, что говорит о широком

распространении этих пород в прохладном климате, способствующем аккумуляции органического вещества в верхних горизонтах почвы. Для светлохвойных пород наиболее характерная мощность органогенного горизонта — менее 10 см.

Неоднозначна связь доминирующей породы с содержанием гумуса в первом минеральном горизонте. Наиболее высокое его содержание отмечается под сосновыми древостоями — 15—20%, под другими — 5—15%. Отмечается четкая зависимость между мехсоставом и преобладающей породой. Темнохвойные породы предпочитают более богатые почвы утяжеленного состава. Светлохвойные породы, особенно сосна, приурочены к почвам легкого состава. Все породы, кроме сосны, могут произрастать на грубо скелетных почвах.

Наиболее высокая степень насыщенности основаниями в первом минеральном горизонте характерна для светлохвойных пород, особенно для лиственницы, средняя — для пихты, наименьшая — для кедр. Высокое содержание обменных оснований (более 40 мг × экв/100 г) отмечается для лиственничников, наименьшее (менее 20 мг-экв/100 г) — для сосняков.

В отношении минерального питания связи определены неоднозначно. Возможность усвоения элементов питания полностью определяется гидротермическими условиями почв.

Анализ расположения пород по координате pH показал, что под темнохвойными породами, особенно под кедровниками, почвы кислые (pH < 5), под лиственницей и сосной — слабокислые, ближе к нейтральным (pH ~ 7).

Таким образом, на основе проведенного анализа можно сделать вывод о том, что влияние почвенных показателей на распределение основных лесобразующих пород в горах Южной Сибири достаточно высоко, но в целом меньше, чем климатических параметров. Из рассмотренных характеристик почв наибольшее влияние имеют генетический тип почв и степень насыщенности основаниями, остальные — значительно меньше. Наиболее экологически пластичными к почвенным условиям являются кедр и лиственница, наиболее избирательна пихта.

### 3.3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД

Широкий набор сочетаний экологических условий, охваченных маршрутными лесоводственно-географическими исследованиями в горах Южной Сибири — от Алтая и Кузнецкого Алатау на западе до мерзлотных горных районов (Северное Забайкалье) на востоке, благоприятствовал выявлению основных особенностей состава, строения, роста, формирования и продуцирования биомассы лесобразующих пород в различных экологических условиях. Помимо общепринятых методов перечислительной таксации важное место в исследованиях этого плана занимал сравнительный анализ хода роста модельных деревьев разных пород и поколений. Лесотипологическая часть этих

исследований достаточно полно обобщена в книге «Типы лесов гор Южной Сибири» [1980]. Почвенная часть исследований в значительной мере отражена в монографиях М. П. Смирнова [1970] и В. Н. Горбачева [1978].

Кроме гор Южной Сибири аналогичные исследования были проведены в отдельных горных и повышенных плоскогорных районах Средней и Восточной Сибири (Енисейский край, Верхнеленская возвышенность и др.), материалы по которым вошли в общий анализ. Помимо выявления экологических особенностей и сравнительной продуктивности лесобразующих пород на различном регионально-экологическом фоне, указанные исследования позволили произвести оценку взаимоотношений древесных пород на этом фоне [Поликарпов, 1970].

Во взаимоотношениях древесных пород наряду с внешними экологическими условиями большую роль играют их биологические и в особенности физиологические свойства. Поэтому результаты сравнительно-географического анализа корректировались данными стационарного изучения физиологии надземных и подземных органов деревьев (водный режим, окислительно-восстановительные процессы, ассимиляция и дыхание, азотный и углеводный обмен, особенности минерального питания и др.). Параллельное стационарное изучение экологических условий позволяло уточнять степень влияния различных климатических и почвенно-гидрологических факторов на ростовые процессы и жизнедеятельность деревьев, выявлять степень требовательности древесных пород в отношении отдельных факторов среды, их жизнестойкость и физиологическую активность в разной экологической обстановке [Судачкова и др., 1967]. В качестве индикатора физиологической активности, с которым хорошо коррелируют процессы роста и жизнедеятельности древесных растений, использован, например, показатель интенсивности транспирации. Снижение этого показателя, как правило, сопровождается снижением ростовых процессов и интенсивности обмена веществ.

Соотношение основных лесобразующих пород в целом по горам Южной Сибири отражено в табл. 3. Главными лесобразователями здесь являются кедр сибирский (30% лесопокрытой площади) и лиственница сибирская (28% вместе с лиственницей даурской, представленной лишь на крайнем востоке описываемой территории и пока не выделяемой еще отдельно при лесоустройстве). Если кедр распределен по всей территории сравнительно равномерно, то в распределении лиственницы отчетливо выражено резкое увеличение ее долевого участия по мере перехода от избыточно влажных районов (5—8%) к недостаточно влажным (60—70%).

На третьем месте по распространению стоит пихта сибирская (16%). Эта порода размещена по районам Южной Сибири крайне неравномерно: в избыточно влажных она занимает от 40 до 70% площади, во влажных — порядка 5—8%, а в умеренно влажных районах ее роль как лесобразователя практически утрачивается.

Из других хвойных распространены сосна обыкновенная

(в среднем около 10%, с более широким распространением во влажных и умеренно влажных районах) и в меньшей степени — ель сибирская (2% в среднем и до 5% во влажных районах). Из лиственных довольно широко представлены березняки (около 10%) и осинники (3—4%), причем в избыточно влажных районах долевого участие лиственных составляет 20—25%, во влажных — 15—20%, в умеренно влажных — порядка 5%, а в недостаточно влажных — не более 2—3%.

Из прочих лесобразователей (около 2%) можно отметить кедровый стланик (на крайнем северо-востоке территории, где его участие может достигать 5—8%) и ерники (кустарниковые березы, ивы, ольховник, лапчатка кустарниковая и др.), тяготеющие к высокогорьям (горная лесотундра), где их долевого участие может достигать 3—5%.

Анализ распределения лесобразователей по высотным (тепловым) поясам показывает примерно равное участие во всех поясах лиственницы и резкое увеличение с высотой долевого участия кедра (в низкогорьях — 5—7%, в среднегорьях — около 30% и в высокогорьях — до 60—70% лесопокрытой площади). Распространение сосны, пихты и ели ограничено низкогорной и среднегорной высотными полосами, а в высокогорьях долевого участия этих пород не превышает 1—2%. То же самое можно сказать и о размещении лиственных пород, причем осина отчетливо тяготеет к низкогорьям избыточно влажных районов (черневой пояс), где соотношение площадей осинников и березняков близко к единице (в целом по низкогорьям это соотношение выражается величинами порядка 1:2, а по среднегорьям — 1:6 в пользу березы). В высокогорья береза (древесные виды) и тем более осина практически не заходят.

Обобщенные показатели потребности основных лесобразователей Сибири в климатических и почвенных условиях сведены в табл. 35. Для оценки условий относительной влажности климата использованы гидротермические коэффициенты Селянинова (далее сокращенно ГТК) за «активный период». В условиях Сибири эти коэффициенты пока являются более универсальными, чем радиационный индекс сухости, так как определение их обеспечено прямыми наблюдениями системы гидрометеослужбы и не осложнено расчетами радиационного баланса. Часть экологических показателей из-за сложности их цифровой интерпретации выражена лишь в условных единицах (сравнительный оценочный ряд), подтвержденных опытными данными или наблюдениями.

Как показывают исследования (табл. 35), наиболее требовательным лесобразователем в Сибири является пихта сибирская (рис. 30). Ее экологический ареал ограничен прежде всего довольно узкими климатическими рамками. Важнейшее условие формирования пихтовых лесов — высокая влажность климата, характеризующаяся значениями гидротермических коэффициентов «активного периода» (ГТК) выше 1,8. Такая влажность свойственна в основном лишь избыточно влажным горным районам с циклоническим режимом климата. При более низкой влажности климата пих-

## Экологические показатели основных лесобразующих пород гор Южной Сибири

Показатель потребности	Пихта сибирская	Кедр сибирский	Ель сибирская	Лиственница сибирская	Сосна обыкновенная	Лиственница даурская
<b>В тепле</b>						
Сумма температур выше 10°, град	>700 (5)	>300 (3)	>600 (4)	>300 (2)	>1000 (6)	>200 (1)
Продолжительность периода с температурами выше 10°, дни	>90 (5)	>50 (3)	>80 (4)	>50 (2)	>100 (6)	>30 (1)
Чувствительность к заморозкам	(6)	(4)	(5)	(2)	(3)	(1)
<b>Во влаге</b>						
Годовое количество осадков, мм	>500 (6)	>450 (5)	>330 (4)	>300 (3)	>200 (1)	>200 (2)
ГТК периода с температурами выше 10° (по Селянинову)	>1,8 (6)	>1,6 (5)	>1,3 (4)	>1,1 (3)	>0,8 (1)	>0,9 (2)
Относительная влажность воздуха в 13 ч самого сухого месяца, %	>(45—50) (6)	>(40—45) (5)	>(30—35) (4)	>(30—35) (3)	>30 (1)	>30 (2)
Показатели оптимальной относительной влажности воздуха, %	50—60 (6)	45—50 (5)	35—40 (4)	35—40 (3)	30—40 (1)	35—40 (2)
<b>В умеренности климата</b>						
Годовая амплитуда температуры воздуха, град	<35 (6)	<40 (5)	<45 (4)	<55 (2)	<50 (3)	<60 (1)
Коэффициент континентальности (по Бабенкову)	<55 (6)	<65 (5)	<75 (4)	<90 (2)	<80 (3)	<95 (1)
В освещенности	(1)	(3)	(2)	(5)	(4)	(6)
<b>В почвенных факторах</b>						
Тепло	(5)	(4)	(3)	(2)	(6)	(1)
Влажность	(5)	(4)	(6)	(2)	(1)	(3)
Минеральное богатство	(6)	(4)	(5)	(3)	(1)	(2)
Распространение древесной породы по группам районов:						
преобладание	IV	III—IV	III	I—II(III)	II—III	I—II
участие	II—III	I—II	I—IV	III(IV)	I, IV	III
Верхние пределы распространения:						
массивное, м	1500	2200	1500	2300	1200	2000
рассеянное, м	1700	2400	2100	2500	1600	2100

Примечание. Ряд возрастания степени требовательности к данному фактору (1), (2), (3) и т. д. Группы лесорастительных районов: I — недостаточно влажные, II — умеренно влажные, III — влажные, IV — избыточно влажные.



Рис. 30. Горно-черневой пихтарник крупнотравный II класса бонитета (бассейн р. Сисим в Восточном Саяне, абс. высота 700 м).

та отступает на северные склоны и в закрытые долины или полностью утрачивает роль лесобразователя.

Наибольшая интенсивность транспирации наблюдается у пихты при высоких показателях относительной влажности воздуха — 50—60% [Судачкова и др., 1967]. Падение среднемесячной относительной влажности воздуха в 13 ч ниже 50%, а также горные суховеи (фены) действуют на нее губительно. Напротив, она хорошо пере-

носит повышение относительной влажности воздуха до 80—90%.

Другой важной экологической особенностью пихты является ее теплолюбие — свойство, по которому она превосходит все сибирские хвойные породы, кроме сосны. Преобладанию пихтарников в горах кладут предел суммы «активных» температур порядка 700—800°C. Этим показателям в горах Южной Сибири соответствуют абсолютные высотные отметки порядка 1200—1300 м и вегетационный период продолжительностью около 3 мес.

Пихта больше других хвойных пород боится заморозков, свойственных прежде всего континентальным районам, часто повреждается ими и поэтому не может успешно произрастать в условиях высокой континентальности климата: при среднегодовой амплитуде температур выше 35°C, т. е. в большинстве горных районов Сибири. На открытых местах в наименее влажных частях своего экологического ареала пихта в массе страдает также и от солнечных ожогов (сплошные вырубки и т. п.).

Всем вышеизложенным и объясняется четко выраженное тяготение пихты к черневому поясу (см. рис. 28) с его влажным, сравнительно теплым и смягченным климатом и продолжительным вегетационным периодом (4,5—5 мес). Область потенциального распространения пихты в Сибири — наименьшая из всех рассматриваемых лесообразователей.

Высокая требовательность пихты к почве в наибольшей степени выражена в условиях, отдаленных от ее климатического оптимума. В подобных условиях пихта занимает лишь наиболее плодородные, развитые и дренированные почвы. Она не выносит холодных и тем более мерзлотных почв, поэтому преобладание пихты в древостое служит надежным признаком отсутствия многолетней мерзлоты. Избегает пихта сухих и сильноскелетных почв. Однако в наиболее благоприятных климатических условиях (при показателях ГТК более 2,0, годовой сумме осадков порядка 600—1000 мм, мощности «утепляющего» почву снежного покрова более 50—60 см и достаточной сумме активных температур) пихта успешно растет даже на грубоскелетных почвах. Она определенно тяготеет к хорошо дренированным почвам, уступая вогнутые склоны и лога с холодными и переувлажненными почвами кедр и ели.

В неблагоприятных климатических и почвенных условиях (мерзлотные и заболоченные почвы, высокогорья и др.) пихта резко снижает рост и семенную производительность и активизирует вегетативное размножение (укоренением ветвей).

Во взаимоотношениях пихты с другими лесообразователями главными ее преимуществами являются высокая теневыносливость и способность переносить резко избыточную влажность климата, характеризующуюся показателями ГТК до 6,0—7,0 и более. Эти свойства позволяют пихте вытеснять все древесные породы в наиболее влажных районах гор Южной Сибири, чему немало способствует и ее высокая семенная производительность. По мере ухудшения климатических и почвенных условий снижается доля участия пихты в составе древостоя, падают показатели роста и развития и ослабля-

ются ее конкурентные возможности. В подобных условиях пихта обычно образует хорошо выраженный второй ярус и преобладает в составе возобновления.

Отмечается усиление позиций пихты в соответствии с увлажнением и потеплением климата последних десятилетий и довольно энергичное проникновение ее под полог древостоев в светлохвойном поясе и полосе подтаежных лиственных лесов.

К числу биологических особенностей, ослабляющих конкурентные способности пихты, можно отнести ее недолговечность (в массе отмирает к 150—160 годам), крайне низкую пожароустойчивость (при пожарах гибнет почти полностью), высокую ветровальность (из-за слабого укоренения) и особенно буреломность (из-за массового повреждения гнилями).

Кедр сибирский (рис. 31) также предъявляет повышенные требования к влажности климата, но не столь высокие, как пихта. Он может произрастать в районах, где средняя относительная влажность воздуха наименее влажного месяца (обычно мая) составляет всего 40%, но лишь при средней влажности воздуха в 13 ч этого месяца 45—50% формирует темнохвойный пояс или массив. В горах Южной Сибири границе соответствуют показатели ГТК порядка 1,6, коэффициент увлажнения Мезенцева 1,2, радиационный индекс сухости Будыко около 0,75 и среднегодовая сумма осадков в низкогорьях около 600—700 мм, а в высокогорьях около 500 мм.

Наибольшая интенсивность транспирации у кедра наблюдается при относительной влажности воздуха 45—50%. Повышение влажности воздуха до 90% вызывает снижение интенсивности транспирации у него примерно вдвое [Судачкова и др., 1967]. Поэтому избыточно высокая влажность воздуха, составляющая в верхней части темнохвойного пояса в районах избыточно влажного климата более 70% в 13 ч. в среднем за «активный период», определенно угнетает кедр. Пихта же переносит ее удовлетворительно. В то же время с уменьшением влажности воздуха (в среднем за активный период до 55%) и повышением континентальности климата кедр уступает территорию лиственнице, сосне и частично ели. Оптимальной для кедра является средняя относительная влажность воздуха в 13 ч за активный период от 60 до 70%. А оптимум относительного увлажнения выражен показателями ГТК от 2,0 до 3,5 и индекса сухости от 0,65 до 0,4.

Несмотря на принадлежность кедра к роду сосен, его экологические свойства совсем иные, чем у сосны обыкновенной. Поэтому экологические ареалы кедра и сосны перекрываются редко. Сосна — теплолюбивая порода сухого и континентального климата, в то время как кедр — порода умеренно влажного климата, хорошо мирящаяся с нехваткой тепла.

Кедр морозостоек, холодостоек и может расти в условиях холодного климатического пояса (см. табл. 35) на высотах до 2300—2400 м при суммах активных температур менее 400° и продолжительности активного периода всего 1,5 мес. В этом отношении он



Рис. 31. Горно-таежный кедровник чернично-зеленомошный III—IV класса бонитета (хр. Араданский в Западном Саяне, абс. высота 900 м).

почти не уступает лиственнице. К заморозкам и резким колебаниям температур кедр также устойчив, однако в определенных пределах: в резко континентальном климате при амплитуде температур более  $40^{\circ}$  (коэффициент континентальности более 60—65) он уступает господство лиственнице, а также сосне и ели (см. табл. 35).

Следует также отметить, что, хотя заморозки обычно не повреждают вегетативных органов кедра, генеративные его органы перед цветением очень чувствительны к ним. Камбий кедра чувствителен к высоким температурам (пожарам) и может повреждаться даже при резком осветлении ствола (солнечные ожоги).

По степени теневыносливости в молодости кедр уступает лишь пихте и ели. Но во всех условиях, в том числе в первые годы жизни в лесу и при выращивании в лесных питомниках, он не нуждается в отенении и лучше всего растет при полном освещении. Степень светолюбия кедра возрастает с возрастом и ухудшением условий произрастания (высокогорья, заболоченные типы леса и т. п.). «Световое довольствие» подростка кедра (минимальное количество света, при котором подрост продолжает расти и развиваться, хотя и в угнетенном состоянии) составляет в возрасте 1—2 года 0,5—1 тыс. лк (1—3% от полного освещения), в возрасте 6—10 лет 3—5 тыс. лк (6—9%) и в возрасте более 15 лет — более 7 тыс. лк (более 13%). В соответствии с такими показателями под пологом пихтовых и еловых насаждений, а также под очень сомкнутым материнским пологом дольше 10—15 лет кедр выживает лишь в «окнах». В среднеполотных насаждениях он может выдерживать угнетение материнского полога до 30—50 лет. Под пологом березняков, осинников, сосняков, лиственничников, а также в редкостойных материнских древостоях высокая жизнеспособность кедра может сохраняться до 70—100 лет и более, и со временем он может выходить здесь в главный полог.

В травяных типах (особенно в черневом поясе) освещенность под травами обычно ниже светового довольствия кедрового подростка возраста 3—5 лет, поэтому здесь наблюдается массовый отпад кедра в самые первые годы жизни. Напротив, над травами освещенность обычно выше, чем в большинстве других типов леса, и условия для выживания подростка старше 10—15 лет здесь лучше, а его вращание в материнский полог идет успешнее.

В противовес высокой требовательности к влажности и умеренности климата кедр малотребователен к почве. При достаточной влажности климата он растет на верховых торфяных болотах, каменистых россыпях и скалах, на глубоких песках и на почвах с близким залеганием длительной мерзлоты. По способности расти на холодных и мерзлотных почвах кедр уступает лишь лиственнице и в меньшей степени — ели. Однако экологический ареал кедра характеризуется средней мощностью снежного покрова более 40—50 см, поэтому в целом развитие мерзлотных процессов в почве под кедровниками всегда ослаблено. Кедр хорошо переносит избыточное почвенное увлажнение и нередко приурочен к заболоченным почвам (южная подзона равнинной тайги и др.). Однако это больше связано не с потребностью в высокой влажности почв (как, например, у ели), а с прессом лесных пожаров и способностью образовывать придаточные корни в таких условиях.

Лучшего развития кедр достигает на хорошо дренированных (азрированных), развитых, свежих (умеренно влажных), хорошо

оструктуренных, супесчаных, суглинистых и щебнистых почвах: надпойменные террасы речных долин с проточно-переувлажненными почвами, делювиальные шлейфы низко- и среднегорных склонов (серые, бурые и дерново-подзолистые типы почв). В избыточно влажном климате оптимальными для кедр являются хорошо прогреваемые свежие щебнистые бурые («псевдоподзолистые») почвы южных склонов (разнотравная группа типов леса). В подобных условиях кедр образует насаждения I—II (до 1а) классов бонитета с запасами до 600—700 м<sup>3</sup>/га. В менее влажном климате на сухих известковых и песчаных почвах он уступает место лиственнице и сосне. Как уже отмечалось А. В. Хохриным [1981], наилучшие показатели роста кедр наблюдаются при высокой (до 90%) насыщенности основаниями, при большом (до 12%) содержании гумуса и особенно на почвах богатых фосфором (более 25 мг на 100 г почвы). По кислотности предпочтительнее почвы нейтральные и слабокислые (рН водный не ниже 5,8).

Все изложенное выше определяет гораздо более широкую географию кедр в сравнении с пихтой, несмотря на близость их географических ареалов. Высокая холодостойкость кедр способствует тому, что в горных условиях он образует верхнюю границу леса (на высотах до 2000—2400 м), а на равнине переходит за Полярный круг (до 68—69° с. ш.) и близко подходит к северному пределу лесов, образованному здесь лиственницей. Южная граница экологического ареала кедр на равнине примерно совпадает с южной границей таежной зоны. Близ этой границы, на контакте тайги с подтайгой, кедр часто оттеснен пожарами на 20—40 км от границы возможного распространения и сохранился здесь преимущественно в типах леса на переувлажненных почвах. В Средней и Восточной Сибири, где условия для успешного произрастания кедровников на равнине не образуются, они формируются лишь в горах или на повышенных частях плоскогорий (Верхнеленская возвышенность и др.) в связи с высотным увлажнением и ослаблением континентальности климата. В избыточно влажных горных районах Южной Сибири условия увлажнения, достаточные для формирования темнохвойного пояса, создаются уже с высоты 300—400 м, а в недостаточно влажных и резко континентальных районах — лишь на высотах более 1500—1700 м, т. е. в холодном тепловом поясе, позволяющем формировать лишь низкопродуктивные леса и подгольцовые редколесья.

Северо-восточная и восточная границы ареала кедр определены исключительно высокой континентальностью и сухостью климата. В большинстве районов Северо-Востока СССР (Якутия и др.) минимально необходимой для произрастания кедр влажности климата не наблюдается даже в высокогорьях. Здесь, в области господства мерзлотных грунтов, кедр уступает свои позиции лиственнице даурской и кедровому стланнику.

К западу от Урала незначительное распространение кедр связано не с экологическими, а историческими и фитоценотическими причинами. В отличие от Сибири, в европейской части страны кедр сибирский может успешно произрастать на большей части лесной

площади: вся таежная зона и большая часть зоны смешанных лесов. Именно здесь, в южно-таежной подзоне и в зоне смешанных лесов, условия близки к экологическому оптимуму кедр.

В горах же Южной Сибири наиболее благоприятные для кедр сочетания тепла и влаги, соответствующие высокопроизводительным и высокоурожайным кедровникам, приурочены к низкогорьям черневого пояса избыточно влажных районов Алтае-Саянской горной области. Эти территории высокого природного потенциала должны служить объектом первоочередного хозяйственного внимания.

Взаимоотношения кедр с его главным конкурентом — пихтой определены отмеченными выше различиями в их биоэкологии. В черневом поясе, условия которого в наибольшей степени благоприятствуют кедр, он все же не выдерживает сильной конкуренции со стороны пихты и чистых насаждений почти не образует. В составе смешанных кедрово-пихтовых насаждений пихта либо преобладает (в большинстве насаждений), либо образует устойчивую примесь и второй ярус, способные при определенных условиях привести к смене кедр пихтой [Поликарпов, Назимова, 1963].

С ухудшением климатических и почвенных условий кедр становится относительно более конкурентоспособным и превосходит пихту по показателям бонитета на 1—2 класса. Его позиции в борьбе с пихтой особенно усиливаются по мере возрастания континентальности и сухости климата, хотя само по себе повышение континентальности климата кедр не благоприятствует. Таким образом, область экологического оптимума кедр (низкогорный черневой пояс) не совпадает с областью его доминирования или фитоценотическим оптимумом (полоса среднегорий влажного климата) именно в силу конкурентных взаимоотношений с пихтой.

В районах наиболее влажного климата (ГТК более 2,0, осадки более 700 мм, годовая амплитуда температур менее 35°, но сумма активных температур более 700°) кедр может успешно конкурировать с пихтой лишь на эродированных, относительно сухих крутых и выпуклых склонах, в заболоченных межгорных низинах и долинах, а также по скалистым гребням, на маломощных и грубоскелетных почвах, в морозобойных понижениях рельефа, на инсолируемых склонах с пониженной влажностью воздуха и в тому подобных почвенных и мезоклиматических условиях. Важными преимуществами кедр перед пихтой являются его высокая долговечность, а также способность при содействии кедровки более быстро заселять обширные площади гарей.

Основные сибирские лесообразователи — лиственница и сосна — большой конкуренции кедр не составляют, так как в силу различий в биоэкологии они разведены по разным поясам и массивам. Взаимоотношения кедр с лиственницей и сосной играют существенную роль в формировании лесного покрова лишь в полосе контакта светло- и темнохвойного поясов. В климатических условиях, соответствующих темнохвойному поясу (массиву), при отсутствии пожаров кедр вытесняет эти породы. Пожары повсеместно оттесняют кедр вверх, в условия более влажного климата. Поэтому



Рис. 32. Горно-таежный ельник пойменный кустарничково-вейниковый II класса бонитета (бассейн р. Казырсух в Западном Саяне, абс. высота 800 м).

полоса, соответствующая нижней части темнохвойного пояса, часто занята послепожарными насаждениями с преобладанием лиственных и светлохвойных пород и длительным периодом восстановления кедра.

Ель сибирская (рис. 32) в горах Сибири широкого распространения не имеет. Как отмечалось ранее, преобладание в составе здесь (область доминирования) она получает лишь по речным долинам, логам и вогнутым склонам, что обусловлено ее высокой требовательностью к влажности почвы. По своей экологии ель сильно отличается от пихты, так как переносит такую континентальность и сухость климата, которых не выдерживает ни кедр, ни тем более пихта. Она растет в естественных условиях даже в экстраконтинентальном климате (условия степи), при среднегодовой амплитуде температур более  $40^{\circ}\text{C}$  и при средней относительной влажности воздуха самого засушливого месяца 30—35%. Этим условиям соответствуют показатели ГТК менее 1,2 и среднегодовая сумма осадков порядка 300—350 мм и менее.

Устойчивость ели к атмосферной засухе подтверждается также физиологическими исследованиями. В условиях низкой относительной влажности воздуха (около 35%), когда даже у лиственницы сибирской наблюдалось падение транспирации в полуденные часы, несмотря на достаточную влагообеспеченность, у ели, напротив, именно в эти часы отмечались наивысшие показатели транспирации [Судачкова и др., 1967].

Ель нетребовательна к теплу и по способности расти на холодных и мерзлотных почвах превосходит все сибирские древесные породы, кроме лиственницы.

Экологический ареал ели в горах Сибири обусловлен в большей степени эдафическими факторами, чем климатическими условиями, так как она может успешно расти и в избыточно влажном климате при показателях ГТК 2,0—3,0. Значительного распространения в избыточно влажных районах ельники, однако, не получают из-за оттеснения ели в заболоченные низины и холодные долины более мощным конкурентом — пихтой. С усилением континентальности климата и соответственным ослаблением позиций пихты ель получает большее распространение. Отмечается тяготение ели к тенистым склонам, где за счет более поздней вегетации она избегает губительного влияния весенних заморозков.

Вследствие больших различий экологии пихты и ели устойчивые смешанные лесные формации этих пород для гор в целом не характерны: в избыточно влажных районах из-за вытеснения ели пихтой (соотношение площадей этих пород порядка 1 : 40), в континентальных, напротив, из-за слабости позиций пихты.

Лиственницы сибирская и особенно даурская более других пород приспособлены к условиям резко континентального климата и поэтому служат главнейшими лесообразователями в большинстве районов Восточной Сибири, Забайкалья, Тувы и других с годовой амплитудой температур  $35\text{—}50^{\circ}\text{C}$  (в целом почти на половине лесной площади Сибири). Пихта, как было отмечено, не образует насаждений при такой континентальности климата, и поэтому эколого-фитоценологические ареалы лиственниц и пихты перекрываются очень редко.

К теплу лиственницы не требовательны и могут образовывать устойчивые насаждения в условиях холодного климата (в горах — на абсолютных высотах до 2400 м).

Лиственницу сибирскую (рис. 33) отличает очень обширный экологический ареал с амплитудой высот до 2000 м: от контактов с низкогорными степями до контактов с высокогорными тундрами. При очень широкой экологической амплитуде этой древесной породы отчетливо прослеживается отмеченное ранее смещение ее эколого-фитоценологического ареала (области доминирования) в сторону засушливого экстраконтинентального климата со свойственной этому климату мерзлотностью почвогрунтов.

Несколько своеобразную экологическую нишу занимают лиственничники Центрального Алтая, произрастающие в условиях влажной климатической фации. Здесь лиственница сибирская определенно занимает значительную часть экологической ниши кедра и отчасти пихты. Объяснить это можно лишь историческими причинами и давним антропогенным прессом (пожары, выпас скота). Впрочем, в отличие от пихты и кедра, амплитуда лиственницы сибирской по влагообеспеченности исключительно велика, и при малой теплообеспеченности (условия высокогорий) лиственничники растут при разных показателях радиационного индекса сухости [Эколого-фи-





Рис. 33. Горно-таежный лиственничник с кедром разнотравно-зеленомошный I класса бонитета (Восточный Саян, абс. высота 700 м).

тоценотические комплексы... 1977]. Из всех лесообразователей бореальной зоны лиственница отличается наиболее обширной экологической областью потенциального распространения.

Если в условиях Горного Алтая лиственница сибирская в значительной мере реализует свой экологический оптимум, то в большинстве других горных районов Южной Сибири этот оптимум не реализуется из-за конкуренции кедра и других пород. В то же время, как отмечалось выше, и кедр не реализует здесь своего экологического оптимума из-за конкуренции пихты.

Горные районы с господством лиственницы сибирской характеризуются умеренным или недостаточным увлажнением (ГТК 1,1—1,6, годовая сумма осадков 300—450 мм) и невысокой относительной влажностью воздуха с возможным понижением ее среднемесячных показателей в 13 ч до 35—40%. Приспособленность лиственницы к сухому воздуху хорошо иллюстрируется исследованиями физиологов [Судачкова и др., 1967]. Снижение интенсивности транспирации у лиственницы сибирской происходило лишь при понижении относительной влажности воздуха до 35%. Вместе с тем повышение относительной влажности воздуха до 60—65% (показатель, близкий к оптимальному для пихты) вызывало снижение интенсивности транспирации у лиственницы почти в 2 раза (такое же снижение отмечалось у кедра лишь при относительной влажности воздуха 90%). Поэтому в избыточно влажном климате гор у лиственницы замедляются ростовые процессы и снижается семенная производительность.

Как порода континентального климата, лиственница лучше других лесообразователей мирится с заморозками, зимними температурными инверсиями, малоснежными зимами, мерзлотными и холодными почвами. В районах, где подобные условия преобладают, лиственница образует большей частью чистые насаждения (область доминирования). Смешанные насаждения с кедром она образует обычно на контакте светло- и темнохвойного поясов, с елью — в долинах, логах, на вогнутых склонах с подтоком почвенных вод и на северных шлейфах склонов, с сосной — на теплых южных склонах или достаточно прогреваемых почвах облегченного мехсостава.

Оптимальные условия для роста и плодоношения лиственницы складываются в нижней полосе лесного пояса гор в условиях достаточно влажного климата.

Как успешность возобновления лиственницы в светлохвойных лесах, так и расширение площади лиственничников за счет темнохвойных лесов определяются исключительно пожарами. В условиях влажного климата, характеризующегося показателями ГТК 1,5—1,6 и более, под пологом лиственничников нередко формируется кедровый (реже — смешанный темнохвойный) ярус. При отсутствии пожаров здесь происходит вытеснение лиственницы и восстановление темнохвойных пород.

В условиях подтока почвенных вод (долины, лога, вогнутые северные склоны и т. п.) даже при наличии устойчивой мерзлотности почв часто возникают предпосылки к вытеснению лиственницы елью, иногда при участии кедра.

При частой повторяемости пожаров и устойчивых антропогенных воздействиях (рубки леса, выпас скота) может иметь место смена лиственницы березой. В климатических условиях Восточной Сибири, Забайкалья и большинства районов Южной Сибири, не благоприятствующих росту березы, отмеченное явление носит кратковременный характер. Обычно уже к 30—40 годам формирования смешанных лиственнично-березовых насаждений лиственница обгоняет березу в росте и вытесняет ее.

Лиственница даурская, разделяемая иногда на два вида экологически близких лиственниц — Гмелина и Каяндера, широкого распространения в пределах рассматриваемой территории не получает. Ее ареал практически совпадает с границей области сплошного распространения многолетней мерзлоты [Поздняков, 1983], и в пределы гор Южной Сибири (область островного распространения мерзлоты) эта древесная порода заходит с северо-востока лишь на долготах Байкала.

Лиственница даурская менее, чем сибирская, устойчива к сухости почв, но зато еще менее требовательна к плодородию почв и особенно к почвенному теплу. В полосе смешения этих лиственниц довольно отчетливо выражено тяготение лиственницы сибирской к склонам световых экспозиций; выпуклым формам рельефа, верхним частям склонов, т. е. к условиям более теплого мезоклимата (разнотравные, брусничные и близкие к ним типы леса), в то время как лиственница даурская занимает формы рельефа обратного порядка

(теневые склоны, лога, шлейфы, террасы) с более холодными и часто переувлажненными почвами (багульниковые, аулякомниевые, сфагновые, ольховниковые типы леса). В соответствии с таким пространственным и лесотипологическим разграничением в упомянутой полосе контакта лиственница даурская часто образует насаждения, смешанные с елью, а сибирская — с сосной.

В области многолетней мерзлоты (Якутия) отмечается господство лесов из лиственницы даурской (иногда в сочетании с островными степями) при показателях радиационного индекса сухости порядка 1,5—2,0 и выше, т. е. в условиях, соответствующих сухим степям и даже полупустыням [Эколого-фитоценотические комплексы..., 1977]. Авторы объясняют это явление результатом консервирования мерзлотной влаги позднелетне-осеннего периода и соответственного сбережения ее для сухого весеннего периода следующего года. Очевидно, что этот вопрос заслуживает специального стационарного изучения и приведенное объяснение может удовлетворить лишь частично. Более естественно предполагать в подобных условиях (в условиях резких суточных перепадов температур воздуха) значительную внутрипочвенную конденсацию влаги, не фиксируемую метеостанциями. Иначе говоря, мы предполагаем недоучет приходной части водного баланса леса на мерзлоте и соответственные искажения показателей его влагообеспеченности.

Сосна обыкновенная требует условий теплого и умеренно влажного климата и значительно хуже лиственниц мирится с условиями экстроконтинентального климата. Предел ее распространению в районах континентального климата кладет неблагоприятный тепловой режим почв. Поэтому в районах широкого распространения длительной мерзлоты она занимает преимущественно южные склоны. Приуроченность сосны к южным склонам, особенно крутым и выпуклым, наблюдается во всех горных континентальных районах, поскольку на южных склонах сумма температур превышает средние показатели высотной полосы на 400—500° (разд. 2.4).

В районах с недостаточным увлажнением и развитыми мерзлотными процессами (Тува, Забайкалье, Якутия и др.) сосна приобретает характер аazonальной породы, занимая строго избранные местообитания: сравнительно теплые (почва здесь оттаивает на глубину до 2 м и более), но в то же время с жестким режимом увлажнения, которого не выдерживает даже лиственница. Характерно, что отдельные исследователи наблюдали рост корневых окончаний у сосны в Сибири лишь при температуре +6°C, в то время как у лиственницы сибирской, кедра сибирского и ели сибирской — при температуре, близкой к 0° [Попов, 1982].

В то же время именно за счет своей аazonальности эта, несомненно, ксерофитная порода в Сибири произрастает в широком диапазоне влагообеспеченности: при показателях индекса сухости от 0,5 до 2,5 [Эколого-фитоценотические комплексы..., 1977].

Отметим также, что оптимум относительного увлажнения у сосны, как и у лиственницы сибирской, выражается сравнительно невысокими величинами. Например, коэффициент увлажнения Мезен-



Рис. 34 Подтаежный сосняк орляково-разнотравный II класса бонитета в предгорьях Северо-Восточного Алтая.

цева выражает этот оптимум величинами 1,0—1,7, в то время как у кедра сибирского он лежит в интервалах от 1,5 до 2,5, а у пихты сибирской — от 2,0 до 3,0.

Во влажных горных районах сосна (область доминирования) ограничивается преимущественно предгорной полосой (рис. 34) с умеренно влажным и достаточно теплым климатом, с годовой амплитудой температур воздуха до 40° и возможным снижением среднемесячной относительной влажности воздуха в 13 ч до 35—40% (май). Проникновению сосны в глубь гор, в условия более влажного климата, здесь препятствует конкуренция темнохвойных пород и мощного травяного покрова. В более сухих районах сосна захватывает низкогорную и часть среднегорной полосы. Показатель суммы активных температур порядка 1200°, очевидно, является пределом для массового распространения сосны вверх. Этот предел у сосны лежит еще ниже, чем у пихты, и соответствует в горах Южной Сибири высотным отметкам около 1000—1200 м. Отдельные вкрапления сосны отмечаются по южным наиболее прогреваемым склонам до высот 1500—1600 м.

Для предгорных районов и межгорных котловин характерны довольно тесная связь сосны с песчаными почвами и способность формировать древостой на бедных почвах, включая условия олиготрофного ряда заболачивания. Следует, однако, отметить, что в Сибири сосна мирится с переувлажненными почвами в основном лишь в пределах Западно-Сибирской равнины, где еще обеспечивает-

ся удовлетворительный тепловой режим этих почв. По А. Я. Орлову и С. П. Кошелькову [1971], период активной жизнедеятельности корней у сосны связан с переходом температуры через 8—9°, а понижение максимальной (июльской) температуры почвы до 3—4°, наблюдаемое на большей части территории Восточной Сибири и Дальнего Востока, кладет предел ее произрастанию. Те же авторы связывают способность сосны мириться с бедными почвами и нехваткой воды, а также длительное время противостоять анаэробнозису, со спецификой ее биологических свойств — способностью хорошо развитых корневых систем энергично поглощать воду, минеральные элементы и азот и экономно расходовать их.

Петрофильность сосны, т. е. приуроченность ее к определенным почвообразующим породам и почвенно-грунтовым условиям, хорошо прослеживается во всех горах Сибири, где она избегает почв утяжеленного мехсостава и слабо дренированных, тяготея к кристаллическим породам, песчаникам, известнякам, алевролитам. Оптимальные условия для роста сосны создаются в подтаежно-лесостепном низкогорном поясе и нижней полосе светлохвойно-таежного пояса на высотах 600—800 м.

Как отмечалось выше, в полосе контакта светло- и темнохвойных лесов при достаточно высокой влажности климата и длительном отсутствии пожаров сосна сменяется кедром, иногда с участием пихты и ели. В светлохвойном поясе серьезным конкурентом сосны может выступать лиственница сибирская за счет долговечности и большей приспособленности к резким колебаниям климата.

В горах Южной Сибири хорошо выраженная лесообразующая роль лиственных пород связана лишь с избыточно влажными и влажными горными районами (западные и северные отроги горных систем). Осина как порода, наиболее требовательная к теплу, влаге и почвам, в этих районах занимает обширную полосу низкогорий, где ее позиции наиболее прочные, и откуда она энергично вторгается в темнохвойный (пихтовый и пихтово-кедровый) черневой пояс после рубки, пожаров и инвазий насекомых. Этому способствует также обычная примесь осины в составе среднегорных лесов избыточно влажной климатической фации до высоты 1000—1100 м. Береза может сменять сосну и лиственницу после рубок и пожаров также и в подтаежно-лесостепном и светлохвойно-таежном поясах. Она же является ведущим лесообразователем на вырубках и гарях в горно-таежных кедровниках влажной климатической фации (кроме высокогорий), где кедровники восстанавливаются лишь через длительную (до 120—140 лет) стадию лиственного древостоя.

Высокая континентальность климата, недостаточная для лиственных пород теплообеспеченность, малоснежные зимы и холодные почвы, свойственные умеренно и недостаточно влажным горным районам, препятствуют значительному распространению в этих районах березы и тем более осины. Поэтому смена хвойных пород лиственными здесь практически не наблюдается.

### 3.4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ [ЛЕСООБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ГОРАХ]

**Общие положения.** Непременным условием функционирования лесных экосистем является способность их к самовосстановлению. Теория возобновления и развития лесов в ее современной трактовке основывается на представлении о типе леса как динамической системе. Наиболее завершенное свое выражение эта теория, получившая название «теории лесообразовательного процесса», в нашей стране получила в трудах Б. П. Колесникова [1956, 1958 и др.] и И. С. Мелехова [1980 и др.].

Темпы и пути лесообразовательного процесса прямо или косвенно регулируются рядом экологических факторов, из которых ведущую роль играют климатические. Важное значение при этом имеют биоэкологические особенности лесообразующих древесных пород (разд. 3.3), определяющие общий характер взаимоотношений лесообразователей, а соответственно особенности их пространственного размещения. В настоящем разделе упор делается не на статические показатели структур горных лесов, а на динамические тенденции лесообразования. В анализе использованы массовые учетные данные лесоустройства.

**Эколого-географические закономерности возобновления лесов.** Говоря о факторах, контролирующих успешность самовосстановления лесных экосистем, мы уже отмечали ранее [Поликарпов, 1978], что *семеношение* основных лесообразующих пород в горах Сибири в целом не является лимитирующим фактором, за исключением высокогорий, где местные семена почти ежегодно недоразвиваются. В большей степени лесовосстановление лимитируется не наличием семян, а условиями их прорастания и последующего развития самосева.

На начальном этапе лесообразовательного процесса (фаза возобновления) чрезвычайно важную роль играет *конкуренция травянистой растительности*. Успешность лесовозобновления находится в обратной зависимости от степени развития трав. Поэтому с усилением континентальности климата, понижением влаго- и теплообеспеченности, а соответственно с понижением температуры почвы последовательно ослабляются позиции трав, сокращается доля травяных типов леса в лесном фонде и возрастает успешность возобновления хвойных пород. Соответственно показатели успешности лесовозобновления последовательно растут по мере перехода от крупнотравных и папоротниковых серий типов (черневой пояс избыточно влажной климатической фации) к травяно-зеленомошным и разнотравным (горно-таежный пояс избыточно влажной климатической фации, низкогорные и придолинные типы влажной климатической фации) и, наконец, к зеленомошным (влажная и умеренно влажная климатические фации). Это удобно проследить по рис. 29.

В обратном соотношении со степенью развития трав находится *степень развития мохового покрова*, в целом благоприятствующего успешному возобновлению хвойных пород, кроме условий застойно-

го переувлажнения почв, стимулирующих нарастание слишком мощной моховой подушки.

В качестве мощных лесообразующих факторов антропогенного порядка следует особо выделить *пожары и рубки*. По их последствием значение этих факторов различно в лесах различных климатических фаций.

В лесах избыточно влажной фации, особенно в черневом поясе, из-за быстрого и мощного разрастания трав на всех обезлесенных площадях возможность успешного возобновления их хвойными породами ограничена чаще всего периодом в 2—3 года. Лиственные породы, отличающиеся здесь более обильным и частым семеношением, а также более быстрым ростом в первые годы жизни, осваивают освободившуюся территорию гораздо успешнее. В результате восстановления хвойных (кедра, а иногда и пихты) в черневом поясе часто задерживается на 20—40 и более лет — на период образования листового полога и вытеснения им трав (и восстановления мохового покрова). В лесном хозяйстве такая продолжительность периода естественного возобновления считается недопустимой.

Следует также подчеркнуть, что в избыточно влажном климате, несмотря на редкую повторяемость пожаров (в среднем 1 пожар за несколько столетий), их последствия наиболее катастрофичны из-за доминирования темнохвойных лесов, способствующих верховому (повальному) огню, а также из-за интенсивного зарастания гарей травами и кустарниками.

В условиях жесткого лимита влагообеспеченности (подтаежно-лесостепные леса умеренно влажной климатической фации), где пожары из-за их частой повторяемости (до 3—5 за столетие) носят характер беглого низового огня, сохраняющего обсеменители и минерализующего почву, в наибольшей степени проявляется высокий возобновительный потенциал основных лесообразователей (сосны и лиственницы).

Во всех высокогорных лесах пожары (а равно и сплошные рубки) могут привести к необратимой потере лесными участками их высоких природозащитных функций и к сменам лесов на ерниковые заросли, субальпийские луга, каменистые россыпи, лишенные растительности.

*Конкуренция лиственных пород* в целом в Сибири, как отмечалось в предыдущем разделе, резко ослабляется, а так называемые смены пород носят локальный характер. Континентальный климат, малая теплообеспеченность и холодные почвы не благоприятствуют лиственным породам, особенно осине.

Область доминирования лиственных пород в горах Южной Сибири представляет собой своеобразные «острова» на наветренных (влажных) склонах хребтов, с определенным тяготением к более теплой высотной полосе низкогорий. Лимитирующая роль лиственных в развитии хвойных пород проявляется лишь до абс. высот порядка 1000—1200 м (т. е. преимущественно в подтаежном, черневом поясах и нижней части темнохвойно-таежных поясов). Климатические связи лиственных пород хорошо отражаются степенью их распространения по группам районов (см. табл. 3).

Общая схема связей лесовозобновительного процесса с климатическими фациями и высотно-поясными условиями горных лесов может быть представлена в следующем виде.

*В избыточно влажных (таежно-черневых) горных районах*, характеризующихся господством пихты, высокой конкурентоспособностью лиственных пород, преобладанием травяных (крупнотравные, папоротниковые, вейниковые) и травяно-зеленомошных (щитовниково-зеленомошные, вейниково-зеленомошные и другие) типов леса, по хозяйственной оценке лесовозобновления под пологом леса, на сплошных вырубках и гарях, удовлетворительно возобновляется (пихтой и кедром) в черневом поясе лишь около 30%, а в горно-таежном — до 40—60% площадей.

*Во влажных (горно-таежных) районах*, отличающихся преобладанием зеленомошных серий типов леса, при сравнительно небольшом участии типов багульниково-моховых, мшистых, разнотравных и травяно-зеленомошных, на большинстве лесных площадей (70—90%) наблюдается успешное возобновление темнохвойных пород (преимущественно кедр), а также сосны и лиственницы.

*В умеренно влажных (таежно-лесостепных) горных районах* при общем преобладании типов зеленомошных серий (бруснично-зеленомошные, рододендрово-зеленомошные, разнотравно-зеленомошные и другие), характеризующихся успешным возобновлением хвойных, значительное участие в лесотипологической структуре принимают кустарничково-моховые, аулякомниевые, долгомошные, мшистые, сфагновые типы на переувлажненных и сезонно-мерзлотных почвах теневых склонов и придолинных шлейфов, а также типы недостаточно влажных условий (бруснично-разнотравные, осочково-разнотравные и другие) на световых экспозициях, контактах со степями и т. п. За счет переувлажненных и сухих типов показатели успешности лесовозобновления в лесах этой климатической фации в целом несколько понижаются.

*В высокогорных поясах*, включая все леса недостаточно влажной климатической фации (таежно-степные районы), из-за высотного ослабления семеношения, повышения скелетности почв, развития мерзлотных процессов в них, разрастания ерников (березка круглолистная, кашкара, ольховник и другие) или луговых трав (избыточно влажная климатическая фация), неудовлетворительное возобновление хвойных (кедр, лиственница и пихта) наблюдается на площади от 30—40% (кедровые и кедрово-лиственничные подгольдово-таежные леса) до 50—60% (кедровые и кедрово-пихтовые леса и редко-десья подгольдово-субальпийского пояса). Говоря о высокогорьях, следует отметить относительно успешное возобновление здесь кедр сибирского. Закреплению кедр близ верхней границы леса способствует массовый перенос сюда кедровой вызревших семян из среднегорных массивов.

*Формирование насаждений.* Согласно генетической классификации типов леса Б. П. Колесникова [1956, 1958 и др.], которую сам автор рассматривает не как новый вид классификации, а как новый (современный) этап развития классификации естественной, тип

леса в своем развитии проходит последовательный ряд стадий (обычно 40-летних периодов) и фаз развития (совокупность нескольких стадий, отражающих коренные изменения в составе и развитии древостоев).

Б. П. Колесниковым выделяются две основные линии развития лесов: *восстановительные смены*, отражающие динамику формирования хвойных насаждений на обезлесенных площадях (обычно через фазу лиственного древостоя), и *смены возрастные*, отражающие процесс формирования насаждений при длительном (обычно более 300 лет) отсутствии пожаров. Возрастные смены, связанные с формированием так называемых «первобытных» (коренных) насаждений, широкого распространения не получают и в горах Сибири наблюдаются лишь в группе избыточно влажных районов.

Типовые схемы восстановительной динамики темнохвойных пород из-под полога лиственных для гор Южной Сибири были описаны ранее [Поликарпов, Назимова, 1963; Поликарпов, 1970; Кедровые леса Сибири, 1985]. По этим схемам поколения кедра развиваются под лиственным пологом в качестве подчиненных ярусов и только к 120—160 годам, с распадом лиственной части древостоя, за счет высокой теневыносливости и долговечности кедра выходят в главный полог. В результате восстановительных смен кедровники проходят три фазы развития: лиственную (около 80—100 лет), лиственно-темнохвойную (фазу вращаения темнохвойного яруса в лиственный полог, около 40—60 лет) и кедровую (реже смешанную темнохвойную), начало которой приходится на 120—160-летний возраст древостоев (распад лиственного полога), а конец — на массовый распад кедрового полога (в возрасте около 280—320 лет). Таким образом, после сплошных рубок или пожаров кедр получает преобладание в составе естественно формирующегося насаждения обычно лишь в возрасте спелости, уступая до этого времени господство лиственным породам и сопутствующим хвойным. В результате восстановительной динамики формируются практически разновозрастные кедровники с разницей в возрасте деревьев обычно не более 40 лет.

Различным фаціальным и высотно-поясным условиям гор свойственны свои схемы лесообразовательного процесса, иногда весьма специфические.

В группе *избыточно влажных районов* после пожаров и рубок лиственная фаза в восстановительной динамике древостоев черневого пояса всегда хорошо выражена и может длиться до 150—160 лет. Характерно значительное участие или преобладание в составе осины. Хвойные в составе подчиненных ярусов представлены преимущественно пихтой и кедром, причем на первых стадиях формирования древостоев преобладание получает пихта.

Кедровая фаза в развитии древостоев этой группы районов наступает обычно лишь к 200—220 годам — с разрушением не только лиственного, но и пихтового полога, а на протяжении 40—80 лет (начиная со 140—160 лет) в восстановительной динамике кедровников может выделяться пихтовая фаза. В целом ряде условий (особенно в кедрово-пихтовом таежном поясе) отмечается вытеснение кедром пихтой.

При длительном отсутствии пожаров развитие древостоев идет по пути возрастных смен. В процессе таких смен возможно чередование кедровых и пихтовых фаз развития, а в наиболее благоприятных почвенных и мезоклиматических условиях — выпадение кедровой фазы [Поликарпов, 1970]. Новые поколения темнохвойных пород возникают и развиваются под угнетающим материнским пологом и до его распада отличаются замедленным развитием, занимают подчиненное положение. В результате формируются коренные смешанные из пихты и кедровые насаждения разновозрастной структуры, включающие несколько поколений.

В группе *влажных районов* полностью выпадает пихтовая фаза развития древостоев. Формирование темнохвойных насаждений идет в смешении с березой (до высот 1100—1300 м), лиственницей сибирской (в полосе контакта темно- и светлохвойного поясов), отчасти елью (придолинные, логовые и т. п. проточно-переувлажненные местообитания) и сосной (условия повышенной теплообеспеченности). Возрастные смены в данной климатической фации почти исключены. Нередко наблюдается выпадение лиственной фазы развития, особенно на высотах более 1000—1100 м. На тех же высотах часто отмечают пионерное поселение кедров на обширных гарях (за счет «посевов» кедровки) и формирование почти чистых кедровников с молодого возраста.

В группе *умеренно влажных районов* протекают лишь восстановительные смены. В темнохвойном поясе чаще формируются чистые кедровники. Смены на березу во всех поясах очень редкие и кратковременные. Лиственная фаза развития кедровников в полосе контакта темно- и светлохвойного поясов после пожаров может заменяться лиственничной, гораздо более продолжительной. Из-за недостаточной теплообеспеченности почв смещение кедров с сосной в той же полосе и пирогенные ряды восстановления кедровников из-под полога сосны наблюдаются редко.

В *недостаточно влажных районах*, где леса произрастают в условиях жесткого лимита климатических ресурсов, из-за повсеместного доминирования лиственницы взаимосмены древесных пород в целом не характерны. Выпадает лиственная фаза развития древостоев, кроме сугубо локальных пойменных и долинных сукцессионных смен с участием тополя, березы, ели, лиственницы. Взаимоотношения кедров и лиственниц (в высокогорных редколесьях) не носят выраженного конкурентного характера.

Общая оценка лесообразовательного процесса. Из сделанного краткого обзора следует, что при восстановлении хвойных лесов в большинстве горных районов Сибири главную роль может играть их высокий природный восстановительный потенциал.

Принципы и приемы сохранения при рубках подростов, 2-го хвойного яруса и молодой части разновозрастных древостоев требуют своего дальнейшего совершенствования. Но уже очевидно, что главный путь лесовосстановления в горах Сибири на современном этапе заключается в широком внедрении прогрессивной технологии лесосечных работ, позволяющей сохранять почву и молодые поколения леса.

Однако обеспеченность горных лесов достаточным количеством хвойного подроста и молодняка далеко не повсеместна. Как показывают, например, материалы табл. 3, по мере перехода от умеренно влажных районов к избыточно влажным доля невозобновившихся лесных площадей возрастает в 4—5 раз. В том же направлении и в тех же примерно пределах возрастает доля лесных площадей, возобновившихся с нежелательной сменой хвойных пород на лиственные. Соответственно доля искусственного лесовосстановления в таежно-черневых районах должна быть в 4—5 раз больше, чем в таежно-лесостепных, и характеризоваться средними показателями порядка 50—60% от общей площади вырубок и гарей (против 20—30% в горно-таежных и 10—15% в таежно-лесостепных районах).

В черневом поясе отдельных районов оптимальная доля лесных культур в лесовосстановлении может достигать 70—80%. Напротив, в подтаежно-лесостепном поясе умеренно влажных районов успешное естественное лесовосстановление (сосны, отчасти лиственницы) можно обеспечить на 90—95% общей площади.

Анализ восстановительных смен темнохвойных лесов дает основание для выделения обширной хозяйственной категории насаждений — «потенциальных кедровников» [Кедровые леса Сибири, 1985] с проведением хозяйственных мероприятий по ускоренному и эффективному переводу их в кедровники. К числу потенциальных кедровников следует прежде всего относить все высокобонитетные лиственные насаждения в пределах экологического ареала кедра при наличии в них достаточного количества молодого жизнеспособного кедра.

Наконец, в плане оценки потенциала продуктивности различных горных экотопов важное значение имеет привязка к фазам развития лесов. Как было показано выше, одному экотопу может соответствовать генетический ряд из нескольких лесных формаций — лиственных, хвойно-лиственных и хвойных.

Динамическая трактовка экосистем с учетом лесообразовательного процесса предполагает внесение известных корректив в экологическую оценку наблюдаемых в природе закономерностей размещения древесных формаций, а также потенциала продуктивности различных экотопов.

### 3.5. ПРОГНОЗ СОСТАВА ГОРНЫХ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Зависимости характеристик растительности от климатических показателей, рассмотренные в разд. 3.2, создают основу для построения эмпирической модели взаимоотношений в системе «древостой — климат». Моделирование насаждений определенного состава преследует важные практические цели. Это, прежде всего, создание целевых насаждений, отвечающих требованиям хозяйства. Прогноз состава насаждений в определенных климатических условиях незаменим для направленного восстановления и воспитания лесов, под-

вергшихся антропогенным влияниям, пожарам, нападениям энтомо-вредителей и т. д.

В общем случае построение модели может быть осуществлено на основе полиномов, аппроксимирующих зависимости в системе. Ю. Г. Пузаченко и В. С. Скулкин предложили упрощенный метод построения модели, суть которого заключается в непосредственном введении в полином матриц прямых отображений состояний явления на состояния фактора. Решение полиномов производится методом пороговой логики, в основе которой лежат приемы теории распознавания образов с использованием критериев максимального правдоподобия [Пузаченко, 1976; Скулкин, 1976; Пузаченко, Скулкин, 1981]. Таблица прямых отображений состава древостоев на климатические параметры представляет собой матрицы классификационных критериев (см. табл. 30), в которых критерии больше нуля отмечены плюсом, меньше нуля — минусом. Принимается, что для данного состояния фактора наиболее характерным будет то состояние явления, для которого критерий больше нуля. Для комплекса факторов наиболее вероятным признается состояние явления, для которого сумма классификационных критериев, больших нуля, максимальна.

Разберем пример составления прогностического теста. По данным о местонахождении выдела необходимо дать прогноз состава древостоя. Исходные данные: таежно-черневой район, высота 1200 м, склон 12° северной экспозиции. Сначала через характеристики рельефа по установленным для региона зависимостям определяются климатические параметры:  $\Sigma t = 760^\circ$ ,  $\mathcal{L} = 62$  дня,  $A = 33^\circ$ ,  $\Sigma B_{\text{год}} = 25,4$  ккал/(см<sup>2</sup>·год),  $r = 1420$  мм,  $I_B = 0,24$ ,  $E/E_0 = 0,74$  и  $\Sigma t_{\omega} = 1000^\circ$ . Далее находим соответствующие значения классификационных критериев:

Климатические показатели	Классификационные критерии			
	К	П	Л	С*
$\Sigma t = 760^\circ$	+	—	—	—
$\mathcal{L} = 62$ дня	—	+	+	—
$A = 33^\circ$	+	+	—	—
$\Sigma B_{\text{год}} = 25,4$ ккал/(см <sup>2</sup> ·год)	+	—	—	—
$I_B = 0,24$	+	+	—	—
$r = 1420$ мм	—	+	—	—
$\Sigma t_{\omega} = 1000^\circ$	+	—	—	—
$E/E_0 = 0,74$	+	+	—	—
Сумма . . .	6	5	1	0

\* К — кедр, П — пихта, Л — лиственница, С — сосна.

Итак, сумма классификационных критериев максимальна для кедра, т. е. при данном сочетании климатических параметров прогнозируется кедр. Всего на единицу отличается сумма критериев для пихты. В пограничных ситуациях возникают такие неустойчивые решения, при которых изменение лишь одного из параметров может привести к другому результату. Критерием надежности принятого

Таблица 36

Ошибки прогноза доминирующей породы на основе климатических и почвенных факторов, %

Факторы	Порода	Ошибка
Климатические	Кедр	39
	Пихта	37
	Лиственница	22
	Сосна	44
Средняя . . .		35
Климатические и почвенные	Кедр	37
	Пихта	34
	Лиственница	17
	Сосна	33
Средняя . . .		30
Климатические и почвенные с учетом содоминантов	Кедр	17
	Пихта	19
	Лиственница	13
	Сосна	22
Средняя . . .		18

решения служит разность между максимальной и ближайшей к ней суммой критериев максимального правдоподобия. Надежность принятого решения тем выше, чем больше эта разность, и наоборот, чем меньше разность, тем меньше надежность решения. Такие ситуации в нашей модели возникают в случае принятия решения в пользу кедра против пихты, лиственницы против сосны, так как климатические ниши этих пар пород близки. Напротив, надежность принятия решения всегда высока и оценивается 2—3 единицами, если решение принимается в пользу лиственницы против пихты или сосны против пихты.

Эмпирическая модель проверяется на выборке данных, не вошедших в исходную выборку. Проверка нашей модели была произведена по материалам маршрутно-ключевых исследований. Для 100 пробных площадей описанным выше методом составлялись прогностические тесты, по которым определялся состав древостоя на каждой пробной площади. Величина средней ошибки прогноза по климатическим параметрам достаточно велика — 35% (табл. 36). Ю. Г. Пузаченко и В. С. Скулкин [1981] проанализировали источники возникновения ошибок. Основные ошибки полученной модели могут быть вызваны: 1) использованием когерентных параметров, которые вносят искажения в пограничных ситуациях; 2) неаддитивными взаимодействиями, так как аппроксимация производится по линейной части полинома; 3) неучетом факторов среды, существенно влияющих на явление.

Наша модель может быть расширена и уточнена за счет ввода в нее почвенных характеристик. Мы не располагали широкими сведениями по почвенным показателям. Подключение имеющихся сведений к проверке модели незначительно увеличило процент надежности прогноза: в среднем до 70%. Однако есть все основания считать, что такой показатель, как скелетность почвы, очень информативен в разграничении областей доминирования кедра и пихты, а мехсостав — для доминирования сосны, предпочитающей супесчаные и легкосуглинистые почвы.

Когда преимущество доминирующей породы определяется лишь одной-двумя единицами состава, то в 10—12% случаев доминирующая порода прогнозируется ошибочно, но присутствует в насаждении как содоминант. Ошибка прогноза доминирующей породы с учетом содоминанта уменьшается до 15—20% (см. табл. 36).

## ГЛАВА 4

### ПРОДУКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ ЛЕСОВ

При анализе продуктивности растительного покрова можно выделить три уровня [Соболев, 1969]:

- 1) организменный, на котором исследуются особенности фотосинтеза растений и биохимических процессов в них;
- 2) ценотический, на котором исследуется продукция сообществ;
- 3) географический, на котором исследуется продукция крупных географических систем, в том числе зон на равнине и высотных поясов в горах.

#### 4.1. ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗОНАЛЬНЫХ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Ориентировочный профиль продуктивности растительного покрова дан в работе Е. М. Лавренко и др. [1955]. Максимум продуктивности отмечается в лесостепи (100%), далее идут подзоны южной тайги (85% по отношению к максимуму продуктивности), средней тайги (50%) и северной тайги (35%).

В работах А. А. Григорьева и М. И. Будыко [1956, 1965 и др.] показано, что не только явление смены зон растительности обусловлено определенными значениями радиационного индекса сухости, но и развитие, и интенсивность физико-географических процессов, характеризующие продуктивность зональной растительности, являются следствием климата. В их работах был сформулирован ряд общих положений о зависимости продуктивности от гидротермических показателей климата: 1) Оптимальные значения радиационного индекса сухости для максимума продуктивности растительного покрова

определяются величинами, близкими к единице. 2) При оптимальном соотношении тепла и влаги продуктивность повышается с ростом их абсолютных значений.

Дальнейшее развитие и количественное подтверждение эти положения получили в исследованиях А. В. Дроздова [1969], Н. А. Ефимовой [1976, 1977], Л. И. Зубенок [1976], Б. В. Скорупского и Ю. Р. Шеляг-Сосонко [1982] и других авторов, которые основными факторами, ответственными за распределение и продуктивность растительного покрова на Земле, приняли параметры радиационного баланса и индекса сухости.

Толчком к выполнению этих исследований послужило опубликование данных Н. И. Базилевич и Л. Е. Родина [1965, 1967, 1969] по продуктивности основных зональных растительных сообществ, собранных и обобщенных ими как на основе отечественных и зарубежных источников, так и собственных наблюдений. Результаты исследований Н. И. Базилевич и Л. Е. Родина с соавторами [1968, 1970] наглядно обобщены в виде картосхем главнейших показателей накопления и динамики органической массы, а также показателей биологического круговорота зольных элементов и азота для основных типов растительности земного шара. Одним из наиболее важных выводов был вывод о том, что разные, порой далеко отстоящие друг от друга типы растительных сообществ (степи и тундры, северо-таежные леса и сухие степи и т. д.) накапливают близкие запасы фитомассы. Различные сочетания внешних факторов обуславливают близкий эффект по продуктивности. Определить эти сочетания, выявить климатические факторы продуктивности — вот задачи, поставленные в этих работах для последующего решения.

Эти задачи частично уже решены в упомянутых работах [Дроздов, 1969; Ефимова, 1977; и др.], в которых климатические параметры представлены радиационным балансом и индексом сухости. В других работах найдены синтезированные гидротермические показатели, с которыми отмечается хорошая корреляция продуктивности разных типов растительности. Это — биогидропотенциал А. М. Рябчикова [1968, 1972], представляющий собой отношение валового увлажнения (осадки минус сток) к радиационному балансу; биоклиматический потенциал (БКП) П. И. Колоскова [1963], выраженный через температуру воздуха, увлажнение и свет. В. Л. Черепнин [1968] связал продуктивность и гидротермические условия уравнением «равновесия фитомассы», из которого следует вывод о равноценности и взаимозаменяемости факторов тепла и влаги. Очевидно, что этот вывод будет справедлив в пределах оптимальной зоны тепло и влагообеспеченности.

При исследовании энергетических процессов в почвообразовании В. Р. Волобуев [1974] рассчитал энергетический показатель продуктивности: на образование 1 г продукта фотосинтеза затрачивается 3,75 ккал солнечной энергии. Зная объем ежегодного прироста, можно рассчитать количество энергии, аккумулированной в этом веществе. Затраты энергии на ежегодную продукцию растительной массы колеблются от 2,5—25 ккал/(см<sup>2</sup>·год) в тундрах и пустынях

умеренных широт до 2—3 ккал/(см<sup>2</sup>·год) во влажных тропических лесах.

Х. Лит составил карту годовой продукции, выраженной в граммах углерода на 1 м<sup>2</sup> как для суши, так и для океанов. Карты были скорректированы на основании связей продуктивности с температурой воздуха, осадками и эвапотранспирацией (суммарным испарением) [Уткин, 1975].

В исследованиях продуктивности древесной растительности новым этапом явилась работа С. Патерсона [Paterson, 1956], давшая начало перспективному направлению в лесоведении и лесоводстве — исследованию потенциальной продуктивности лесных экосистем.

## 4.2. ФАКТОРЫ ПРОДУКТИВНОСТИ

### 4.2.1. Влияние климатических факторов на продуктивность

Показатели продуктивности древостоев, как указывалось в разд. 3.2.2, менее тесно связаны с климатическими параметрами, чем структурные (состав) (см. табл. 29). При этом средние коэффициенты сопряженности между климатическими показателями и бонитетом насаждений выше, чем между ними и показателем продуктивности, выраженным запасом (м<sup>3</sup>/га). Бонитет насаждения, как следует из его определения, есть оценка добротности условий роста, т. е. данный показатель характеризует одновременно и внешние условия существования насаждения, и параметры его внутреннего развития. При переходе от структурного уровня организации сообщества к функциональному происходит диссипация информации. Поэтому бонитет как характеристика насаждения занимает по мере сопряженности с факторами внешней среды промежуточное положение между его структурной характеристикой ( $K = 16,3\%$ ) и показателем запаса ( $K = 4,3\%$ ):  $K$  равен в среднем для всех пород 6,9%. Существует определенная разбежка значений мер сопряженности ( $K$ ) как по породам, так и в пределах одной породы по климатическим параметрам. Наибольшие значения  $K$  отмечаются для бонитета пихты, несколько меньшие — для других пород.

Коэффициенты сопряженности между климатическими показателями и запасами примерно одинаковы для всех пород. Класс бонитета древостоя любой породы несколько больше зависит от термических факторов, а запас древостоя более тесно связан с режимом увлажнения (см. табл. 29). Если во влажном климате для продуктивности более значимы абсолютные величины увлажнения, то в умеренно влажном более заметное влияние на продуктивность оказывают мезоклиматические различия в увлажнении. Согласно данным табл. 29, для производительности пихтовых и кедровых древостоев коэффициент сопряженности с абсолютным увлажнением в 2—4 раза выше, чем с относительным. Для лиственных лесов оба показателя увлажнения равноценны в определении продуктивности.



Для сосновых лесов, в большей степени характеризуемых избираемостью к склонам южных экспозиций, более значимым оказывается экспозиционный показатель увлажнения.

В табл. 37 приведены характерные состояния показателей продуктивности (классов бонитета) основных лесообразующих пород в климатических координатах. Можно видеть, что отображения показателей продуктивности на термические координаты не однозначны: одному состоянию фактора соответствуют 2—3 градации явления, что говорит о приближенной или размытой однозначности [Пузаченко, Скулкин, 1981]. Несмотря на то, что неопределенность отображений может быть достаточно велика, распределение коэффициентов максимального правдоподобия довольно точно описывает общие закономерности изменения продуктивности древостоев в зависимости от термических показателей. Рассмотрим эти закономерности.

Вполне определена связь продуктивности с термикой вегетационного периода. Для всех пород по мере роста тепла увеличивается производительность древостоев. В среднем рост продуктивности на один класс бонитета (иначе цена одного класса бонитета) происходит при увеличении  $\Sigma t$  на 150—200°. Подобная закономерность справедлива для тех поясов, где тепло обеспечивается влагой. При больших суммах температур (более 1400°) наблюдается устойчивое снижение продуктивности в среднем на один класс бонитета, что связано с когерентным влиянием других факторов. В большей степени это влияние относится к фактору относительного увлажнения, который при данном уровне теплообеспеченности несколько снижает продуктивность. Возможно проявление влияния почвенных факторов; в частности, заболоченность почвы снижает эффект общего благоприятного режима термики.

Отмеченные выше моменты не вносят больших искажений, и в итоге возможно выделить наиболее благоприятные (оптимальные) термические условия для формирования высокопродуктивных насаждений. Можно констатировать, что, используя показатель  $\Sigma t$ , рассчитанный для плакора (ровного места), кедровые леса II и выше класса бонитета формируются при  $\Sigma t$  — 1000—1600°. Пихтовые леса II класса бонитета занимают термический диапазон 1100—1400°, но самые продуктивные (I класс бонитета) растут в нижней части пихтово-осинового черневого пояса при  $\Sigma t$  — 1500°. Для лиственничных массивов II—III классов бонитета характерны термические условия 1000—1400°. Для сосновых лесов II—III классов бонитета, занимающих большей частью южные склоны, данный показатель не информативен. Кроме того, как отмечалось, в выборке не представлены сосняки I—Ia классов бонитета лесостепного пояса избыточно влажных районов, и это ограничивает выводы по данной породе в целом. По-видимому, реальную картину теплообеспеченности сосны и других пород в менее влажных районах лучше отразит показатель  $\Sigma t_w$ , учитывающий экспозиционные различия нагревания склонов. Действительно, выделенная при проекции классов бонитета на координату  $\Sigma t_w$  область продуктивных сосновых насаждений определяется такими же значениями  $\Sigma t_w$ , как и область лиственничных

Таблица 37

Характерные состояния классов бонитета основных лесообразующих пород в климатических координатах

Градация климатических показателей	Кедр	Пихта	Лиственница	Сосна
1	2	3	4	5
Сумма температур выше 10°, град				
Менее 350	V—Va, б	IV—V	—	—
350—500	V—Va, б	IV	V	—
500—650	IV—Va, б	III—IV	IV	—
650—800	III—IV	II—III	IV	V
800—950	II—IV	II	IV	III—IV
950—1100	II—III	II—III	III	III—IV
1100—1250	I—II	I—II	I—III	III—IV
1250—1400	I—II	I—II	III	III
Более 1400	I—III	I—II	—	—
Годовая амплитуда температуры воздуха, град				
Менее 30	IV—V	—	—	—
30—32	IV—V	IV—V	—	—
32—34	II—III	IV—V	—	—
34—36	IV, Va, б	II—III	IV	—
36—38	I, V—Va, б	I, III	III—IV	III, V
38—40	IV—V	—	IV	III—IV
40—42	—	—	III	III—IV
42—44	—	—	II—III	IV—V
Более 44	—	—	III	—
Радиационный баланс, ккал/(см <sup>2</sup> ·год)				
Менее 20	V—Va, б	IV—V	—	—
20—25	V—Va, б	IV—V	III—IV	—
25—30	IV—V	IV—V	III—IV	III—IV
30—35	III—IV	III—V	III	IV—V
35—40	II—III	I, III	II—IV	III—IV
40—45	I—II	II, III	II, IV	III
Осадки, мм/год				
1500—1350	II—III	III—IV	—	—
1350—1200	I—II, V	II—III	—	—
1200—1050	I, III—IV	II—IV	III	—
1050—950	II—IV	I, III	III	—
900—750	V—Va, б	—	IV, V	III, V
750—600	V—Va, б	—	II—IV	III—IV
600—450	—	—	III	III
Индекс сухости				
Менее 0,2	V	IV—V	—	—
0,2—0,3	IV—V	IV—V	—	—
0,3—0,4	III—V	III—IV	—	—
0,4—0,5	II—III, Va, б	III	III	III
0,5—0,6	I—II, V	II, IV	III—IV	III—IV
0,6—0,7	II, V	II	III—IV	V
0,7—0,8	IV—V	—	III—V	IV—V
0,8—0,9	—	—	III	IV
0,9—1,0	—	—	II—III	III—IV

1	2	3	4	5
Длина вегетационного периода, дни				
Менее 40	V, Va, б	—	—	—
40—50	V, Va, б	V	—	—
50—60	III—V	IV—V	IV—V	—
60—70	III—V	IV—V	III—IV	V
70—80	II—III	III—IV	II—III	IV
80—90	I—III	II—III	III	III—IV
90—100	II	II	III	III
Температура подстилающей поверхности, град				
Менее 800	V—Va, б	V	—	—
800—950	III—V	IV—V	—	—
950—1100	III—V	IV	IV	V
1100—1250	III—IV	III—IV	III—IV	IV—V
1250—1400	II—III	III—IV	III—V	III—IV
1400—1550	I—III	III	II—III	III—IV
1550—1700	I—II	III	III	III—IV
1700—1850	I—II	II—III	III	III
Более 1850	I—III	I—III	—	—
Относительное испарение				
Менее 0,4	—	—	III—IV	III—IV
0,4—0,5	I, V	II—IV	III	IV—V
0,5—0,6	II—III, V	III—IV	III—IV	IV—V
0,6—0,7	I, III—V	III—IV	II	IV
0,7—0,8	I—III	V	III	III
0,8—0,9	IV	III, V	IV	IV
0,9—1,0	II—IV	V	—	—

лесов, — 1400—1850°. При таких же суммах  $\Sigma t_{\omega}$  формируются кедровые и пихтовые леса более высоких классов бонитета, так как в избыточно влажных районах при таких  $\Sigma t_{\omega}$  складываются благоприятные условия увлажнения. В умеренно влажных районах аналогичные  $\Sigma t_{\omega}$  сопряжены со значительно меньшим количеством осадков, что является причиной смены темнохвойных пород на светлохвойные в этих районах.

Наряду с  $\Sigma t_{\omega}$  термический режим с учетом рельефа характеризуется радиационным балансом. Диапазон произрастания высокопродуктивных насаждений определяется значениями  $\Sigma B_{\text{год}} - 30 - 45$  ккал/(см<sup>2</sup>·год). Энергетическая цена одного класса бонитета составляет 5—7 ккал/(см<sup>2</sup>·год).

Важным фактором продуктивности является продолжительность периода активного роста. Следует отметить, что в горах Южной Сибири с их резко континентальным климатом из-за значительных суточных амплитуд температуры воздуха, особенно весной и осенью, этот период короче, чем в аналогичных лесных зонах на европейской равнине. Например, период в 80—100 дней характеризует северную тайгу с преобладанием древостоев IV—V классов бонитета [Лосиц-

кий, Чуенков, 1973], в то время как в Южной Сибири этого периода достаточно для формирования высокопродуктивных насаждений II класса бонитета и выше. Сокращение периода активного роста на 10—15 дней ведет за собой снижение продуктивности в среднем на один класс бонитета.

Континентальность климата, выраженная через годовую амплитуду температуры воздуха, по-видимому, не является фактором, прямо действующим на продуктивность древесной растительности. В большей степени это фактор, влияющий на распределение пород в пространстве. Обычно теплые условия вегетационного периода в нижних поясах гор и котловинах в континентальном климате неизбежно связаны с ростом амплитуды температуры воздуха, т. е. эти параметры связывает обратная зависимость. В силу этого прослеживается общая для всех пород закономерность, не являющаяся причинно-следственной связью: класс бонитета увеличивается с ростом амплитуды. Для кедра выделяются две зависимости: одна — для менее континентальных влажных районов, вторая — для более континентальных умеренно влажных районов.

Очевидно, что для каждой лесообразующей породы в пределах определенного высотного пояса характерны свои термические оптимумы. Наибольшей продуктивности (I—II класса бонитета) кедровники и пихтарники достигают в черном поясе при  $\Sigma t - 1100 - 1600$  или  $\Sigma B_{\text{год}} - 30 - 40$  ккал/(см<sup>2</sup>·год). В горно-таежном поясе избыточно влажных районов производительность кедровников в целом на 1—2 класса ниже, а ее максимум (II—III класс бонитета) обусловлен суммами тепла 800—1100° и  $\Sigma B_{\text{год}} - 25 - 35$  ккал/(см<sup>2</sup>·год). Пихта в этом же поясе характеризуется лишь III—IV классом бонитета. В субальпийском поясе класс бонитета пихты не поднимается выше V, а класс бонитета кедра равен IV—V.

В горно-таежном поясе влажных районов в широком диапазоне термических условий (700—1200°) преобладают кедровники III—IV классов бонитета. В аналогичном поясе умеренно влажных районов кедровые леса такой же производительности произрастают при  $\Sigma t - 800 - 1100$ °. Остальное термическое пространство занято малопродуктивными массивами подгольцовых кедровников V—Va классов бонитета, так как помимо низкой теплообеспеченности в этой группе районов в верхней части горно-таежного пояса получают развитие мерзлотные процессы в почве, препятствующие образованию продуктивных древостоев. Лиственница в этих условиях имеет продуктивность на 1—2 класса бонитета выше, чем кедр, в основном IV. В группе умеренно влажных районов благоприятные термические условия для лиственничных лесов отмечаются в горно-таежном светлохвойном поясе, где при  $\Sigma t - 1100 - 1400$ ° продуктивность лиственничников характеризуется II классом бонитета. Максимум продуктивности лиственница достигает в Хакасской провинции при  $\Sigma t - 1400 - 1800$ ° (I—Ia класс бонитета).

Наиболее продуктивны сосняки (I—II класс бонитета) в подтаежном и лесостепном поясах Северной Алтае-Саянской провинции. Сосняки умеренно влажных районов в основном средней продуктив-

ности (III класс бонитета) при  $\Sigma B_{\text{год}} = 35-45$  ккал/(см<sup>2</sup>·год) (с учетом экспозиции и крутизны склонов).

Еще более велика «размытость» отображений на термических координатах другой характеристики продуктивности — запасов древесины. Размытость может достигать 3—4 классов. Такая неопределенность является результатом влияния многих факторов — абиотических и фитоценологических, регулирующих продуктивность древостоев. Сказанное еще раз подтверждает вывод о том, что по мере передачи информации от абиотической части системы к биотической происходит ее рассеивание с соответствующим увеличением разнообразия состояний ее функциональных параметров.

При всей сложности картины отображений очевидны общие тенденции этих зависимостей. Улучшение условий теплообеспеченности, выраженных любым показателем вегетационного периода, вызывает увеличение запасов древесины. Наиболее благоприятные условия для накопления больших объемов древесины (300—350 м<sup>3</sup>/га) создаются при  $\Sigma t = 1100-1700^\circ$  для кедра и пихты в избыточно влажных районах и  $\Sigma t = 800-1400^\circ$  для лиственницы и сосны в умеренно влажных районах. Несмотря на то, что величины теплообеспеченности для светлых пород оказались меньше, именно эти термические условия в умеренно влажных районах сопряжены с благоприятными условиями увлажнения.

Для кедра характерны две кривые термической обусловленности запасов. Одна из них описывает наиболее общую закономерность накопления древесины: при малых значениях  $\Sigma t$  (менее 650°) создаются небольшие запасы древесины — до 150 м<sup>3</sup>/га; далее по мере увеличения  $\Sigma t$  растут и запасы, достигая максимума 350 м<sup>3</sup>/га при  $\Sigma t = 1100-1600^\circ$ . В верхней части горно-таежного пояса влажных районов, характеризуемой в целом невысокими значениями  $\Sigma t = 700-1000^\circ$ , на теплых южных склонах формируется особая группа кедровников — высокоплодных с запасами более 500 м<sup>3</sup>/га. Потенциальная продуктивность в этих условиях оценивается в 600—800 м<sup>3</sup>/га и превышает на 100—150 м<sup>3</sup>/га продуктивность черневых кедровников, которая снижена из-за разреженности естественных древостоев.

Прослеживается общая закономерность для насаждений, составленных из любой породы: с увеличением годового количества осадков происходит падение класса бонитета (см. табл. 37). Одновременно с ростом увлажнения (подъемом в горы) происходит снижение теплообеспеченности, лимитирующее продуктивность в верхних поясах, для которых характерны куртины пихтарников и пихтово-кедровых лесов V—Va классов бонитета. Очевидно, прямым фактором может быть не только низкий уровень теплообеспеченности, но и избыточное увлажнение, которое создается в высокогорьях избыточно влажных районов. Такая влажность климата подавляет процессы жизнедеятельности даже у приспособленных к резко избыточному увлажнению пихты и кедра (см. разд. 3.3).

Оптимальные условия увлажнения, при которых осуществляется благоприятное равновесие тепла и влаги, характеризуются сле-

дующими величинами годового количества осадков в кедровых и пихтовых древостоях: 900—1200 мм/год для I—II классов бонитета и 750—900 мм/год для I—Ia классов бонитета. В группе умеренно влажных районов для лиственничников II класса бонитета оптимум увлажнения составляет 600—750 мм/год, для сосняков II—III классов бонитета — 600—750 мм/год.

По показателю относительного увлажнения — индексу сухости — максимальные значения продуктивности древостоев для темнохвойных пород наступают при более низких значениях  $I_B$ , чем для светлых пород. Наиболее продуктивные кедровники и пихтарники приурочены к условиям, характеризующимся значениями  $I_B = 0,5-0,6$ , лиственничники и сосняки приурочены к более сухим условиям —  $I_B \sim 1,0$ .

Определенные трудности возникли в интерпретации зависимости продуктивности от относительного испарения, так как последний показатель обладает сильной микроклиматической изменчивостью. В целом намечается тенденция уменьшения продуктивности насаждений в условиях недостаточного и избыточного увлажнения, характеризуемого соответственно значениями  $E/E_0$  менее 0,3 и более 0,9. При этом оптимум продуктивности темнохвойных пород лежит ближе к верхнему пределу относительного испарения, а светлых — к нижнему.

Характер связи между запасами древостоев и показателями увлажнения в целом подобен тому, который был описан на примере классов бонитета. Чрезмерное увлажнение (осадков более 1300 мм) ведет к снижению запасов кедровых и пихтовых древостоев в избыточно влажных районах. Большие запасы древесины — 300—400 м<sup>3</sup>/га — создают кедровники и пихтарники при оптимальном увлажнении (осадков 700—1300 мм/год и  $I_B = 0,3-0,6$ ). Запасы 400—600 м<sup>3</sup>/га кедровники формируют, как уже указывалось, в горно-таежном поясе влажных районов на склонах южных экспозиций при повышенных для данного пояса энергоресурсах. В лиственничных лесах наибольшие запасы накапливаются в условиях умеренного увлажнения (осадков 600—900 мм/год и  $I_B = 0,6-0,8$ ). Для основных лесов показателем абсолютного увлажнения малоинформативны: при величине осадков 600—900 мм/год они могут формировать запасы и менее 100, и 300 м<sup>3</sup>/га. Более информативными показателями, учитывающими термический фактор наряду с увлажнением, являются индекс сухости и относительное испарение. При  $I_B = 0,7-1,0$  и  $E/E_0 = 0,3-0,5$ , характеризующих условия умеренного увлажнения, запасы в спелых и перестойных сосняках составляют 200—350 м<sup>3</sup>/га.

Из сказанного следует, что влияние как термических показателей, так и показателей увлажнения неоднозначно при различной тепло- и влагообеспеченности. Одинаковые индексы сухости на различном термическом фоне могут коррелировать с различной продуктивностью: для кедровников при  $I_B = 0,55$  продуктивность может быть оценена II классом бонитета в черневом поясе избыточно влажных районов и Va — в подгольцовом поясе умеренно влажных рай-

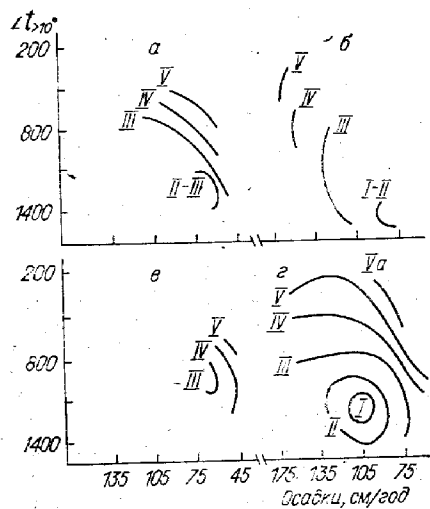


Рис. 35. Зависимость класса бонитета древостоев от сумм температур выше 10° и годового количества осадков.  
а — лиственничники; б — пихтарники; в — сосняки; г — кедровники.

достигается анализом двухфакторных каналов связи.

Совместные двухфакторные каналы связи построены таким образом, что позволяют рассматривать явление при изменении состояния одного из факторов, оставляя за другим постоянные значения. На рис. 35, 36 показаны двумерные схемы зависимости продуктивности древостоев (классов бонитета) от гидротермических показателей, построенные в различных сочетаниях осей: 1) традиционные оси  $\Sigma t$  и  $r$  (рис. 35); 2)  $\Sigma B_{\text{год}}$  и  $I_B$  — оси, представляющие собой основные факторы, обуславливающие интенсивность физико-географических процессов (см. рис. 36).

Достаточно четко определились линии равных бонитетов (изобонитет) в гидротермическом пространстве, отраженном любой парой осей. Рассмотрим рис. 35. Наиболее широкое экологическое пространство занимает кедр с максимумом продукции при  $\Sigma t$  около 1500° и широким диапазоне значений  $r$  (900—1350 мм/год). С уменьшением тепла и влаги продуктивность кедровников падает, причем скорость падения наибольшая по градиенту одновременного ухудшения тепло- и влагообеспеченности. Очевидно, сочетание прохладных и менее влажных условий, ведущих к усилению континентальности климата, является причиной образования мерзлоты, которая усиливает общий неблагоприятный термический режим и ведет к резкому уменьшению продуктивности древостоев.

Пихта занимает очень узкую полосу гидротермического пространства, характеризующую самую влажную его часть. Продук-

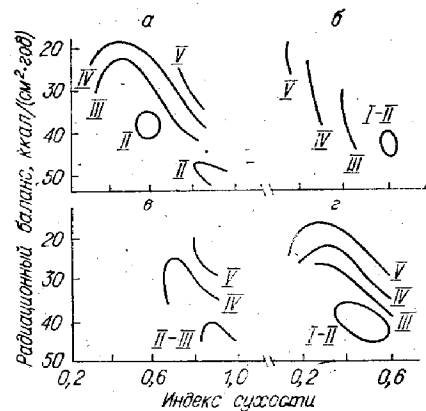


Рис. 36. Зависимость класса бонитета древостоев от радиационного баланса и индекса сухости. Усл. обозн. см. рис. 35.

оново. Роль фактора увлажнения в полной мере раскрывается при одновременном рассмотрении его с термическими показателями, что

тивность пихтарников не ограничивается увлажнением, а в большей степени определяется термикой: растет с увеличением тепловых ресурсов и достигает максимума (I—II классы бонитета при  $\Sigma t$  — 1400—1500° и  $r$  — 750—900 мм/год.

Прохладную и менее влажную часть пространства занимает лиственница. Максимум ее продуктивности характеризуется условиями термики 1200—1400° и увлажнения 600—750 мм/год. Как и в случае с кедром, отмечается резкое падение продуктивности в направлении одновременного уменьшения тепла и влаги.

Самое ограниченное экологическое пространство в данном регионе занимает сосна. Максимальная продуктивность для нее (II—III классы бонитета) отмечается при  $\Sigma t$  — 900—1100° и  $r$  — 600—750 мм/год.

В пространстве показателей тепла  $\Sigma B_{\text{год}}$  и влаги  $I_B$  выдерживаются те же основные связи продуктивности насаждений разного состава с климатом (рис. 36). Максимум продуктивности каждой породы в большей степени определяется теплом и расположен в теплой области, характеризуемой  $\Sigma B_{\text{год}}$  не менее 30 ккал/(см²·год). Положение этой области по оси относительного увлажнения может быть различным и зависит от потребности породы в увлажнении: для кедр  $I_B$  — 0,35—0,65, для пихты 0,50—0,65, для лиственницы 0,6—1,0 и для сосны 0,8—1,0. Конфигурация изобонитет в целом аналогична таковой на схеме зависимости продуктивности основных типов растительности на суше, построенной Н. А. Ефимовой [1977]. Однако между этими схемами есть и различия, касающиеся, в частности, расположения максимумов продуктивности в поле параметров  $\Sigma B_{\text{год}}$  и  $I_B$ . Максимум продуктивности древесной растительности характеризуется на нашей схеме значениями  $\Sigma B_{\text{год}}$  — 30—45 ккал/(см²·год) и  $I_B$  — 0,4—1,0. На картосхеме Н. А. Ефимовой отмечен аналогичный максимум. При недостатке тепла и переувлажнении максимум продуктивности (зональной) смещается в более сухую область, приближаясь к границе леса и степи ( $I_B \sim 1,0$ ). Что же касается таежной растительности, то при  $\Sigma B_{\text{год}}$  менее 30 ккал/см²·год ее продуктивность остается стабильной при  $I_B$  — 0,2—0,5, а далее, по мере роста сухости климата продуктивность, резко снижается (см. рис. 36, а, г). Выше было высказано предположение, что снижение продуктивности древесной растительности вызвано одновременным влиянием мерзлоты, появляющейся при таком сочетании гидротермических условий и отрицательно влияющей на рост деревьев.

Отмечаются определенные закономерности изменения продуктивности лесообразующих пород в координатах  $E/E_0$  и  $\Sigma B_{\text{год}}$ . Прослеживается аналогия в распределении изобонитет древесной растительности и изолиний годичной биологической продуктивности, построенных Л. И. Зубенко [1976]. Одна координата в этих схемах общая — ось относительного испарения, другая ось представлена пропорциональными показателями  $\Sigma t \omega$  и  $\Sigma B_{\text{год}}$ .

Гидротермическое пространство, отражающее условия нашего региона, занимает некоторую часть схемы, построенной для общего

случая, когда под продуктивностью понимается не только древесная масса, но и вся надземная и подземная биологическая продукция. Различия между схемами заключаются в том, что при ограниченных тепловых ресурсах и переувлажнении, выраженном значением  $E/E_0 = 0,8-1,0$ , продуктивность древесной части уменьшается. Согласно общей схеме в аналогичных условиях продуктивность растительного покрова остается постоянной, видимо, за счет луговой субальпийской растительности, возмещающей уменьшение продукции деревьев.

Аналогичным образом были проанализированы зависимости запасов древостоев от гидротермических параметров. В качестве примера рассмотрим условия формирования высокопродуктивных насаждений в координатах  $\Sigma B_{год}$  и  $I_B$ .

Наиболее благоприятные условия для *кедра* складываются при  $\Sigma B_{год} = 25-35$  ккал/(см<sup>2</sup>·год) и  $I_B = 0,3-0,5$ , характеризующие режим горно-таежного пояса, в котором его запасы достигают максимальных величин — более 500 м<sup>3</sup>/га. Благоприятны условия черневого пояса ( $\Sigma B_{год} = 35-45$  ккал/(см<sup>2</sup>·год) и  $I_B = 0,4-0,7$ ), где запасы *кедра* достаточно велики — 300—400 м<sup>3</sup>/га. В черневом поясе отмечаются максимальные запасы *пихты* — 200—300 м<sup>3</sup>/га, в горно-таежном они на 100—200 м<sup>3</sup>/га меньше, чем у *кедра*. Из сказанного следует, что эколого-фитоценотический оптимум *кедра* лежит в горно-таежном поясе, а *пихты* — в черневом. Наибольшая продуктивность *лиственничников* отмечается в светлохвойном подтаежном поясе при  $\Sigma B_{год} = 35-45$  ккал/(см<sup>2</sup>·год) и  $I_B = 0,6-1,0$ . Для *сосновых* древостоев оптимальные гидротермические условия характеризуются значениями  $\Sigma B_{год} = 35-45$  ккал/(см<sup>2</sup>·год) и  $I_B = 0,8-1,0$  также в светлохвойной подтайге и в смежной лесостепи.

#### 4.2.2. Роль почвенных условий в продуктивности

Анализ связей продуктивности лесов с почвами проведен особенно детально в работе М. П. Смирнова [1970]. Результаты его исследований обобщены в виде таблицы, где дана развернутая характеристика лесорастительных свойств почв с сопряженным качественным анализом других факторов внешней среды, формирующих эти свойства. Мы, используя опубликованные данные М. П. Смирнова по аналитическим показателям почв (около 100-проанализированных почвенных разрезов), количественными методами (информационно-статистическим анализом) исследовали почвенные факторы продуктивности горных лесов (на примере Западного Саяна) с целью определения ведущих среди них и выделения оптимальных почвенных условий продуктивности лесных насаждений.

Связи продуктивности насаждений с почвенными условиями исследовались в самом общем виде — без дифференциации на древесные породы. Схематичность была вызвана недостаточностью выборки для каждой из пород. Однако сопряженный анализ таблиц 34 и 38 позволил увязать полученные количественные состояния продуктивности конкретно для каждой лесобразующей породы. При наличии

Таблица 38

Прямые отображения продуктивности (класс бонитета) на почвенные факторы

Градации	I	II	III	IV	V	Va
	2	3	4	5	6	7
Генетический тип почвы *						
1					+	+
2						+
3			+	+		
4	+		+	+		
5		+	+			
6	+	+	+			
Мехсостав, %						
суглинки						
легкие		+	+		+	
средние	+	+		+		
тяжелые	+			+		
глина						+
легкая		+	+		+	+
средняя						+
Скелетность, %						
0—30	+	+	+			
31—70				+	+	
71—100					+	+
Мощность органического горизонта, см						
<10		+	+			
10—20				+	+	+
>20						+
Содержание гумуса в 1-м минеральном горизонте						
<10		+	+			
10—15				+	+	+
15—20			+	+	+	+
pH 1-го минерального горизонта						
<5				+	+	
5—6	+	+	+			
6—7	+		+		+	
>7		+		+		+
Степень неводности оснований, %						
<30	+	+		+		
30—70		+	+			
>70				+	+	+
Содержание обменных оснований, мг-экв/100 г						
<20				+	+	+
20—40		+	+			
>40	+	+		+	+	
Содержание подвижных форм калия, мг/100 т						
<10		+			+	+
10—20	+		+			
20—30	+	+				+
>30		+	+		+	

1	2	3	4	5	6	7
Содержание подвижных форм фосфора, мг/100 г						
<5		+	+	+		+
5—10	+					+
10—20		+				+
>20			+	+		+

\* Расшифровка типов почв дана в табл. 34. Плюсом отмечены коэффициенты максимального правдоподобия более нуля при 20%-ном и менее уровне значимости.

достаточной для достоверных выводов выборки связи между почвенными свойствами и продуктивностью конкретной породы могут быть уточнены.

Не преувеличивая значения полученных выводов, имея в виду поисковый характер исследования по данному вопросу, изложим основные результаты проведенного анализа. Коэффициент сопряженности, равный 12,0%, усредненный для всех почвенных характеристик, указывает на высокую связь между продуктивностью и почвами. Наиболее значимыми для производительности лесов показателями являются мощность органогенного горизонта и количество подвижных форм фосфора в первом минеральном горизонте. Вторую по важности группу показателей составляют скелетность и мехсостав почв. Остальные факторы почти равноценны по степени влияния на продуктивность и оказывают примерно вдвое меньшее воздействие, чем ведущие показатели (см. табл. 28 и 32).

В табл. 38 показаны прямые отображения классов бонитета древостоев на различные почвенные показатели. Проследживается прямая связь производительности древесных пород с генетическим типом почв. Наиболее производительны горно-таежные бурые почвы (6): на них формируются пихтарники и кедровники I—II классов бонитета. С горными лесными дерновыми и дерново-карбонатными почвами (4) связаны наиболее тесно лиственничники I—II и сосняки II—III классов бонитета. Горно-таежные перегнойные неоподзоленные почвы (2) менее продуктивны: на них растут лиственничники III—VI классов бонитета; горные подзолистые почвы (3) под темнохвойными лесами оказываются ближе к малопродуктивным, на них отмечаются кедровники и пихтарники IV—V классов бонитета. Совсем малопродуктивны горно-таежные торфянисто-перегнойные мерзлотные почвы (1): на них растут кедровники и лиственничники не выше V класса бонитета.

Обратно пропорциональная зависимость отмечается между продуктивностью и мощностью органогенного горизонта. В данной проекции проявляется отрицательное влияние термического фактора: чем меньше тепла, тем более мощный органогенный слой образуется. Поэтому наиболее продуктивные древостои I—II классов бонитета приурочены к почвам с мощностью этого горизонта до 10 см, низко-

продуктивные — к почвам с органогенным горизонтом более 20 см.

Связь продуктивности с содержанием гумуса в первом минеральном горизонте почвы недостоверна (уровень значимости 50%) и требует дополнительных данных. Л. О. Карпачевский и другие [1978] показали, что более информативным, чем общее содержание гумуса, в определении продуктивности является запас гумуса в определенном горизонте.

Связь продуктивности с рН, как и следовало ожидать, неоднозначна и дифференцирована по породам. Малопродуктивные кедровые и пихтовые древостои приурочены к сильноокислым, лиственничные — к слабоокислым и нейтральным почвам. Высокопродуктивные насаждения из темнохвойных пород тяготеют к кислым и слабоокислым почвам, из светлохвойных пород — к слабоокислым и нейтральным. Из этих фактических данных нельзя еще сделать однозначных выводов. Прямая связь наблюдается между продуктивностью и степенью насыщенности основаниями: на почвах, насыщенных основаниями, растут продуктивные лиственничники, пихтарники и сосняки, на слабонасыщенных — малопродуктивные кедровники V—Va классов бонитета, что может быть объяснено общими климатическими причинами, вызывающими эти последствия.

Интерпретация зависимости продуктивности от емкости обмена затруднительна из-за сильной «размытости» отображений. В целом намечается тенденция наличия высокой продуктивности древостоев при среднем содержании обменных оснований 20—40 мг-экв/100 г. При количестве обменных оснований, превышающем это значение, класс бонитета обычно не выше IV. В данном случае проявляется когерентное влияние неблагоприятных климатических факторов, которые обуславливают непромывной режим; в результате чего происходит мерзлотное накопление веществ и насыщение основаниями поглощающего комплекса [Смирнов, 1970].

Аналогичная закономерность проследживается в отношении подвижных форм фосфора и калия. Кедровые и лиственничные леса, произрастающие на почвах с развитой мерзлотной аккумуляцией веществ, характеризуются низкой продуктивностью. Низкая продуктивность также может быть обусловлена и малым количеством элементов питания. Для наиболее продуктивных насаждений характерны почвы с умеренным содержанием питательных веществ: в частности, калия содержится 10—30 мг/100 г и фосфора — 5—20 мг/100 г. Продуктивные древостои встречаются также на почвах с большим содержанием подвижных форм калия и фосфора, что говорит о неоднозначности связи продуктивности древостоев с минеральным богатством почв, использование которого в большой степени регулируется их гидротермическим режимом.

Анализ связей продуктивности лесобразующих пород с аналитическими свойствами почв показал, что продуктивность достаточно сильно зависит от почвенных показателей. Однако далеко не всегда влияние почвенных показателей проявляется однозначно, чаще оно регулируется водно-тепловым режимом почв и приземного слоя воздуха. Для окончательных выводов в конкретных ситуациях иногда

требуется постановка специальных исследований режимов местобитания и выявления лимитирующих значений почвенных показателей в их сезонной и многолетней динамике.

#### 4.2.3. Другие факторы, лимитирующие продуктивность

Климатические и почвенные факторы — главные, но не единственные, определяющие продуктивность лесных экосистем. К числу важнейших экологических факторов продуктивности относятся лесные пожары. Общеизвестна роль в продуктивности лесов многообразных биотических факторов. И, наконец, кроме природных факторов продуктивность лесных экосистем контролируется комплексом все усиливающихся антропогенных воздействий, особенно промышленных загрязнений атмосферы.

**Пожары.** Лесные пожары — мощный регулятор продуктивности лесов. Они всегда были естественным фактором среды: по С. Спурру и Б. Барнесу [1984], на Земле от молний ежегодно возникает около 50 тыс. лесных пожаров. Но человек многократно усилил роль этого регулятора и видоизменил ее.

В горах Южной Сибири, как и на равнине, причиной абсолютного большинства лесных пожаров (до 90% их) является человек. Лишь в отдельных районах с высокими хребтами и частыми грозами доля пожаров от молний может возрастать до 25—30%. В то же время возможность распространения огня обусловлена природными особенностями горного ландшафта: климатическими (погодными) условиями, составом и структурой растительного покрова, спецификой рельефа. Это находит свое отражение в известном тезисе «пожары — явление географическое» [Мелехов, 1980; и др.].

Распространенность пожаров в целом по Южной Сибири можно оценить показателем относительной горимости (среднегодовая площадь пожаров в процентах от общей лесной) порядка 0,3—0,4%, что по большинству районов больше годичной площади рубок. Заметим, что горимость горных лесов в целом несколько ниже, чем равнинных, где она составляет в среднем около 0,5—0,7%. Однако горные леса отличаются от равнинных гораздо большей амплитудой горимости: по отдельным районам и ВПК показатели горимости отличаются от указанных средних в 5—10 и более раз.

Роль пожаров в продуктивности горных лесов в большинстве условий можно оценить как очень отрицательную: даже беглый огонь приводит к изреживанию древостоев, снижению прироста и качества древесины, стимулирует активизацию деятельности стволовых энтомофагов, последующие усыхание и ветровал части деревьев. Вследствие выгорания подстилки, мохового и органического слоя, уничтожения скреплявшей почву растительности резко снижаются фильтрационные способности почв и их противозерозионная устойчивость, разрушается структура почвенных агрегатов, происходит заиливание нижних горизонтов за счет перемещения илстых частиц вниз (лессивирование почв) и уплотнение верхних горизонтов. В результате внутрипочвенный сток заменяется разрушительным поверх-

ностным: показатели твердого стока и жидкого поверхностного стока возрастают, по результатам дождевания микроплощадок, обычно в десятки раз. Масштабы эрозии и снижения продуктивности почв при пожарах еще более внушительные, чем при сплошных концентрированных рубках, которые все же регламентируются целым рядом лесоводственных требований и ограничений.

Горный рельеф создает большое разнообразие лесопожарной обстановки. Положение хребтов по отношению к влагоносным ветрам, высотная пойсность, различия в экспозиции, крутизне склонов и формах рельефа — все это определяет пестроту климатического фона и, как следствие, различия в сроках так называемого пожарного созревания лесных участков, продолжительности пожароопасных периодов, возможностях возникновения и распространения огня.

Следует выделить еще одну специфику горимости горных лесов в сравнении с равнинными. Если на равнинах Сибири период пожароопасности непрерывный (от 2—3 мес в северных районах до 6—7 мес в южных), то в горах отчетливо выражено совсем иное распределение пожаров во времени. При значительной общей продолжительности пожароопасного сезона (до 6 мес в предгорной и низкогорной полосе) характерны два максимума горимости: весенний (май—июнь) и осенний (сентябрь или октябрь). Весенний период с сильной вспышкой численности пожаров (до 70—80% от их общего числа) сменяется летним (июль—август) перерывом в возникновении пожаров вследствие обильных осадков и разрастания трав. Осенью, после отмирания трав, отмечается новая небольшая вспышка численности пожаров, значительно уступающая весенней [Валендик, 1985].

В общую схему лесопожарной специфики гор существенные коррективы вносят погодные условия конкретного года. Если в обычные годы пожары возникают преимущественно весной и осенью и почти исключительно на склонах световых экспозиций, то в засушливые годы они возможны и летом, причем на склонах всех экспозиций. Крупные пожары (более 150—200 га) отмечаются почти исключительно в засушливые сезоны, когда горимыми становятся многие обычно негоримые естественные преграды [Валендик, 1985].

Для приводимой ниже оценки лимитирующей роли пожаров по группам районов (климатическим фациям) мы использовали шкалу горимости Э. Н. Валендика [1985], основанную на частоте повторяемости крупных пожаров на 1 млн. га лесной площади.

*Таежно-черневые районы* характеризуются низкой горимостью: в отдельные годы пожары практически отсутствуют. Показатели горимости здесь значительно ниже, чем в наименее горимых равнинных районах: лесотундровых, северотаежных и лесоболотных.

*В горно-таежных (влажных) районах* горимость оценивается как умеренная и примерно соответствует уровню горимости равнинных районов, отмеченных выше.

*Таежно-лесостепные районы* в пределах Алтае-Саянской горной области отличаются повышенной горимостью, свойственной большинству равнинных и плоскогорных районов Сибири. В пределах же Южного Забайкалья, с преобладанием в нем лесостепных низко-

горий, леса отличаются наиболее высокой горимостью. На равнине и плоскогорьях близкие показатели горимости отмечаются лишь в дождевой тени горных систем (Зауралье, районы к востоку от Енисейского кряжа и т. п.).

Как известно, в горах число пожаров убывает с абсолютной высотой: примерно в 4 раза при интервале высот около 1 тыс. м [Спурр, Барнес, 1984]. Это положение можно конкретизировать материалами 4-летних стационарных наблюдений\* за пожарным созреванием лесных участков по основным ВПК Южной Сибири. Было установлено, что общее число пожароопасных дней (число дней в году с пожарной зрелостью) колеблется по типам леса в следующих пределах:

- в подтаежно-лесостепном (сосновом) ВПК — от 40 до 130;
- в светлохвойно-таежном (лиственничном) ВПК — от 30 до 70;
- в темнохвойно-таежном (кедровом) ВПК — от 10 до 30;
- в черневом (кедрово-пихтовом) ВПК — от 0 до 15;
- в избыточно влажном горно-таежном (пихтовом) ВПК — от 0 до 5;
- в подгольцово-таежном (кедровом) ВПК — от 0 до 10 дней.

Во всех ВПК наивысшими показателями потенциальной горимости (в 3—4 раза выше, чем на плакоре) характеризовались типы леса на склонах южных экспозиций, особенно в верхних выпуклых частях этих склонов. Приведенные показатели четко согласуются с показателями высотно-поясной и экспозиционной тепло- и влагообеспеченности (см. гл. 2). В соответствии с этими показателями в подтаежно-лесостепных сосновых массивах средняя повторяемость пожаров на одной и той же площади за последние 200—250 лет достигала 15—20 лет [Побединский, 1963; данные спецучетов], а относительная горимость — 5—7%. В то же время в темнохвойных и высокогорных поясах необходимость в пожарной охране часто ограничивается всего несколькими днями в году.

Существенные коррективы в приведенные показатели вносят состав растительности и плотность древесного полога. В открытых местах и разреженных древостоях число пожароопасных дней резко возрастает. В сосняках оно значительно выше, чем в лиственничниках при сходных лесорастительных условиях (за счет различий в плотности опада и других особенностей). В темнохвойных лесах, отличающихся мощным слоем влагоемкой подстилки и развитым травяно-моховым покровом, пожарная опасность устанавливается лишь к концу весенне-летнего бездождного периода и потому удерживается обычно не более 3—5 дней. Общеизвестна барьерная по отношению к пожарам роль лиственных лесов\*\*.

Изложенные ранее (см. гл. 2) принципы расчета климатических показателей по высотным поясам и элементам рельефа открывают большие перспективы в отношении прогнозов пожарной опасности.

\* Использованы материалы научных отчетов М. Д. Евдокименко, Н. М. Баранова и М. А. Софронова.

\*\* Однако и эти леса весной после схода снега и до начала вегетации трав отличаются высокой пожароопасностью.

Основой такого прогноза служат оперативные данные базисных метеостанций, привязанные к специализированным климатическим картам. На основе таких карт, составленных по ВПК и типам леса (точнее — геоморфологическим комплексам типов леса), должна строиться вся система противопожарной профилактики.

Давая заключительную оценку роли пожаров в продуктивности лесов, отметим, что эта роль далеко не однозначна. При длительном (несколько столетий) отсутствии пожаров в ряде условий может наблюдаться консервирование грубого гумуса, оторфовывание почв, ухудшение их термички и аэрации, а соответственно снижение потенциала продуктивности почв.

В Сибири мелиоративная роль огня наиболее отчетливо выражена на мерзлотных почвах [Степанов, 1985]. В странах Скандинавии, в Канаде, Австралии накоплен положительный опыт повышения плодородия лесных почв именно с помощью выжигания. В США снижение численности пожаров в ряде районов повлекло за собой снижение продуктивности лесов и потому вызвало увеличение их направленного выжигания в южных и западных штатах [Спурр, Барнес, 1984]. Подчеркнем, что речь идет уже не о стихийном факторе, а о регулируемом огне, который обычно не влечет за собой потерь питательных веществ и снижения почвенного плодородия в целом. В Сибири управляемый огонь испытан и рекомендован в качестве профилактической противопожарной и лесовосстановительной меры для выжигания так называемых «шелкопрядников» — усохших темнохвойных лесов, очень слабо восстанавливающихся и чрезвычайно пожароопасных [Фурьев, 1966].

**Биотические факторы.** Из комплекса биотических факторов, лимитирующих продуктивность лесов, важнейшее значение имеют *фитоценоотические*. Эти факторы, достаточно полно отраженные в разд. 3.3 и 3.4, определяются видом и формовым разнообразием лесообразователя (популяционно-генетические факторы), историей возобновления и развития древостоя, его густотой, взаимоотношениями между эдификаторами, ярусами растительности и поколениями леса.

Мы не оцениваем роли *микробеценозов*, дающих на 1 га лесов в год тонны и даже десятки тонн вторичной продукции. Роль этой продукции в стабилизации продуктивности лесов очень важна, но в горных лесах недостаточно изучена. Во всяком случае продукция микробеценоза в тысячи раз больше продукции (биомассы) позвоночных животных и в десятки раз больше продукции беспозвоночных (фауна почв и подстилок). Ниже мы сосредоточим внимание на особой лимитирующей роли *дендрофильных насекомых*.

Масштабность вспышек массового размножения (инвазий) насекомых в горах Южной Сибири можно наглядно проследить на примере сибирского шелкопряда, от которого за последние 40—50 лет здесь усохло около 3 млн. га темнохвойных (преимущественно кедровых) лесов. Около 1 млн. га темнохвойных (преимущественно пихтовых) лесов усохло от повреждения пихтовой пяденицей с сопутствующими видами (сибирский шелкопряд, большой хвойный усач и др.). В лиственничных лесах еще большие площади может повреж-



дать серая листовничная листовертка (по А. С. Плешанову [1983] до 25% всех листовничников), однако вследствие лишь однократного обесхвоивания последствия ее инвазий не носят опустошительного характера.

Повреждениям хвоелистогрызущих насекомых (филлофагов) обычно сопутствуют очаги стволовых вредителей (ксилофагов). По Ю. П. Кондакову [Кедровые леса Сибири, 1985], стволовые вредители в горных лесах Южной Сибири по удельному весу составляют около 53% общей численности дендрофильных насекомых. Значение стволовых вредителей все возрастает под давлением на леса антропогенных факторов: повреждения пожарами, рубками, рекреациями, промышленными загрязнениями воздуха.

В климатических связях инвазий насекомых можно усмотреть определенную аналогию с закономерностями вспышек и распространения пожаров. Отметим прежде всего, что разнообразие состава энтомовредителей прямо пропорционально теплообеспеченности местобитаний [Плешанов, 1983]. Наиболее многочисленны и разнообразны комплексы дендрофильных насекомых в низкогорьях (до 200 видов), а в их пределах — по верхним частям склонов световых экспозиций. Однако гораздо важнее не сама по себе теплообеспеченность, а ее соотношение с влагообеспеченностью, т. е. показатели относительного увлажнения. Многими авторами отмечается четкое увеличение биологической активности насекомых (показатели видовой насыщенности и др.) с ростом засушливости климата. Установлены синхронные вспышки целого комплекса насекомых при засухах. Причем, как и при пожарах, важна не только степень засушливости климата, но и продолжительность засушливого периода и его сезонная приуроченность.

Тесная связь инвазий насекомых с падением показателей относительного увлажнения позволяет для целей долгосрочного прогнозирования этих вспышек использовать различные биоклиматические показатели [Кондаков, 1975]. Потенциальная угроза массового размножения насекомых обычно реализуется, если эти показатели превышают критическую норму на протяжении периода развития двух смежных поколений — в горах обычно на протяжении 3—4 лет.

Интересно проследить биологическую активность насекомых, а соответственно их лимитирующую роль в продуктивности лесов, по климатическим фациям лесов и высотно-поисным комплексам типов леса. В холодном и избыточно влажном климате массового распространения энтомовредителей не наблюдается. Соответственно не отмечалось инвазий насекомых во всех подгольцово-таежных и субальпийско-таежных ВПК. В группе недостаточно влажных (таежно-степных) районов, где леса произрастают либо в высокогорьях (выше 1600 м), либо на менее прогреваемых северных склонах (абс. высоты в пределах 1200—1600 м), хозяйственно значимых очагов размножения также не отмечается.

В лесах избыточно влажной климатической фации гидротермические условия таежного (пихтово-кедрового) пояса также препятствуют вспышкам хвоегрызущих и здесь отмечаются лишь очаги ство-

ловых вредителей. В черневом (пихтово-кедровом) поясе эпизодические вспышки опасных филлофагов (сибирский шелкопряд, пихтовая пяденица) в сочетании с усачами рода *Monochamus* и другими ксилофагами происходят, но значительно реже и не столь масштабно, как в таежном (кедровом) поясе районов влажной климатической фации. Можно, например, отметить повреждение до степени усыхания сибирским шелкопрядом около 40 тыс. га пихтовых лесов Горной Шории в 1919—1921 гг. и около 30 тыс. га кедровых лесов на хр. Хамар-Дабан в 1934—1950 гг., а также пихтовой пяденицей — около 950 тыс. га пихтовых лесов бассейна р. Тубы в 1931—1933 гг. Примечательно, что верхний предел распространения указанных вредителей (на абс. высотах 800—900 м) ограничивали многолетние показатели сумм активных температур ( $\Sigma t$ ) около 1200°C и коэффициент увлажнения по Мезенцеву (коэф. увл.) около 2,0.

В лесах умеренно влажных горных районов, как и влажных, наблюдается в целом более высокая активность энтомовредителей. Каждый ВПК характеризуется своим специфическим комплексом дендрофильных насекомых\*.

В предгорных лесостепных сосновых борах, в условиях жесткого, засушливого климата, характерным массовым вредителем насаждений является сосновая пяденица. Это — явно выраженный термофилл, поэтому уже в подтаежных ВПК подъемы численности его отмечаются лишь эпизодически. Вспышкам численности пяденицы (обычно 1 раз в 10—12 лет) сопутствует поселение обширного комплекса стволовых вредителей, включающего 30—40 видов, из которых наиболее опасны большой сосновый лубоед и черный сосновый усач.

В лесостепных, подтаежных и подтаежно-лесостепных ВПК (сосновые, сосново-березовые и сосново-лиственничные леса) большинство вредителей листового аппарата находит наиболее благоприятные условия для обитания и массового размножения: теплый климат с периодическими засухами в первую половину вегетационного периода ( $\Sigma t$  — 1300—2000°, коэф. увл. — 0,6—1,0). В сосняках опасными видами здесь являются хвойная волнянка, сосновый шелкопряд, сосновая пяденица, минер Фризе, обыкновенный и рыжий сосновые пилильчики. В лиственничниках возможны вспышки сибирского и непарного шелкопряда, пяденицы Якобсона (может вызывать дефолиацию лиственницы в течение 3—4 лет подряд), античной и белозубой волнянки, серой лиственничной листовертки (со вспышками нередко на сотни тысяч га). Активность ксилофагов особенно проявляется в очагах хвоегрызущих, на пожарниках, иногда в очагах корневой губки. При этом в сосняках наиболее значимы короеды пожарниц и шестизубый, полосатый древесинник и малый черный еловый усач, а в лиственничниках — короеды продолговатый и большой лиственничный, лиственничная златка, заболонник Моравица, алтайский лиственничный усач и тот же малый черный еловый усач.

В светлохвойно-таежных ВПК ( $\Sigma t$  — 900—1400°, коэф. увл. — 0,9—1,2) очаги первичных вредителей возникают эпизодически в за-

\* Использованы материалы научных отчетов Ю. П. Кондакова.

сушливые годы, распространяясь обычно из нижележащего подтаежно-лесостепного пояса. Из филлофагов характерны сибирский шелкопряд (наиболее опасен и распространяется на десятки тысяч га), серая лиственничная листовертка (распространяется на сотни тысяч га, но не столь опасна), пяденица Якобсона, шелкопряды лунчатый и иногда непарный. Ксилофаги гораздо лучше приспособлены к прохладному и влажному климату и распространены на всех пожарищах, ветровальниках и в очагах филлофагов.

В таежно-таежных (кедровых) ВПК из-за нехватки тепла и высокой влагообеспеченности ( $\Sigma t - 600-1200^\circ$ , коэф. увл. — 1,2—2,0) участки первичного возникновения очагов филлофагов отчетливо тяготеют к наиболее прогреваемым верхним и средним частям склонов световых экспозиций, а также к выпуклым южным отрогам водоразделов, как правило, лишь до абс. высот 1200—1300 м (разнотравные, вейниково-осочковые, бруснично-зеленомошные и близкие к ним типы леса). Несмотря на эпизодический характер вспышек, отдельные очаги, особенно сибирского шелкопряда, распространяются очень быстро и занимают громадные площади. Кроме сибирского шелкопряда очень опасны хвойная волнянка, лунчатый шелкопряд, пихтовая пяденица. Широко распространены ксилофаги: короеды типограф, гектограф, двойник, черно-бурый лубоед, блестящегрудый еловый усач. На пожарищах поселяются короеды пожариц и шестизубый, а в очагах шелкопряда — граверы сибирский и байкальский, полосатый древесинник, усачи рода *Monochamus*. Особо следует выделить большого хвойного усача, повсеместно заселяющего окраины очагов филлофагов, вырубок, пожарищ.

В черневом поясе, теплом и влажном ( $\Sigma t - 1200-1800^\circ$ , коэф. увл. — 1,2—2,1), в прежние годы наблюдались значительные очаги филлофагов, особенно пихтовой пяденицы и сибирского шелкопряда. В связи с интенсивной вырубкой, расчленением темнохвойных лесов и заменой их березово-осиновыми произошла перестройка всего ландшафтно-экологического комплекса насекомых, с ослаблением инвазий сибирского шелкопряда и пихтовой пяденицы и усилением активности термофильных и листогрызущих видов: непарного шелкопряда, ивовой волнянки, березовой листовертки, черемуховой горностаевой моли, боярышницы и других.

В избыточно влажном (пихтово-кедровом) таежном ВПК ( $\Sigma t - 700-1100^\circ$ , коэф. увл. — 2,1—3,0) активность всех филлофагов подавлена. Однако проявляют активность, иногда высокую, ксилофаги, особенно большой хвойный усач, превращающийся при определенных условиях в первичного вредителя.

Всякое интенсивное повреждение деревьев насекомыми приводит к нарушению физиологических процессов, ослаблению, потере прироста и даже к гибели. Если лиственница может переносить 2—3-кратное обесхвоивание филлофагами, то сосна и кедр — лишь однократное, а пихта гибнет уже при потере около 50% хвои. Но даже у лиственницы повреждение кроны влечет за собой снижение прироста в лесостепных поясах обычно в течение 2 лет, а в горно-таежных, в зависимости от теплообеспеченности, — до 7—9 лет, причем

ежегодное снижение прироста достигает 70—80% [Плешанов, 1983]. Размеры общего снижения прироста древостоев зависят от ряда факторов (состава, структуры и состояния лесов, вида вредителя, степени повреждения и др.), но во всех случаях контролируются прежде всего условиями биоклимата.

Ограничение продуктивности лесов за счет *грибных болезней (микозов)* мы подробно не обсуждаем, поскольку данных для детального анализа их климатических связей по горам пока мало.

В отличие от активности насекомых, распространение грибных болезней в целом возрастает с повышением влажности климата. Микозы мало распространены в засушливых условиях лесостепных ВПК, гораздо больше — в таежных ВПК и наиболее широко — в черневом и избыточно влажном таежном ВПК. В высокогорьях (подгольдово-таежные ВПК) из-за низкой теплообеспеченности, а отчасти благодаря высокой плотности мелкослойной древесины, зараженность грибами резко падает.

Оптимальные в пределах Южной Сибири условия для развития микозов как по набору видов (до 100 видов), так и по их вредоносности создаются в черневом поясе. Зараженность деревьев пихты и кедра комлевыми и стволовыми гнилями достигает здесь 60—70% и более, а соответствующее снижение лесоресурсной (биологической) и особенно хозяйственной продуктивности древостоев достигает наибольших размеров. Из числа наиболее опасных следует выделить несколько видов губок (корневая, сосновая и лиственничная) и трутовиков (Швейница, серно-желтый, окаймленный).

В лесотипологическом плане прослеживается та же общая закономерность: наименьшим распространением микозов отличаются типы леса хорошо прогреваемых склонов (световых экспозиций, крутых, выпуклых, верхних частей хребтов).

Роль позвоночных животных, даже крупных фитофагов, в снижении продуктивности лесов в пределах Южной Сибири вследствие невысокой их численности сравнительно невелика. Ощутимой она может быть лишь на ограниченной площади молодняков, формирующихся на вырубках и гарях. В условиях все усиливающегося антропогенного пресса гораздо более существенна роль в лесу выпаса скота.

**Антропогенные факторы.** В современных условиях антропогенные воздействия на леса перешли из категории случайности в запрограммированный компонент биосферы. Наглядным примером этого могут служить описанные выше пожары. Крупным лимитирующим фактором являются *сплошнолесосечные рубки*, приводящие в горах к резким нарушениям режима стока, к эрозии почв и в конечном итоге к снижению потенциала продуктивности почв (см. разд. 4.3, гл. 5).

Из других антропогенных факторов большую роль в отдельных горных районах (Алтай, Хакасия, Тува, Бурятия), особенно в условиях лесостепного пояса, может играть *пастбища скота*, вызывающая в отдельных случаях снижение потенциала местообитаний на целый класс бонитета, а иногда — более значительную деградацию почв

и лесонасаждений. В последнее время аналогичную роль в пригородных и придорожных лесах играют *последствия рекреаций*. В горах Южной Сибири эта роль пока невелика.

Заслуживают особого выделения привлекающие к себе большое внимание в последние годы массовые повреждения лесов Европы и Северной Америки *промышленными загрязнениями атмосферы*. В качестве основных загрязнителей (фитотоксикантов) отмечаются прежде всего сернистый газ и серосодержащие соединения (заводы, тепловые электростанции и другие стационарные источники, работающие на каменном угле, а также целлюлозные предприятия), фториды (алюминиевые и другие заводы), соединения свинца, меди, кобальта, никеля, кадмия и других тяжелых металлов (выбросы металлургических предприятий), окислы азота и озон (при загрязнении выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания). Кроме газовых и дымовых выбросов массовые повреждения лесов вызывают «кислые дожди» (рН 4,0 и менее) и «кислые туманы» (смоги) за счет выпадения кислот (сернистая, фтористая и др.) иногда от очень отдаленных предприятий. «Кислые осадки» губительно действуют как непосредственно на ассимиляционный аппарат, так и через подкисление почвы.

Выбросы отдельных токсикантов в индустриальных странах за последние годы возросли во много раз и достигают величин десятков миллионов тонн в год. Наибольшие показатели загрязнений отмечены в странах Центральной Европы. Например, выпадение двуокиси серы составляет в ФРГ 5,5 г/м<sup>2</sup> в год, в ГДР — 8,6 и в ЧССР — 12 г/м<sup>2</sup>. По данным специальной инвентаризации лесов, проведенной в 1983 г. в ФРГ, поврежденные и отмирающие от промышленных выбросов леса в целом по стране составили 34% от общей площади лесов 7406 тыс. га [Lehringer, 1984]. При этом повреждено пихтовых насаждений — 76%, сосновых — 43, еловых — 41, буковых, дубовых, лиственных и др. — 15—26%. По дополнительным учетам 1984 г., процент поврежденных древостоев достиг около 50. В Баварии, например, из общей площади лесов 2500 тыс. га повреждено 57%, в том числе 86% всех пихтовых лесов и 64% сосновых.

Повреждение лесов происходит как за счет прямых воздействий промышленных эмиссий, так и за счет повышения восприимчивости к вредному воздействию биотических и абиотических факторов, особенно — погодных аномалий. Ослабленные выбросами леса становятся объектами нападения энтомовредителей и болезней. В результате происходит падение прироста, особенно ассимиляционной массы, снижение класса бонитета насаждений, а затем необратимое ослабление и усыхание. Устойчивость лиственных пород и лиственницы обычно значительно выше, чем сосны и темнохвойных. Наибольшей чувствительностью к загрязнениям отличаются виды рода пихт.

Размеры и степень повреждения лесов промышленными эмиссиями находятся в большой зависимости от рельефа и направления господствующих ветров. Наибольшие повреждения наблюдаются в горных районах на наветренных склонах горных хребтов. В странах Европы размеры повреждений резко возрастают на высотах 800—

900 м — в зоне образования «кислых туманов» и повышенных градиентов осадков, а в Северной Америке, где уровень стояния облаков обычно выше, повышается и зона наибольшего повреждения.

В Сибири повреждения лесов промышленными выбросами не получили столь массового распространения и имеют выраженный очаговый характер (вокруг алюминиевых и целлюлозных заводов, крупнейших ТЭЦ, металлургических комбинатов, промышленных комплексов). В пределах гор Южной Сибири значительные повреждения промышленными эмиссиями пихтовых и частично кедровых лесов наблюдаются с 1975 г. на северо-западных макросклонах хребтов, обрамляющих байкальскую впадину с юго-востока. Зона массового повреждения пихтовых лесов на Хамар-Дабане занимает высотную полосу от 900 до 1200 м абс. высоты, т. е. практически совпадает с границами избыточно влажного пихтово-кедрового таежного ВПК. Как ранее отмечалось, градиент осадков в этом ВПК за счет «подпора» влагоносных воздушных масс достигает 150—180 мм/100 м высоты, что способствует выпадению токсических веществ из атмосферы. По исследованиям Сибирского института физиологии и биохимии растений СО АН СССР (СИФИБР), главным токсикантом является высокотоксическое к хвойным сероорганическое соединение, выбрасываемое Байкальским целлюлозным заводом. В зависимости от расстояния до источника загрязнения (110—140 км) выпадение серы составляет ориентировочно от 2 до 8 г/м<sup>2</sup> в год, т. е. в пределах величин, средних для ФРГ. За счет серы осадки и снеговая вода имеют кислую реакцию с обычным колебанием рН от 4,5 до 5,5. Наиболее губительные концентрации соединения, аккумулярованного снегом, выделяются в период снеготаяния. В хвое и лубе пихты содержание серы повышается в 2—3 раза и достигало губительного уровня — 0,5% сухого веса.

По данным СИФИБР, общая площадь ослабленных и усыхающих лесов составляет от 10 до 25% всех пихтовых насаждений загрязненной зоны, что пока не выше, чем в относительно мало загрязненной Швейцарии. Опасность усугубляется тем, что в ослабленных лесах возникли и развиваются очаги большого хвойного усача. Усач достиг критической численности и по степени активности играет роль первичного фактора усыхания пихтовых лесов. Вследствие деятельности усача отмечается расширение высотной полосы усыхания — опускание ее вниз по склонам водораздельных отрогов.

Отрицательный опыт размещения на Байкале целлюлозного предприятия имеет и одну положительную сторону: он помогает дать предостерегающий прогноз и является своеобразной моделью, показывающей необходимость соответствующих профилактических мероприятий при организации близ горных систем Южной Сибири более крупных промышленных комплексов (Саянский, КАТЭК и др.). В связи с особенностями переноса воздушных масс и перехвата осадков горами следует ожидать концентрированного осаднения выбросов («кислые дожди» и др.) в верхних частях горных систем избыточно влажных районов. Наибольшая потенциальная опасность повреждения создается в Кузнецком Алатау и особенно в горно-таежных

пихтовых и пихтово-кедровых лесах, прилегающих с востока и юго-востока к Минусинской котловине (северо-восточные отроги Западного Саяна и западные отроги Восточного Саяна в высотной полосе 800—1200 м).

Очевидно, что необходим прежде всего комплекс эффективных профилактических мер на промышленных предприятиях. Однако в отдельных случаях, вероятно, возникнет необходимость замены очень чувствительной к эмиссиям пихты на более устойчивые к ним кедр и лиственницу, нейтрализации кислых осадков известкованием и проведения ряда других лесоводственных мер.

Иногда выделяют «физиолого-биохимические» процессы в качестве факторов «биогеоценотической продуктивности» [Бузыкпн, 1977]. Очевидна ошибочность таких суждений: переход на процессы организменного и клеточного уровня (прерогатива физиологии растений) означает утрату концепции биогеоценоза.

В заключение следует подчеркнуть, что продуцирование биомассы является интегральным отображением целого комплекса взаимосвязанных экологических, биотических и техногенных факторов. Важно, однако, что в настоящее время благодаря информационно-статистическим методам анализа вклад климатических факторов в эти связи получает количественную оценку.

#### 4.2.4. Потенциальная продуктивность горных лесов

Понятие «продуктивность» является категорией оценочного порядка. В соответствии с целями оценки можно различать несколько видов продуктивности лесов: лесоресурсную, экологическую, хозяйственную, комплексную и потенциальную.

*Лесоресурсная продуктивность* близка по содержанию к первичной биологической [Уткин, 1975]. Помимо первичной древесной продукции она включает недревесные ресурсы, а также (частично) вторичную продукцию.

*Экологическая продуктивность* — важное понятие, отражающее ландшафтно- и биосферостабилизирующие функции лесных экосистем. Включает и продукцию, выходящую за пределы этих систем: воду, кислород (см. разд. 4.3).

*Хозяйственная продуктивность* подразумевает прикладные аспекты первичной биологической продуктивности [Уткин, 1975]. До последнего времени включала прежде всего изымаемую часть лесных ресурсов — древесину, живицу, животных, пищевые, лекарственные и другие вещественные продукты. В последние годы сюда включаются также стоковые воды и так называемые «невесомые» (невещественные) полезности леса — эстетика, рекреации.

*Комплексная продуктивность* охватывает три предыдущих вида и предусматривает количественную оценку вклада каждого из них в интегральную продукцию. На этой основе предполагается разделение лесных участков по их функциям и продуктивности на целевые эколого-хозяйственные категории разного ранга.

*Потенциальная продуктивность*, в отличие от всех упомянутых выше видов наличной (фактической) продуктивности, определяет возможные размеры продуцирования органического вещества.

Вопросы определения потенциальной продуктивности лесов уже продолжительное время обсуждаются в литературе, поскольку являются наиболее важными в проблеме создания так называемых эталонных лесов. Потенциальная продуктивность является одним из главных показателей эталонных насаждений, характеризующихся также такими показателями, как оптимальный видовой состав, хозяйственная (экономическая) ценность, эффективность с точки зрения защитных и других свойств [Лосицкий, Чуенков, 1973]. Под потенциальной продуктивностью понимают максимально возможную для данных климатических и почвенных условий продуктивность: первичную биологическую (т/га) или продуктивность запаса стволовой древесины (м<sup>3</sup>/га). Обычно именно последняя, хозяйственно наиболее существенная составляющая первичной продуктивности, является предметом изучения лесоводов.

Е. Форд и А. Фразер [Ford, Fraser, 1968] предлагают различать абсолютную и хозяйственную потенциальную продуктивность. Абсолютной называется потенциальная продуктивность, которая независимо от породы и хозяйственных мер определяется лишь солнечной радиацией. Хозяйственная потенциальная продуктивность ограничивается другими факторами: эдафическими, которые могут регулироваться хозяйственными мероприятиями, и климатическими, которые в настоящее время не контролируются, но в перспективе могут контролироваться путем изменения структуры древостоя и применения других более фундаментальных мер хозяйствования. Хозяйственная потенциальная продуктивность должна определяться для каждой древесной породы в конкретных местообитаниях.

Методы изучения потенциальной продуктивности, по В. С. Чуенкову [1977], можно подразделить на три основные группы: лесотипологические, лесоводственно-таксационные и климатологические.

Лесотипологические методы оценки требуют большого объема маршрутных исследований, поскольку суть их заключается в выявлении наиболее продуктивных насаждений в природе и их подробной характеристике. Лесотипологические методы не получают широкого применения в силу большой трудоемкости.

Наиболее распространены лесоводственно-таксационные методы, с помощью которых изучаются закономерности строения и роста насаждений, являющиеся основой последующего моделирования этих процессов. Указанные методы применимы для конкретных условий произрастания, в то время как климатологические методы оценки потенциальной продуктивности применимы для крупных территориальных единиц.

Климатологические методы в свою очередь также можно подразделить на 4 группы: 1) описательную, 2) климатических индексов, 3) статистических и 4) функциональных моделей.

К первой группе относят те методы, в которых сопоставляется графически (описательно) продуктивность лесов с соответствующи-

ми климатическими условиями [Ведь, 1969; Machado, Do, 1977; Christie, Lines, 1979].

Методы климатических индексов являются самыми распространенными в исследованиях связей между продуктивностью и климатом. Суть их состоит в том, что несколько наиболее важных гидро-термических показателей климата комбинируют в один комплексный, называемый климатическим индексом прироста, который наилучшим образом коррелирует с годичным приростом деревьев. Детальный обзор климатических индексов прироста деревьев дан в работе А. И. Уткина [1975].

Первые попытки связать годичный прирост с климатом через климатические индексы принадлежат Дж. Векку, подобравшему для территории Центральной Европы такие климатические параметры, с которыми была высокой корреляция прироста: коэффициент корреляции равнялся 0,83 [Weck, 1970].

Наибольшее признание исследователей всего мира получил коэффициент Патерсона [Paterson, 1956], так называемый *CVP*-индекс (климат — продуктивность растительности). *CVP*-индекс был выведен им на основе физиологических процессов прироста, обусловленных климатом:

$$CVP = (T/T_a)(P/1)(П/12)(E/100), \quad (32)$$

где  $T$  — температура самого теплого месяца,  $T_a$  — амплитуда температур самого теплого и самого холодного месяцев,  $P$  — годовое количество осадков (мм),  $П$  — продолжительность периода с температурами выше  $7^\circ$  (мес),  $E$  — фактор Миланковича, или коэффициент эвапотранспирации ( $R_p/R_s$ ), равный 100, где  $R_p$  — суммарная радиация на полюсе,  $R_s$  — суммарная радиация в данном месте.

В результате расчетов *CVP*-индексов и прироста древесины для 1426 точек на суше им было выделено 6 зон потенциальной продуктивности лесов. На основе индексов Патерсона проведены многочисленные исследования по продуктивности лесов в различных районах суши [Matejka, 1969; Вяцкус, 1977; Leone, Vita, 1978; и многие другие].

*CVP*-индекс имеет различные модификации, которые оказались необходимыми в районах, где какой-либо фактор находится в минимуме (по [Уткин, 1975]). Например, в странах Скандинавии большее влияние на рост деревьев оказывает тепло, и учет осадков лучше производить в виде  $\sqrt{P}$ . В странах Западной и Центральной Европы наилучшие корреляции с приростом осуществляются с индексами в их первоначальном виде. Большие коррективы индекса потребовались для лесов тропической зоны, где отсутствует зимняя пауза в вегетации растений. Ряд модификаций индекса для тропической лесной зоны Индии предложил Дж. Векк [Weck, 1970].

У нас в стране параметры эталонных лесов, и в частности их потенциальную продуктивность, исследовали К. Б. Лосицкий [1974] и В. С. Чуенков [1977 и др.]. Было показано, что на единицу радиационного баланса при достаточном увлажнении независимо от географической зоны каждая порода в одинаковом возрасте образует

одинаковый прирост. Прирост назван показателем потенциальной продуктивности леса на единицу тепла. Этот показатель имеет невысокий коэффициент вариации (5—15%), что говорит о его стабильности и малой зависимости от других факторов.

По существу, методы оценки продуктивности с помощью климатических индексов близки к методам статистических моделей, так как те и другие отражают зависимости роста деревьев от климатических факторов. Но климатические индексы в значительной мере выведены интуитивно подбором показателей путем общих рассуждений, что в какой-то степени обуславливает их субъективность. Методами математической статистики, составляющими основу метода статистических моделей, объективно, с необходимой достоверностью выбирают именно те климатические параметры, которые являются ведущими в определении прироста деревьев [Manogaran, 1974; Moosmayer, Schöpfer, 1972; Черепнин и др., 1973; Shrivastava, Ulrich, 1978; и др.].

Методы функциональных моделей основываются на физиологических законах зависимости интенсивности фотосинтеза от климатических параметров, а именно от фотосинтетически активной радиации и температуры воздуха, которые влияют на параметры, определяющие продуктивность фотосинтеза.

Подобные модели разработаны в Главной геофизической обсерватории [Будыко, Гандин, 1966; Гандин и др., 1969; Ефимова, 1977]. В последние годы эстонской школой под руководством Ю. К. Росса [Росс, 1964; Росс, Бихеле, 1968, 1969; и др.] успешно разрабатываются модели фотосинтеза в слое растительного покрова. Г. Ф. Хильми [1966, 1976] на основе теории размерности и общих физических представлений разработал метод расчета биомассы с максимальным поглощением физиологически активной радиации в течение вегетационного периода.

Развитием функциональных моделей можно считать разработки энергетических подходов к оценке продуктивности, опирающихся на энтропийные методы [Флоров, 1966, 1968а, б, 1975; Galoux, 1974; Roussel, 1974].

Нами была предпринята попытка использования метода Флорова (метода возникающей энтропии в листовой системе) для оценки к. п. д. брутто-фотосинтеза темнохвойных пород (кедра и пихты), входящего в модель расчета потенциальной продуктивности [Чебакова, 1982]. Значения к. п. д. брутто-фотосинтеза были дифференцированы в зависимости от продуктивности деревьев и условий их произрастания. Ошибка расчета потенциальной продуктивности по методу Флорова составляет в среднем около 20%.

К. п. д. нетто-фотосинтеза для аналогичных деревьев, полученный Е. А. Садовничей [1985], в 2,5 раза меньше, чем к.п.д. брутто-фотосинтеза, и различия между ними обусловлены затратами деревьев на дыхание. По данным Ю. Одума [1975], В. Лархера [1978], В. Уиттекера [1980] отношение к.п.д. брутто-фотосинтеза к к.п.д. нетто-фотосинтеза составляет 2,0—2,5 для лесов умеренной зоны, а для влажных дождевых лесов — 3,5—4,5. Во влажном и теплом

климате на дыхание древесных растений затрачивается в 1,5—2 раза больше энергии, чем в умеренном климате.

На основе изученных зависимостей продуктивности лесов и внешних факторов среды [Чебакова, 1981] проведено построение модели потенциальной продуктивности путем синтеза матриц прямых отображений продуктивности (максимальных запасов) на климатические показатели. В модель введены запасы спелых и перестойных насаждений (по данным пробных площадей), отражающие максимальные значения продуктивности для данных лесорастительных условий.

Для каждого десятого выдела (по материалам лесоустройства) описанным выше методом (разд. 3.5) на основе климатических показателей были составлены прогностические тесты, по которым и определен максимальный для данных лесорастительных условий запас древостоев.

Для темнохвойных лесов наиболее высок лесорастительный потенциал в черновом и горно-таежном поясах избыточно влажных и влажных районов, где потенциальная продуктивность кедровников может достигать 700—800 м<sup>3</sup>/га, а пихтарников — 400—500 м<sup>3</sup>/га. В силу разреженности и разновозрастности кедровых древостоев в черновом поясе максимум продуктивности не достигается, и разница между возможным и реальным запасами составляет 300—400 м<sup>3</sup>/га. Пихтарники черного пояса высокопродуктивны. Различия их фактических и потенциальных запасов невелики и составляют 50—100 м<sup>3</sup>/га. Очень близки к потенциальным запасы горно-таежных кедровников во влажных районах, достигающие 600 м<sup>3</sup>/га. Возможное увеличение их продуктивности составляет 100—200 м<sup>3</sup>/га. Климатические ресурсы, по-видимому, полностью реализуются в пихтовых и кедровых куртинах субальпийского и подгольцового поясов: потенциальная и фактическая продуктивность в них определяются одинаковыми значениями — 50—200 м<sup>3</sup>/га. Потенциал увеличения продуктивности лиственных и сосновых лесов в умеренно влажных районах составляет соответственно 200 и 250 м<sup>3</sup>/га.

Значительные различия между фактическими и потенциальными запасами древостоев возникают также из-за неучета в модели почвенных условий, которые могут вносить существенные изменения в прогноз продуктивности. Например, в однородных климатических условиях (в пределах одной климатической градации) разница возможных и реальных запасов может достигать 400 м<sup>3</sup>/га. Видимо, это происходит из-за того, что оценка потенциальной продуктивности дается нами для благоприятных почвенных условий, в то время как реальные неблагоприятные условия (каменистость, выходы скального грунта, заболоченность) могут значительно снизить ее.

На основе прогностических тестов был произведен опыт построения картосхем среднего масштаба (1 : 500 000) потенциальной продуктивности древостоев (на примере горных лесов Западного Саяна), где в качестве показателя продуктивности был использован бонитет.

Первым этапом выполнения этой процедуры явилось построение картосхем климатических показателей в указанном масштабе. На основе изученных закономерностей изменения климатических показате-

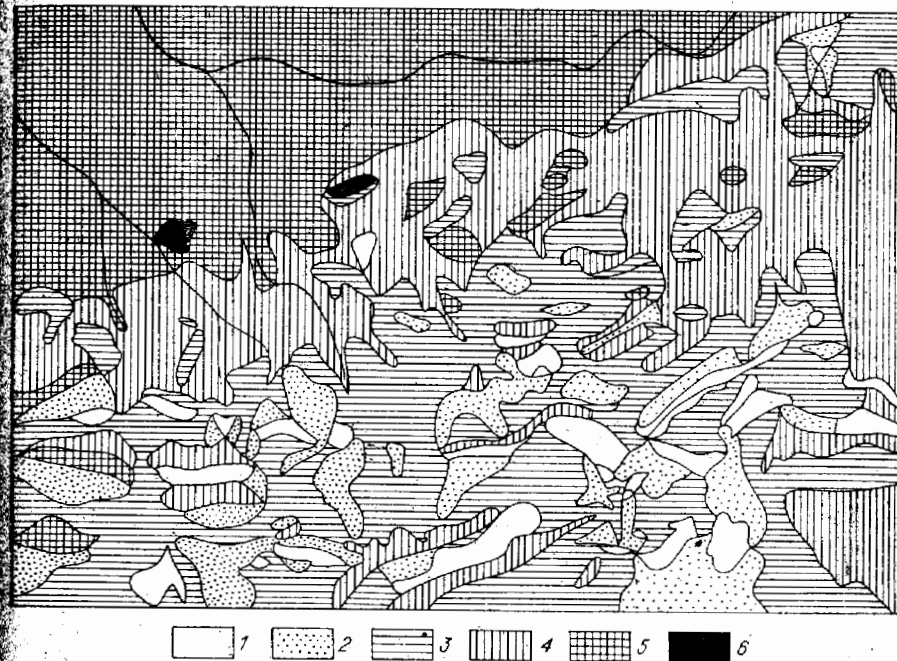


Рис. 37. Схема распределения радиационного баланса в пересеченном рельефе (фрагмент картосхемы).

1 — менее 20 ккал/(см<sup>2</sup>·год), 2 — 21—25, 3 — 26—30, 4 — 31—35, 5 — 36—40, 6 — более 40 ккал/(см<sup>2</sup>·год).

телей в зависимости от форм рельефа (абсолютной высоты, крутизны и экспозиции склонов, см. гл. 3) построены картосхемы следующих показателей: сумм температур выше 10°, годового количества осадков, годовой амплитуды температуры воздуха, годового радиационного баланса и индекса сухости. Карты сумм температур выше 10° и количества осадков имеются в Климатическом атласе СССР [1963] в более мелком масштабе (1 : 5 000 000), непригодном для построения прогнозных карт составов и потенциальной продуктивности горных лесов.

Опыт построения карт составляющих радиационного и теплового балансов в горах единичен. Мы использовали методику Н. Е. Романовой [1977] построения карт микроклиматических элементов на морфометрической основе. Для этого сначала были получены морфометрические карты, на которых выделяли склоны одинаковой экспозиции и крутизны, а также ровные поверхности (водоразделы, широкие долины и т. д.). Затем определяли однородные участки склонов, которым в зависимости от высотной отметки приписывали соответствующие значения радиационного баланса. В результате вся территория Западного Саяна была разбита на участки, соответствующие 6 градациям радиационного баланса (рис. 37). Совмещением

картосхем радиационного баланса и годового количества осадков были получены картосхемы индекса сухости.

Таким образом, для каждого из 700 участков, выделенных на морфометрической картосхеме и характеризующихся определенными климатическими показателями, был составлен прогностический тест. На основе теста определяли породный состав данного древостоя и его потенциальную продуктивность. Результаты построения картосхемы потенциальной продуктивности древостоев в уменьшенном масштабе приведены на рис. 38. Проведенный опыт показал принципиальную возможность составления подобных картосхем и в более крупном масштабе, например, масштаба таксационного выдела, что имеет большое практическое значение для совершенствования инвентаризации лесов и разработки лесохозяйственных мероприятий.

### 4.3. ПРИРОДОЗАЩИТНАЯ РОЛЬ ГОРНЫХ ЛЕСОВ

В современную трактовку продуктивности лесов входит и выполнение ими средообразующих функций: водоохраных, водорегулирующих, водосборных, противоэрозионных и ряда других.

Водоохранная функция лесов, понимаемая в узком смысле, чаще всего связывается лишь с приречными лесами. В горах она тесно смыкается с другими функциями, особенно с водорегулирующей. В таком широком смысле рассмотрение водоохранной функции представляет большой интерес. Она с полным правом может быть названа *водопродуктивной*, если понимать под этим термином трансформацию воды, ее регулирование, перевод во внутрпочвенный сток, охрану от загрязнения.

Воспроизводство чистой воды является важнейшей экологической функцией лесов. Основная часть продуцируемой на Земле пресной воды (до 85—90%) проходит через лесные экосистемы. Чистая вода становится на нашей планете все более ценным продуктом. Во многих районах Земли уже сказывается ее острая нехватка. В США и других странах запроектированы дорогостоящие заводы — опреснители с расчетом на миллионы тонн пресной воды в год. Изыскиваются возможности транспортировки айсбергов как источников пресной воды. В этой связи воспроизводство горными лесами воды как элемента экологической продуктивности (см. разд. 4.2.4) приобретает все более важное значение.

В системе гор Южной Сибири находится громадное естественное водохранилище — оз. Байкал с запасом чистой воды (23,6 тыс. км<sup>3</sup>), примерно равным годовому стоку всех рек планеты. Эта вода становится в полном смысле слова бесценным богатством. Если исходить из стоимости опреснения воды, всю массу вод Байкала можно было бы оценить в 2,4 триллиона долларов, что в 20—25 раз больше стоимости всего добытого золота мира. Этот пример позволяет лучше осознать, что защита Байкала от загрязнения стоит любых материальных затрат.

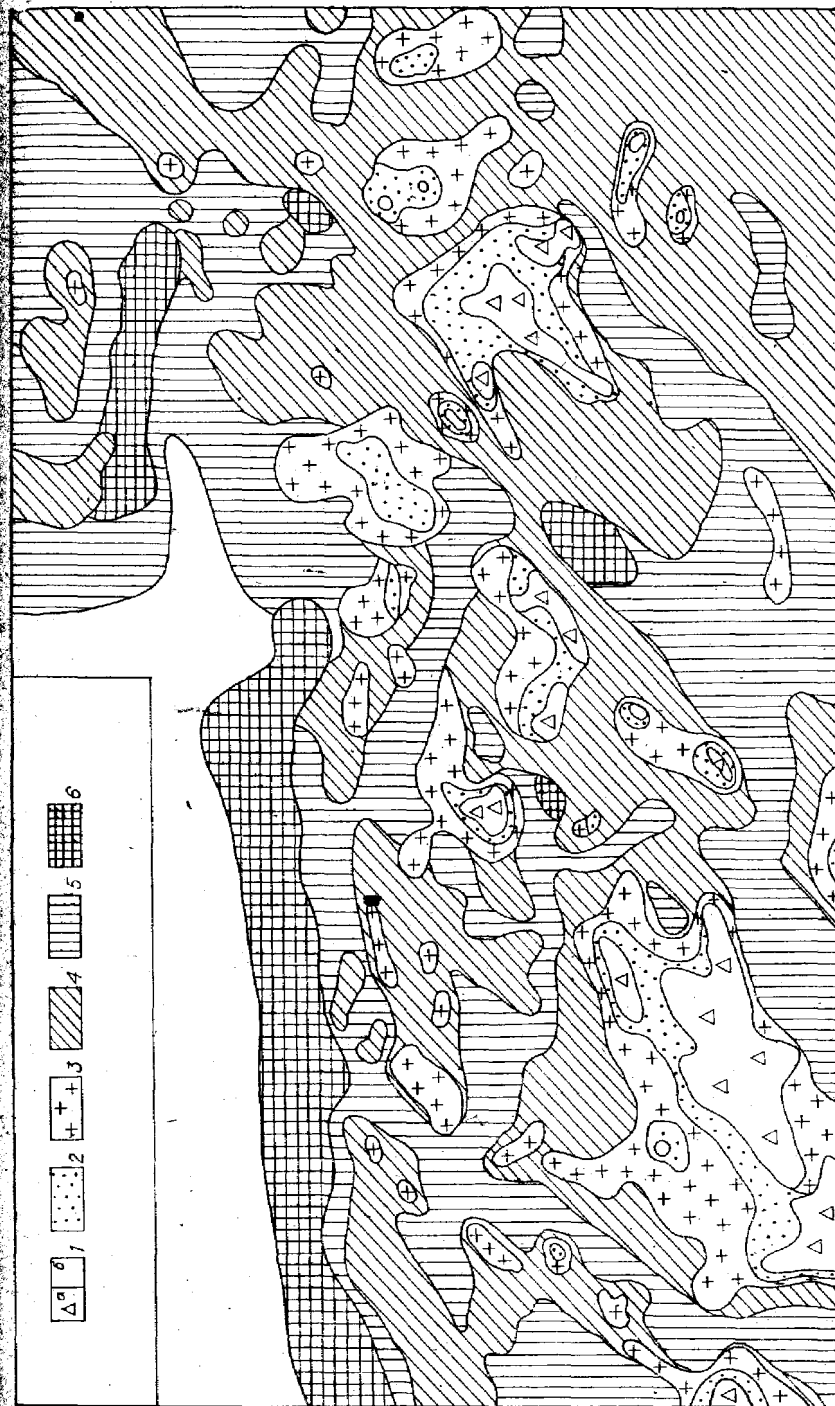


Рис. 38. Расчетная картосхема потенциальной продуктивности горных лесов в Западном Саяне. Ia — тундра, Ib лесостепь. Классы богатства: 2 — V, 3 — IV, 4 — III, 5 — II, 6 — I — Ia.

## Гидротермическая характеристика различных высотных поясов растительности по группам районов гор Южной Сибири

Как неоднократно отмечалось, горы Южной Сибири являются мощным барьером, задерживающим влагу. Если в предгорной лесостепи нормы осадков составляют 450—600 мм в год, то в среднегорной тайге избыточно влажных районов эта норма перекрывается в среднем в 2—3 раза, а во влажных — в 1,5—2 раза.

Еще более велика разница в размерах годового стока. В лесостепной зоне основная часть прихода воды (85—90%) затрачивается на суммарное испарение, а на сток остается лишь около 60—80 мм/год. В то же время в горах средний годовой сток на единицу площади составляет в избыточно влажных районах 750—850 мм/год, а во влажных — 450—500 мм/год. Даже в недостаточно влажных (подветренных) горных районах, где среднее суммарное увлажнение несколько ниже, чем в лесостепи (400—450 мм), средняя годовая норма стока (100—120 мм) за счет высотного ослабления испарения примерно в 1,5 раза выше. Общий сток по горам Южной Сибири составляет в среднем около 500 мм/год, что в 6—8 раз больше, чем в лесостепи, и в 10—15 раз больше, чем в степной зоне, являющейся базисной для ряда южных районов.

Очевидно, что при организации и ведении хозяйства в горных лесах необходимо учитывать их особую водохозяйственную роль — воспроизводство ценнейшего природного и хозяйственного ресурса — чистых пресных вод.

Данные о трансформации осадков и величине стока по группам районов и высотным поясам синтезированы в табл. 39. Расчет водно-балансовых показателей произведен по методикам, рассмотренным в разделе 2.1.

Высокие показатели воспроизводства воды в условиях сильно расчлененного рельефа и высокой потенциальной опасности эрозии определяют особые природозащитные (ландшафтостабилизирующие) функции горных лесов, наиболее проявляющиеся в регулировании запасов и качества воды. В высокогорных поясах с их коротким периодом положительных температур и преобладанием снегового питания рек особую важность приобретают снегосборные функции, которые можно рассматривать как частное проявление водорегулирования.

Особо следует выделять почвозащитные (противоэрозионные) функции, роль которых в горах многократно возрастает. Частным проявлением этих функций можно считать мерзлотно-защитную или мерзлотно-стабилизирующую. В горах Южной Сибири последняя функция и связанные с ней нежелательные явления (солифлюкция, поверхностный надмерзлотный сток и др.) не столь выражена, как во многих других горных системах Сибири, но важность ее несомненна. В числе почвозащитных можно отметить несколько менее общих, но также важных функций: селезащитных, противооползневых, берегозащитных, склонозащитных и др.

**Водорегулирующие функции.** Лесные природные комплексы в горах Южной Сибири дают в среднем около 80% общего стока (в избыточно влажных районах — до 90%, в недостаточно влажных — около 70%), гольцовые — 18—20% и лугово-степные — 1—2%. Водно-балансовые характеристики каждого ВПК различны.

Пояс	Абсолютная высота Н, м	Годовая сумма температур выше 10°С, град	Коэффициент увлажнения (по Мезенцеву)	Головые осадки, см	Годовые испарения (физические и транспирация), см	Годовой сток	
						слой, см	в % от общего в районе
1	2	3	4	5	6	7	8

## А. Группа избыточно влажных (таежно-черневых) районов

Сосново-березовый лесостепной	250—350	1900—1800	0,7—1,0	53—58	50	3—8	3
Сосново-осиновый подтаежный	300—400	1800—1650	1,0—1,2	58—70	52	6—18	5
Пихтово-кедровый черневой	350—900	1650—1050	1,2—2,1	70—130	52—55	18—75	35
Пихтово-кедровый таежный	800—1300	1150—650	2,1—3,0	130—150	55—43	75—107	27
Пихтово-кедровый субальпийский	1200—1600	650—250	3,0—4,2	150—160	43—35	107—125	20
Гундровый (гольцовый)	>1500	250—0	4,0—4,5	160—175	<35	125—140	10

## Б. Группа влажных (горно-таежных) районов

Сосново-лиственничный подтаежно-лесостепной	500—700	1600—1300	0,5—0,9	45—60	45—55	0—5	4
Сосново-лиственничный таежный	600—1000	1400—1100	0,9—1,2	60—75	55—50	5—25	10
Кедровый таежный	700—1500	1200—600	1,2—2,4	75—110	55—40	20—70	45
Кедровый подгольцово-таежный	1400—1800	600—250	1,8—3,5	110—130	40—35	70—95	18
Гундровый (гольцовый)	>1700	250—0	2,0—4,0	130—140	<35	102—115	23

## В. Группа умеренно влажных (таежно-лесостепных) районов

Степной	250—600	2000—1700	0,4—0,6	30—43	30—38	0—5	2
Сосново-лиственничный подтаежно-лесостепной	400—1000	1800—1200	0,6—0,9	43—55	42—45	1—10	5
Лиственнично-таежный	800—1500	1300—800	0,9—1,3	55—67	44—42	11—25	23
Кедровый таежный	1100—1600	1000—600	1,2—2,0	67—85	45—42	22—43	35



1	2	3	4	5	6	7	8
Кедровый под- гольцово-та- ежный	1600—2000	600—350	1,4—2,5	85—90	42—38	43—57	15
Тундровый	>1900	350—0	1,6—3,0	95—100	<38	47—62	20
<i>Г. Группа недостаточно влажных (таежно-степных) районов</i>							
Степной	700—1800	1950—1000	0,3—0,7	25—40	23—35	2—5	10
Лиственничный таежный и перистепной	1200—2000	1500—800	0,6—1,2	35—50	30—35	5—15	40
Кедровый и кедрово-ли- ственничный подгольцово- таежный	1800—2200	1000—500	1,1—1,5	50—60	35—32	15—28	30
Тундровый	>2100	500—0	1,4—1,6	около 60	<32	28—30	20

Примечание. 1. Слой годового стока по поясам (графа 7) определяли как разницу между годовой суммой осадков и годовым испарением. 2. Усредненную долю стока по поясам (графа 8) определяли в соответствии с площадями, занимаемыми этими поясами, и со слоем годового стока с единицы их площади. 3. Расчеты климатических параметров производили на региональных профилях с учетом конкретных границ поясов в Саянах и бассейне оз. Байкал. Высотные отметки границ поясов даны в обобщенном виде без учета северных окраин и Западного Алтая.

Как известно, водорегулирующая роль лесов резко возрастает с высотой местности. Высокогорные леса несут исключительно большие гидрологические нагрузки, проводя через себя за период в 2—3 месяца слой стока в 500—1000 мм, а в местах интенсивного снего-сбора (подгольцовые и субальпийские кедровые и кедрово-пихтовые редколесья) — до 2000 мм и более. В совокупности подгольцовые и гольцовые пояса дают в среднем около 40% стока (см. табл. 39), а во влажных районах — до 50%. Основная часть общего стока приходится на снеговые воды. Отсюда особое значение приобретают снегосборные функции высокогорных лесов. В избыточно влажных районах мощность снегового покрова достигает 2—3 м, а в местах перераспределения его ветрами — 3—5 м. В складках рельефа создаются очаги лавин, количество которых на каждый 1 км достигает 8—10 (Хамар-Дабан), а объем лавины — до 40—60 тыс. м<sup>3</sup> и более. Очень важен режим снеготаяния: основная водоподача из высокогорий приходится на наиболее сухой месяц — июнь.

В противовес верхним горным поясам степные, лесостепные и подтаежные пояса растительности, занимающие обычно около 20—30% площади (в бассейне Байкала около 40%, в недостаточно влажных районах — около 50%), основное количество осадков испаряют и дают лишь 3—10% общего стока [Поликарпов и др., 1978]. Роль этих поясов, являющихся в основном зоной транзита воды, в регулировании стока воды сравнительно невелика. На передний план здесь, в условиях повышенных антропогенных нагрузок, выходят почвозащитные функции.

Водорегулирующая и водовоспроизводящая роль светлохвойно-таежных ВПК значительна лишь в умеренно влажных районах, где эти ВПК контролируют 20—25% общего стока при сравнительно невысоких нормах осадков (550—670 мм/год).

Особого выделения заслуживают темнохвойные ВПК, включая подгольцовые и субальпийские. Как показывают данные табл. 39, количество трансформируемых осадков и величины стока на единицу площади здесь в среднем в 2—5 раз больше, чем в светлохвойных. Слой стока достигает здесь 1000—1100 мм. Вместе с гольцовым поясом темнохвойные (кедровые и кедрово-пихтовые) леса контролируют в среднем по горам Южной Сибири около 80% годового стока (в умеренно влажных районах — около 70%, во влажных — около 90% и в избыточно влажных — до 95%). Таким образом, горные ландшафты с темнохвойными лесами в Южной Сибири продуцируют, регулируют и фильтруют около 4/5 общего объема годового стока горных территорий, давая начало и основной приход воды всем главнейшим рекам Сибири — Оби, Енисею, Лене, Ангаре и другим.

Водорегулирующие функции в горах тесно смыкаются с почвозащитными: горные леса, обеспечивая перевод поверхностного стока вод во внутрипочвенный и замедляя водоотдачу, тем самым защищают горные почвы от разрушительной эрозии. Поэтому общую водоохранно-почвозащитную оценку отдельных внутрипоясных категорий лесных природных комплексов целесообразно дать в следующем подразделе.

**Почвозащитные (противоэрозионные) функции.** Для оценки почвозащитных функций лесных участков использованы прежде всего коэффициенты инфильтрации ( $K_{инф}$ ), характеризующие водопроницаемость почв и определяемые методом напорной инфильтрации. Вероятность возникновения поверхностного стока и связанных с ним явлений водной эрозии определялась методом искусственного дождевания микроплощадок. При этом в качестве основных параметров были приняты коэффициент поверхностного стока ( $K_{ст}$ ) — доля слоя поверхностного стока от слоя выпавшего дождя и показатели смыва твердых частиц на единицу площади. Всеми упомянутыми параметрами охарактеризовано более 600 участков в различных экологических условиях гор, при различном составе, возрасте и структуре древостоев\*. Результаты исследований частично отражены в публикациях [Кедровые леса Сибири, 1985; и др.].

Для оценки размеров естественной эрозии на крупных водосборах (в пределах ВПК) использованы данные по стоку наносов рек (модули стока в т/км<sup>2</sup>), определяемые через мутность воды в реке (в г сухого вещества на 1 м<sup>3</sup> воды). Принятые методы и расчетные формулы подробно изложены в книге А. В. Лебедева [1982]. Бассейновые эрозионные коэффициенты, вычисленные по данным о стоке наносов рек, и аналогичные коэффициенты для конкретных микро-

\* В исследованиях принимали участие Р. М. Бабинцева, В. Н. Горбачев, Ю. Н. Краснощеков, В. В. Куклин.

площадок, определенные по результатам дождевания, оказались сопоставимыми между собой.

По степени развития эрозии различные природные комплексы, как ненарушенные, так и нарушенные внешними воздействиями, различаются в очень широких пределах — в десятки и сотни раз. По высотным поясам в целом эти различия нивелируются, но продолжают оставаться значительными.

В лесостепных ВПК, несмотря на малые суммы осадков и жидкого стока, отмечаются высокие показатели стока наносов — 20—50 т/км<sup>2</sup>. С усилением антропогенных нагрузок (рубки, пожары, выпас скота и особенно распашка) эти показатели возрастают. Наибольших величин (до 70—80 т/км<sup>2</sup>) модули стока наносов достигают в остепненных распахиваемых водосборах. Мутность воды в реках здесь может достигать 1000—5000 г/м<sup>3</sup>, что характеризует большую эрозионную деятельность вод, в сравнении с облесенными и незатронутыми внешними воздействиями горно-таежными водосборами, где средняя мутность вод в реках не превышает 50 г/м<sup>3</sup>.

В светлохвойно-таежных ВПК сток наносов значительно ниже — 10—20 т/км<sup>2</sup>, что можно объяснить не только снижением антропогенных нагрузок, но и хорошим развитием мохового покрова. Спелые сосняки и лиственничники на склонах умеренной крутизны характеризуются здесь благополучными в эрозионном отношении показателями:  $K_{инф} = 30—50$  мм/мин,  $K_{ст} = 0,01—0,02$ . Однако при развитии мерзлоты даже в ненарушенных водосборах отмечается возрастание твердого стока до 30—40 т/км<sup>2</sup> за счет развития солифлюкционных процессов. Следовательно, леса мерзлотно-таежного (лиственничного) ВПК, не получившего в Южной Сибири широкого распространения, отличаются самыми низкими противоэрозионными функциями. При сведении лесов на мерзлых почвах отмечались коэффициенты стока и эрозионные коэффициенты, близкие к распахиваемым водосборам.

Горные темнохвойные леса, несмотря на высокие нормы осадков и стока, характеризуются наиболее высокими почвозащитными показателями. Из общей доли формирующегося в них стока на поверхностный склоновый сток приходится лишь 2—4%, в то время как на почвенно-грунтовой — около 30—35% и на глубокий подземный — 60—65%. Соответственно размеры водной эрозии (твердый сток) в ненарушенных горных темнохвойных лесах характеризуются низкими показателями — порядка 5—15 кг/га, а средняя мутность воды рек в границах темнохвойных ВПК изменяется в пределах 5—35 г/м<sup>3</sup> [Лебедев, 1982].

Модуль стока наносов в кедровых и кедрово-пихтовых таежных ВПК невысок (в среднем 5—10 т/м<sup>2</sup>) и достигает 15 т/м<sup>2</sup> лишь в водосборах, нарушенных пожарами и рубками. В ненарушенных насаждениях  $K_{инф}$  очень высок, составляя в среднем около 150 мм/мин, коэффициент жидкого поверхностного стока не превышает 0,005, а твердый сток не отмечался.

О высоких почвозащитных функциях темнохвойных лесов свидетельствуют и большие значения коэффициента их водно-эрозион-

ной защитности, представляющего собой соотношение твердого стока с минерализованной сплошной вырубке и с ненарушенного леса. Выражаясь в поясе низкогорной лесостепи величинами порядка 5—40 и в поясе светлохвойно-таежных лесов — 50—100, этот коэффициент достигает в среднегорных кедровниках 200—400 [Лебедев, 1982].

В подгольцово-таежных ВПК и тундрово-гольцовом поясе сток максимальный, но из-за провальной инфильтрации идет в основном подземным путем. Широкое распространение здесь получают «подвешенные почвы» (слой органики на каменисто-глыбистом и скальном основании), которые после пожаров или рубок могут почти полностью смываться. Эти почвы, как и леса в целом, требуют особо бережного отношения. Аналогичное замечание можно высказать и в отношении всех лесных участков на грубоскелетных почвах (бадановая и другие группы типов леса). При уничтожении живого напочвенного покрова здесь происходит быстрый перевод осадков во внутрипочвенный сток, который, выклиниваясь ниже по склону, способствует быстрому подъему паводковых вод.

Необходимо вкратце осветить основные особенности противоэрозионных функций внутрипоясных подразделений — геоморфологических комплексов. В лесах всех ВПК и формаций четко проследивается связь почвозащитных свойств с крутизной склонов: с ее увеличением вероятность возникновения эрозии возрастает. В насаждениях на склонах средней крутизны (15—25°) размер жидкого поверхностного стока больше в среднем в 1,5—2 раза, а на крутых (25—40°) — в 5—9 раз, чем на пологих (до 15°). Эта закономерность, как было отмечено выше, нарушается лишь при возрастании скелетности почв.

На южных склонах показатели потенциальной и фактической эрозии, как правило, в 1,5—3 раза больше, чем на северных. При этом на северных склонах и в микробассейнах северной ориентации весенний сток растягивается на вдвое-втрое больший период, пик его задерживается примерно на месяц и приходится на июнь. В избыточно влажных темнохвойно-таежных ВПК отмеченная зависимость водоохранно-защитных свойств от экспозиции склона не столь четкая, что можно объяснить высокими нормами их увлажнения и общим ослаблением роли экспозиции в этой климатической фации.

Отметим также роль формы склона в его противоэрозионных функциях: на вогнутых склонах показатели эрозии в 1,5—2 раза больше, а на выпуклых — в 1,5—2 раза меньше, чем на прямых.

Наряду с отмеченными экологическими условиями водоохранно-защитные функции горных лесов в значительной мере определяются их фитоценотическими (структурными) особенностями. Так, например, небольшая примесь лиственных пород облегчает перевод поверхностного стока во внутрипочвенный, о чем свидетельствует увеличение коэффициента инфильтрации в 1,5—2 раза. В насаждениях одинакового возраста с уменьшением сомкнутости полога жидкий поверхностный сток увеличивается. В пределах одной породы наибольшую почвозащитную роль выполняют приспевающие древостой с высокой сомкнутостью полога.

Наибольшую роль в фильтрации осадков и снижении показателей твердого стока играют *живой напочвенный покров и лесная подстилка*. При ливневых осадках они снижают показатели плоскостной эрозии в светлохвойно-таежных лесах более чем в 10 раз, а в темнохвойно-таежных — более чем в 100 раз [Средообразующая роль..., 1979]. В моховых типах леса, преобладающих по площади, основная стокопереводящая роль принадлежит моховой подушке, которая благодаря своей высокой влагоемкости практически весь поверхностный сток переводит во внутрипочвенный. Исключение, как отмечалось, составляют насаждения на сезонно-мерзлотных почвах, обладающих очень низкими инфильтрационными способностями.

В пределах горных лесов в целом более высокими защитными свойствами обладают насаждения, сложные по строению, смешанные по составу, разновозрастные, с преобладанием средневозрастного и приспевающего поколений, с хорошо развитым подлеском, моховым и травяным покровом, мощной подстилкой.

**Пути совершенствования природопользования в горах.** Горные почвы, лишенные растительности, в большинстве своем отличаются слабой эрозийной устойчивостью. При резком нарушении растительного покрова рубками, пожарами, выпасами скота эрозийные процессы принимают опасные размеры. В отдельных районах бассейна Байкала, Хакасии, Алтая отношение летнего стока к зимнему возросло почти вдвое. В подтаежно-лесостепных ВПК отмечено оступление лесных площадей, произошло обмеление рек и ручьев, некоторые из которых исчезли. Соответственно возросли показатели стока наносов и мутности вод, существенно изменился химический состав стоковых вод. К 1970 г. до принятия экстренных мер по защите Байкала вынос твердых веществ в Байкал р. Селенгой возрос втрое и достигал 2,5—3 млн. т в год.

Концентрированное сведение лесов приводит к разрегулированию стока, большим весенним и ливневым пикам стока с вырубок и гарей. Если в облесенных микробассейнах соотношение величин максимального и минимального стока составляет обычно 4 : 1 или 3 : 1, то с уничтожением леса оно возрастает в 10—15 и более раз. Высокая концентрация рубок в крупных бассейнах, особенно при высоких нормах осадков, чревата наводнениями, селями, обвалами, оползнями. Примером может служить крупное наводнение августа 1985 г. в бассейне р. Ои в Западном Саяне. Напротив, в сухой период (обычно июнь) бассейны с вырубленным лесом дают сток в 4—5 раз меньше, чем облесенные.

По результатам дождевания в бассейне оз. Байкал размер эрозии на свежих сплошных вырубках составлял при крутизне склонов до 10° — 2—5 т/га, 15—20° — 10—12 и круче 20° — 15—20 т/га в год. Максимальный размер очаговой эрозии достигал 50—80 т/га в год. На трелевочных волоках вследствие сильного уплотнения почвы происходит резкое уменьшение (нередко в десятки раз) водопроницаемости почв, рост (до 50—100 раз) эрозийных коэффициентов и в результате — массовый смыв и линейный размыв почвы. За весь период от рубки леса до закрепления почв на вырубках восстанавли-

вающейся растительностью (7—10 лет) суммарный смыв почвы по ряду горных районов (Кавказ, Карпаты, Урал, Забайкалье) достигает громадных величин — 300—500 т/га. Все это говорит о больших и необратимых потерях потенциала продуктивности и о неотложной необходимости совершенствования природопользования в горах.

Очевидно, что недостаточно регулируемая рубка леса в горах Южной Сибири заметно ухудшает гидрологический режим рек, на которых построены и строятся крупнейшие ГЭС страны. Еще более велика значимость этих лесов для перспективного развития народного хозяйства Сибири. Концентрированная рубка лесов в режиме лесов III группы может поставить под угрозу сельскохозяйственное производство Сибири, основные сельскохозяйственные площади которого сконцентрированы на юге, у подножия гор и в межгорных котловинах, т. е. находятся под контролем и защитой горных лесов.

К горным лесам особого водоохранного назначения принадлежат в первую очередь все подгольцовые и субальпийские леса, контролируемые от 30 до 50% стока воды. Особая защитная роль всех высокогорных лесов подчеркивается также слабой устойчивостью почв (маломощность, мерзлота), сильным расчленением рельефа (преобладают склоны круче 20°), неблагоприятной в водоохранно-защитном отношении структурой лесов (низкие полноты и продуктивности), малой лесистостью (часто ниже критической нормы, составляющей в горах 40—50%), обширными массивами гольцов над лесом, накапливающими огромные запасы снега. Средообразующие функции высокогорных лесов получают несомненный приоритет перед лесоресурсными (лесосырьевыми). А всего в особо защитном режиме природопользования в горах должно содержаться обычно от 40 до 50% всех насаждений (см. гл. 5).

Важный хозяйственный вывод, следующий из природозащитной оценки горных лесов, — недопустимость в них режима лесопользования, соответствующего III группе лесов. В пределах гор Южной Сибири режим III группы лесов устранен пока лишь в бассейне оз. Байкал. В том же байкальском бассейне уже решается задача, по своей масштабности не имеющая пока аналогов в отечественной и зарубежной практике: организация хозяйства на принципиально новой основе — водоохранно-защитной. Решение этой задачи предусматривает сохранение лесными природными комплексами их природозащитных функций и обеспечение воспроизводства высококачественной пресной воды.

С очевидностью следует, что природной (экологической) основой для организации хозяйства в горных лесах должен служить высотно-поисный комплекс растительности (ВПК). Доля каждого ВПК должны рекомендоваться свой режим природопользования и своя система лесохозяйственных мероприятий. В пределах ВПК дифференциация хозяйственных мер производится по геоморфологическим комплексам (склоновые, долинные, водораздельные), экологическим группам типов леса и типам леса.

В заключение подчеркнем, что горные леса Южной Сибири должны рассматриваться как леса особого назначения, выполняющие

природозащитные функции биосферного масштаба. Особая их природоохранная роль оправдывает дополнительные затраты, связанные с ограничением промышленного лесопользования, выборочным хозяйством, обязательностью лесовосстановления и другими мерами по оптимизации природопользования (см. гл. 5).

## ГЛАВА 5

### ВЫСОТНО-ПОЯСНЫЕ СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ЛЕСОВ

#### 5.1. ПУТИ ОРГАНИЗАЦИИ И ВЕДЕНИЯ МНОГОЦЕЛЕВОГО ХОЗЯЙСТВА

**Пути интенсификации хозяйства.** Современное состояние лесного хозяйства в регионе можно оценить как крайне экстенсивное. Как и на равнине, основное назначение горных лесов — эксплуатационное и около 80% всех лесов отнесено к III группе. Не соблюдается принцип безысходительного лесопользования. Действует не реальная расчетная лесосека, без учета особо защитных лесов, технической и экономической доступности лесов. В то же время слабо вовлекаются в эксплуатацию преобладающая древесная порода лиственница и лиственные породы. В процессе заготовки и переработки теряется до 60—70% древесины.

В регионе организовано около 90 лесхозов со средней площадью около 800 тыс. га. Затраты на лесное хозяйство составляют в среднем около 20 коп./га. Деятельность лесхозов сводится преимущественно к охране и защите леса и контролю за его рубкой.

Нормативы преобладающего в горах III разряда лесостроительства (средние размеры выдела 20—30 га) не позволяют достоверно отразить пестроту и различия местообитаний.

Основные принципы перспективной организации и ведения хозяйства в лесах должны предусматривать:

- постоянное и неистощительное лесопользование;
- безотходные заготовки древесины;
- многоцелевое (комплексное) использование лесов.

**Принцип постоянства пользования лесом** очевиден: темпы воспроизводства лесных ресурсов не должны отставать от темпов их использования. Нужна гарантия простого воспроизводства древесины и других ресурсов. Реализация этого принципа тесно связана с проблемой организации постоянно действующих лесных предприятий, приведения размеров лесопользования к реальным нормативам.

Следует сказать и о необходимости включения в лесное хозяйство элементов расширенного воспроизводства лесных ресурсов. Этот

путь связан с необходимостью значительной интенсификации лесного хозяйства: разукрупнения лесхозов и лесничеств (в 3—5 раз), повышения размера операционных расходов и капитальных затрат примерно в 10 раз — до уровня порядка 2—3 руб./га. Интенсификация должна начинаться с организации лесосеменного дела и включать обоснованную замену древесных пород, целевой уход за лесом, мелiorативные и другие меры (см. разд. 5.3, 5.5).

**Безотходные лесозаготовки** — главный путь совершенствования лесопользования. Нерациональное использование древесных ресурсов связано прежде всего с экономически несовершенной структурой лесопромышленного производства: его односторонней направленностью на заготовку древесины при крайне низком уровне ее глубокой переработки.

Образовавшийся на лесопромышленном конвейере затор сдерживает и развитие лесного хозяйства: эффект от воспроизводства лесных ресурсов перекрывается потерями при их использовании. В отходы лесопромышленного производства идет древесное сырье более ценное, чем, например, продукция рубок ухода. Нужны коренная перестройка структуры производства и резко опережающие темпы роста объема глубокой переработки древесины.

**Многоцелевое использование горных лесов**, включающее их экологические функции, является ведущей темой всего нашего изложения. Здесь можно лишь оттенить первоочередную перспективность многоцелевого использования кедровых лесов. Высокая концентрация многообразных ресурсов в горных кедровниках, а также отмечавшаяся ранее (разд. 4.3) особая экологическая роль этих лесов позволяют считать вполне достижимой задачу их многоцелевого использования на базе организации комплексных предприятий постоянного действия. К настоящему времени эта задача уже получает свое принципиальное решение [Кедровые леса Сибири, 1985]. Однако реальным такое хозяйство станет лишь при значительной интенсификации лесной отрасли.

Подчеркнем, что рассмотренные пути интенсификации хозяйства должны реализовываться не изолированно, а только в их полной совокупности.

**Общая схема организации лесного хозяйства.** Перспективная схема организации хозяйства в горных лесах должна предусматривать следующие последовательные подразделения: 1) лесное предприятие; 2) высотный пояс (ВПК); 3) микробассейн (от 1—2 до 5 тыс. га); 4) категория или группа лесов по степени природозащитного значения; 5) целевая древесная формация (или группа их); 6) эколого-хозяйственная группа (геоморфологический комплекс) типов леса (ГК).

Лесное предприятие (лесхоз, лесничество и т. п.) как объект организации хозяйства берется в границах одного горного района. А ВПК в этих границах принимается в качестве рамок, ограничивающих действие одной (зонально-типологической) системы лесного хозяйства (см. разд. 5.2). Для каждого ВПК ведется свой расчет лесопользования и лесовосстановления.

Микробассейн в хозяйственном аспекте является промежуточным звеном между ВПК и ГК и служит для регулирования и контроля лесопользования (допустимых нагрузок на горные леса). Снижение лесистости микробассейна более чем до 50% недопустимо, поэтому введение такой единицы (элементарный водосбор) будет способствовать равномерному распределению (деконцентрации) рубок в пределах ВПК и планированию первоочередных лесовосстановительных мероприятий. В соответствующих случаях критические нормы лесистости составляют 70 и даже 90% от лесной площади.

Недопустимость в горах режима лесов III группы определяет ведение хозяйства в рамках трех падающих режимов природопользования: строго защитного (условно — особо защитная хозчасть), защитного (условно — режим лесов I группы) и эксплуатационно-защитного (условно — режим лесов II группы). С высокой концентрацией особо защитных участков в высокогорной зоне связана целесообразность их территориального обособления в хозчасть горно-водоохранно-защитных лесов с исключением в ней рубок главного пользования и организацией строго защитной системы лесного хозяйства (к ней отойдут территории подгольцового и субальпийского поясов и лесов прилегающих крутосклонов, узких гребней, верховий всех водотоков, каменистых и скальных участков). При островном размещении такие участки могут объединяться в особо защитную хозсекцию (хозяйство).

Нижней организационно-хозяйственной единицей является эколого-хозяйственная группа типов леса (тип ГК), выделяемая в пределах формаций с учетом форм рельефа. Обычно в пределах ВПК и одной формации реализуется не более 5—8 таких единиц. Степень их объединения и укрупнения зависит от целей и интенсивности хозяйства. В условиях интенсивного хозяйства эти лесотипологические категории могут выделяться в качестве хозсекций.

Такая схема организации хозяйства требует серьезной перестройки системы инвентаризации лесов (лесоустройства) и разработки соответствующих нормативов.

**Природозащитные аспекты лесопользования.** Проблема окружающей среды в последние десятилетия приобрела выраженный социальный характер — переросла в проблему жизнедеятельности биосферы в целом. Еще Б. П. Колесников [1969] в качестве основных народнохозяйственных функций лесов, помимо сырьевых, выделял *средообразующие* (климатоулучшающие, водоохранные, стокорегулирующие, почвозащитные и другие), а также *социальные*, или функции «фильтра», обеспечивающие очистку вод, почвы и особенно воздуха. При этом совокупные средоохранительные функции горных лесов оцениваются много выше ценности древесины.

Как отмечалось в разд. 4.3, важнейшая задача рационального природопользования в горах — найти оптимальное сочетание всестороннего использования лесных ресурсов с сохранением природными комплексами их высоких средообразующих и социальных функций. Само понятие «лесопользование» в последние годы получает широкое толкование как пользование всеми видами лесных ресурсов и благо-

ми «невесомых полезностей» лесов. Соответственно определен переход от хозяйства на получение древесины к хозяйству многоцелевому. А лесопользование в горах должно особо предусматривать действенные меры по восстановлению лесных ресурсов и по сохранению лесными природными комплексами их экологических (ландшафто-стабилизирующих) функций.

## 5.2. ВЫСОТНО-ПОЯСНЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Горное лесоводство, вслед за Б. П. Колесниковым [1969], рассматривается нами как многоцелевой комплекс лесохозяйственных систем, направленных прежде всего на стабилизацию естественных процессов, сохранение природных систем и организацию природозащитного лесопользования. Ведущим принципом такого природопользования является принцип географической зональности.

Горный район обычно включает несколько зональных подразделений — ВПК, не вмещающихся в рамки одной, пусть даже и региональной, системы лесного хозяйства. Необходима внутрирайонная дифференциация систем хозяйства по основным классам ВПК. На основе изложенного ранее (гл. 1, 4 и др.) все природное многообразие горных лесов с определенной генерализацией можно свести к девяти основным классам ВПК. Это: 1) горно-степной с локальными лесами (засушливый, с долей суммарного испарения около 90% от годовой суммы осадков); 2) подтаежно-лесостепной (светлохвойный, низкогорный, недостаточно увлажненный, с долей суммарного испарения около 80%); 3) горно-черновой (кедрово-пихтовый, низко- и среднегорный, с благоприятным соотношением тепла и влаги); 4) горно-таежный светлохвойный (среднегорный, достаточно увлажненный, со средним годовым стоком в 100—300 мм); 5) горно-таежный кедровый (среднегорный, избыточно увлажненный, со стоком 300—700 мм); 6) горно-таежный кедрово-пихтовый (среднегорный, резко избыточно увлажненный, со стоком 600—1000 мм); 7) мерзлотно-таежный (лиственничный, с резко континентальным климатом, малой долей зимних осадков и мерзлотными почвами); 8) подгольцово-таежный (лиственничный и кедровый высокогорный, избыточно увлажненный, с преобладанием весеннего стока); 9) субальпийский (кедрово-пихтовый, высокогорный, резко избыточно влажный, дающий 600—1200 мм стока).

Этим классам ВПК соответствуют высотные поясные целевые системы лесного хозяйства: 1) горно-степная агролесомелиоративная строго защитная; 2) горно-лесостепная поле-почвозащитная; 3) горно-черновая плантационная (эксплуатационно-защитная); 4) горно-таежная эксплуатационно-защитная (с вариантами для светлохвойно-таежного, кедрово-таежного и кедрово-пихтово-таежного ВПК); 5) горно-мерзлотная почвозащитная и эксплуатационно-защитная; 6) подгольцовая (высокогорная) снегосборно-водорегулирующая строго защитная (объединяет подгольцово-таежный и субальпийский ВПК).

Из перечисленных поясных систем хозяйства заслуживают выделения три, получающие в Южной Сибири наибольшую применимость: горно-лесостепная, горно-черневая и горно-таежная. Горно-степная система связана преимущественно с предгорными и межгорными котловинами, с условиями относительно спокойного рельефа и хозяйственными приемами, близкими к равнинному степному лесоводству. Подгольцовая система в условиях экстенсивного хозяйства найдет лишь ограниченное (локальное) применение в наиболее доступных высокогорьях. Чаще она может осуществляться в рамках высокогорной особо защитной хозчасти. Мерзлотно-таежное лесоводство в Южной Сибири не получит самостоятельного значения из-за локального распространения мерзлоты. Возможно обособление мерзлотно-участков в качестве отдельной особо защитной хозсекции в рамках горно-таежной системы лесного хозяйства.

*Горно-лесостепная поле-почвозащитная система.* В лесостепном поясе широкое развитие получила водная эрозия на пашнях (эродировано до 30% пашен), чему способствуют вырубка лесов, ливневые дожди июля — августа, значительная крутизна склонов, распашка и посевы вдоль склона. В результате сельскохозяйственные территории, занимающие в горах менее 5% площади, дают основную часть твердого стока — порядка 50—60 т с 1 км<sup>2</sup> освоенного водосбора в год.

Отметим также, что большая часть котловин и долин, обрамленных горными хребтами, представляет собой естественные аэродинамические трубы, стимулирующие ветровую эрозию. Этому содействуют засушливый климат, сильные весенние и осенние ветры, неправильная обработка почвы, интенсивная пастьба скота, уничтожение защитной растительности. В итоге здесь превращено в подвижные до 20% песков (в Бурятии — около 100 тыс. га), требующих искусственного закрепления лесом.

В целом необходимо сочетание системы защитных лесов с полосной системой земледелия, исключением из сельхозпользования и залесением ряда площадей, противоэрозионной агротехникой и противоэрозионными гидротехническими сооружениями.

*Горно-черневая плантационная система.* Эта система направлена на использование высокого сырьевого потенциала черневого пояса. Неудовлетворительное в целом естественное лесовозобновление предопределяет необходимость искусственного восстановления лесов преимущественно культурами плантационного типа (кедровые орехосные, лиственные и смешанные древесноресурсные). Ввиду преобладания разновозрастных лесов перспективна выборочная система лесопользования. Необходимы химход за культурами и молодняками и формирование целевых лесов рубками ухода. Должны интенсифицироваться противопожарные, лесозащитные и лесомелиоративные мероприятия (удобрение плантаций, осушение потенциально высокопродуктивных низинных заболоченных лесов).

*Горно-таежная система.* Устойчивые позиции леса в таежных ВПК способствуют широкому использованию их древесных ресурсов при ориентировке на преимущественное естественное лесовосстанов-

ление. Эксплуатация лесов должна сочетаться с широким комплексом природоохранительных мер (см. разд. 5.4). Различия в режиме увлажнения (охвачено 3 разных ВПК), лесобразующих породах и лесотипологических особенностях отдельных ВПК определяют соответствующую дифференциацию хозяйственных мероприятий. Для горно-таежного кедрового ВПК, как отмечалось выше, перспективна организация специализированных предприятий по комплексному использованию лесных ресурсов.

Если каждому ВПК соответствует своя система лесного хозяйства, то внутривидовым лесотипологическим категориям (оптимально — эколого-хозяйственным группам типов леса) должен соответствовать целевой комплекс хозяйственных мероприятий: рациональное лесопользование, лесовосстановление, регулирование лесообразовательного процесса, противоэрозионные, противопожарные, лесозащитные, селекционные и мелиоративные меры. Для разных целевых мер возможна разная степень их дифференциации по внутривидовым природным категориям лесов. Общая направленность таких мероприятий — повышение комплексной продуктивности лесов.

Перевод лесоводства на высотно-поясные системы организации и ведения хозяйства, использования и воспроизводства лесных ресурсов и укрепления защитных функций природных систем является эффективным путем оптимизации природопользования в горах.

При реализации высотно-поясных систем хозяйства очень полезно использование карт лесных природных комплексов разного ранга — от ВПК до их мелких структурных подразделений ранга лесотаксационного выдела. Заметим, что для горных территорий путь картирования ВПК значительно эффективнее, чем самое детальное районирование. Это подтверждается, в частности, опытом комплексных исследований лесов бассейна оз. Байкал [Шоликаров и др., 1978]. Эффективность использования картографических методов возрастает в связи с перспективностью дистанционных методов исследований (получение радиационных, теплосбалансовых, водоохранных-защитных и других экологических характеристик природных комплексов).

### 5.3. ПРИНЦИПЫ И ПРИЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ЛЕСОВ

**Принципы моделирования целевых лесов.** Проблемы рационального природопользования связаны с решением задач оптимизации состава, структуры и качества лесов. Перспективным направлением в этом плане является построение моделей эталонных лесов, наилучшим образом отвечающих целям хозяйства [Лосицкий, Чуенков, 1973]. Такие модели должны исходить из многофункциональности лесов как природно-экономических систем, несущих наряду с сырьевыми ряд защитных, социальных и даже биосферных функций [Колесников, 1969; Шейнгауз, 1984; и др.].

Методической основой моделирования целевых лесов является эколого-географический (зонально-типологический) принцип последовательного расчленения лесного покрова на территориальные системы сходного природного потенциала с одновременным сопряженным анализом экологических факторов, определяющих формирование лесных систем разного ранга.

В разд. 5.2 были определены общие целевые направления лесного хозяйства по основным классам ВПК — категориям, близким к зональным. В пределах каждого класса ВПК по целевым категориям второго порядка производится выбор целевых древесных пород (целевых формаций) и целевых структур насаждений. Основанием для этого должны служить установленные ранее (см. гл. 3, табл. 35) параметры экологических ареалов и экологических оптимумов основных лесообразователей, а также уровни фактического продуцирования биомассы в разных экологических нишах и прогнозные оценки потенциальной продуктивности древесных пород для разных условий.

Для моделирования целевых лесов в горах необходима комплексная оценка (как расчетная, так и натурная) их защитных (средообразующих) функций. Эта оценка должна учитывать поясные нормы увлажнения, суммарное испарение, положение в рельефе, форму рельефа и крутизну склона, развитость, устойчивость и водопроницаемость почв и подстилок, структурные и другие особенности насаждений.

При определении целевых структур лесов в горах важное значение имеет размещение насаждений разного состава, структуры и возраста в пространстве. В высокогорных поясах, например, где наиболее велика доля весеннего стока, эффективнее «работают» пестрые по возрасту и сомкнутости леса, позволяющие растянуть период снеготаяния и этим снизить пики стока [Попов, 1980]. В горно-лесостепных поясах важнейшим экологическим показателем является суммарное испарение, при высоких показателях которого в засушливые годы прекращается обеспечение водой прилегающей территории сельхозосвоения.

Для большей части категорий защитных горных лесов Сибири оптимальными по структуре являются разновозрастные хвойные насаждения с примесью лиственных пород и ступенчатым пологом. Однако в ряде категорий лесов сырьевого назначения целесообразнее иметь разновозрастные чистые насаждения с наибольшим выходом целевой продукции к возрасту спелости.

При разработке моделей целевых лесов для каждого ранга горных лесных экосистем должны устанавливаться параметры целевого состава и структуры насаждений, максимально сочетающие высокую сырьевую продуктивность с устойчивостью к неблагоприятным воздействиям и высокими средозащитными и социальными функциями. Этим зонально-типологическим программам формирования эталонных лесов и должны соответствовать высотно-поясные системы и целевые комплексы хозяйственных мероприятий.

Приемы направленного формирования целевых лесов. Как отмечалось в разд. 4.2.4, фактические запасы древостоев обычно в 51,—

2 раза ниже потенциальных. Следовательно, хозяйство имеет значительные возможности реализации потенциала продуктивности.

Рубки ухода, которыми в первую очередь регулируются состав, структура и продуктивность древостоев, в горах Южной Сибири не получили пока широкого применения. Наблюдается смена хвойных на низкокачественные осипники, березняки, ольховники в среднем на 25—30%, а в черном поясе — на 70—80% вырубок. Смена кедров после рубок, пожаров и инвазий насекомых произошла здесь на площади более 2 млн. га. Подчеркнем, что смена идет преимущественно на наиболее продуктивных почвах (участки I—III кл. бонитета) и в климатически наиболее благоприятных условиях низкогорий.

Для отработки приемов целевого ухода нами с 1960 г. заложены опытные участки по уходу за кедром и другими хвойными породами на общей площади около 300 га в пределах абсолютных высот от 400 до 1300 м, в насаждениях разного состава, возраста и типов леса от Ia до IV класса бонитета. В лесоэкономических условиях гор Южной Сибири хорошо зарекомендовал себя при *хозяйстве на древесину* уход высокой интенсивности (от 35 до 70—80% запаса) с редкой повторяемостью (через 10—20 лет и более). При этом основной объем рубок ухода (до 70% по площади) должен приходиться на молодняки (15—40 лет). Все это позволяет без существенного снижения эффективности в 2—5 раз сократить затраты труда и средств на полный цикл ухода. В результате древостои, охваченные уходом, продуцируют хозяйственно ценной древесины в 1,5—2 раза больше, чем естественно формирующиеся.

Еще большее увеличение продуктивности можно получить при ведении *хозяйства на кедровый орех*. В пределах экологического ареала кедров в горах более 60% лиственных насаждений обеспечено достаточным количеством молодого жизнеспособного подростка кедров. Освобождение кедров из-под полога осины и березы позволяет за 15—25 лет превратить такие малоценные насаждения («потенциальные кедровники») в кедровые лесосады с оптимальным (редким) размещением деревьев по площади и рентабельным орехосбором [Кедровые леса Сибири, 1985]. Плантационному лесоводству в условиях низкогорного черного пояса способствуют развитая дорожная сеть, образовавшаяся при лесоэксплуатации, и преобладание пологих склонов. Как отмечалось в разд. 3.4, потенциальными кедровниками являются насаждения с участием кедров в составе 10—20% по числу деревьев (500—800 экз./га молодняка и крупного подростка) и менее 10% по массе.

Как показали результаты опытных уходов, период адаптации кедров к резким изменениям среды не превышает 3 лет. Через 6—8 лет осветленные молодые деревья по биомассе превосходят контрольные в 2—3 раза, а по урожаю ореха — в 10—20 раз. Через 15—20 лет урожайность сформированных 50—60-летних плантаций достигала в горно-таежных поясах 50—80 кг/га, а в черном поясе — 150—170 кг/га (рис. 39). Это в 20—30 раз больше, чем на контроле, и не менее величины среднего урожая спелых (160—240 лет) естественных кедровников. К 100 годам, по расчетным данным, урожай



Рис. 39. Кедросад, сформированный в горно-черневом поясе из производного 40-летнего древостоя состава 50с3Б2П + К с помощью интенсивных реконструктивных рубок ухода. Коренной тип леса — кедровник широколиственно-папоротниковый II класса бонитета, абс. высота 400 м (Ермаковский лесхоз в Западном Саяне).

ореха на плантациях повысится в 3—5 раз, а в черневом поясе может достигать 400—500 кг/га.

Помимо решения целевых задач повышения сырьевой продуктивности лесов опытные рубки позволили обосновать принципы укрепления их защитных функций. Уход в защитных насаждениях ведется во всех частях полога с преимущественным удалением ветровальных и недолговечных пород, перестойных деревьев. Формируется ступенчатый полог с ярусом развитого подлеска и плотными опушками. Приемы ухода видоизменяются по высотным поясам и категориям защитного значения лесов (водоохранные, водорегулирующие, почвозащитные, снегосборные и др.).

Громадные площади молодняков, нуждающихся в уходе, острый дефицит трудовых ресурсов, трудности механизации рубок ухода, слабое развитие дорожной сети в горах и незначительный сбыт продукции ухода определяют перспективность на ближайшие 20—25 лет такой доступной и эффективной меры формирования целевых лесов, как химические способы борьбы с сорной древесной растительностью. Даже наиболее трудоемкий из этих способов — базальный — требует в расчете на 20-летний период затрат труда и средств в 4—5 раз меньше, чем при рубках ухода.

Из-за ограниченных возможностей ухода должны выделяться зона и объекты первоочередного ухода, где уход даст наибольший хозяйственный эффект: наиболее производительные молодняки (I—

III кл. бонитета) с наиболее выраженной сменой ценных пород малоценными и т. д. В этом отношении особого выделения заслуживают леса черневого пояса. Низкая продуктивность пихтарников, по площади в 2—5 раз превосходящих кедровники, при высоком природном потенциале занятых ими территорий заставляет рассматривать многие пихтарники черневого пояса как важный резерв расширения площади кедровников, а частично — лиственничников, с мерами по их искусственному введению. Культуры лиственницы сибирской в черневом поясе растут по I—Ia кл. бонитета и уже к 30—40 годам продуцируют биомассу, равную биомассе спелого (разновозрастного) естественного пихтарника со средним возрастом главного полога 120—140 лет. Замена пихты на орехоносные плантации кедра и древесные плантации лиственницы явится важным элементом расширенного воспроизводства лесов в горах Южной Сибири. Такая мера особенно эффективна в сочетании с лесомелиоративными (удобрения и др.) и генетико-селекционными мероприятиями.

#### 5.4. ПРИРОДОЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Круг вопросов защиты природы в горных лесах широк. Следует упомянуть защиту лесов от энтомофитов и грибных болезней, регулирование сельскохозяйственного освоения лесных территорий, рекреаций, выпаса скота, сложную проблему защиты лесов (и атмосферы) от промышленных эмиссий. Мы задержим внимание на трех вопросах, имеющих в Южной Сибири наибольшее природозащитное звучание. Это, во-первых, выделение и сбережение лесов особого защитного значения, затем регулирование рубок и, наконец, охрана лесов от пожаров.

Первый вопрос определяет защиту от предельных внешних нагрузок всех категорий лесов особого защитного значения. Для этих лесов должен прежде всего вводиться режим строгого ограничения лесопользования.

Опасные размеры получает водная эрозия при нерациональных рубках леса. Очагами смыва и размыва почвы являются лесовозные дороги и усы, трелевочные волоки и другие минерализованные участки почвы, площадь которых может превышать 50% общей площади лесосеки. Отсюда первоочередная необходимость регламентирования рубок главного пользования.

Массовому смыву, а иногда и выдуванию почвы подвергаются все не заросшие лесом гари. Часто показатели смыва почвы с единицы площади на гарях выше, чем на вырубках (см. разд. 4. 3.). Поэтому в отдельные годы ущерб от эрозии при пожарах значительно больше, чем от вырубки лесов. Следовательно, борьба с лесными пожарами в горах является важнейшей противоэрозионной мерой, и выполнение горными лесами их водоохранно-защитных функций будет определяться эффективностью их противопожарной охраны.

Непосредственная борьба с эрозией на лесных площадях сложна, трудоемка и не всегда возможна по экономическим и природным



условиям. Гораздо эффективнее профилактические мероприятия, которым далее уделено главное внимание.

**Выделение категорий лесов строго защитного режима.** Мероприятия по предотвращению эрозии должны осуществляться на основе классификации лесных экосистем по их водоохранно-почвозащитному значению. Первоочередного выделения требуют территории и участки, выполняющие особые природозащитные функции, легко ранимые и требующие строгого ограничения лесопользования.

Ранее мы уже отмечали особую водорегулирующую и снегосборную роль высокогорных лесов (формируют до 50% речного стока) и целесообразность их территориального обособления в качестве хозчасти со строгим защитным режимом хозяйства. Эти леса вместе с гольцовыми тундрами и субальпийскими лугами составляют 20—22% площади гослесфонда.

К категории особого почвозащитного значения отнесены все склоны круче 25—30°, занимающие в горах Южной Сибири около 20% площади (6—8% из них входят в высокогорную особо защитную зону). На таких склонах при нынешней технологии лесозаготовок недопустимы даже выборочные рубки.

В пределах лесостепных лесов, заслуживающих полного перевода в леса I группы, особо выделяется категория поле-почвозащитных лесов строго защитного режима (полосы леса разной ширины по границам со степями и полями, леса на размываемых и раздуваемых почвах и др.), составляющих около 5% всех горных лесов.

Еще одну значительную группу защитных лесов (7—8% всех горных лесов, входящих частично в высокогорья) составляют водоохранные и берегозащитные леса, которые должны выделяться вдоль всех рек вплоть до их истоков. Леса на мерзлотных почвах, где велика опасность солифлюкции и интенсивной эрозии за счет надмерзлотного стока, также относятся к особо защитным.

Доля лесов особого защитного значения в отдельных районах может достигать 50% (в бассейне оз. Байкал — 55%).

**Регулирование рубок главного пользования.** На территории, не вошедшей в категорию особо защитных лесов, допустимо промышленное использование лесов (в эксплуатационно-защитном режиме), но в увязке со степенью защитного значения их.

Режим лесопользования дифференцирован прежде всего по градиентам крутизны: с увеличением крутизны он последовательно становится более строгим. На склонах круче 20° правилами рубок запрещаются сплошные рубки. При равной крутизне режим лесопользования должен быть более строгим на южных склонах.

Размеры сплошных вырубок и степень их концентрации помимо ряда общепринятых нормативов (группа лесов, сроки примыкания и др.) должны регламентироваться показателем предельного снижения лесистости микробассейнов. Этот показатель составляет по районам от 50 до 70% (в лесах «байкальской чаши» — 90%).

Одним из главных условий организации рационального природопользования в горах является широкое введение выборочной системы лесопользования. Выборочная рубка — единственно допусти-

мая во всех лесах повышенного защитного значения (склоны крутизной 20—30° и др.).

В процессе рубок необходим ряд ограничений в отношении трелевочных механизмов и технологии трелевки, так как именно с трелевкой связана возможность развития эрозионных процессов на лесосеке. Большинство технологических разработок должно быть ориентировано на ограничение процента минерализованной площади, поскольку с этим показателем обнаруживается прямая связь размеров твердого стока. В перспективе техническая политика лесной промышленности должна быть направлена на создание совершенных систем воздушных трелевочных установок и на повсеместный переход в горах к воздушной трелевке.

В современных условиях наиболее эффективной и простой мерой, предупреждающей интенсивный смыв почвы, является укрепление всех волоков порубочными остатками, т. е. создание изоляционного слоя между почвой и трелевочным механизмом. Укрепление пасечных волоков почти устраняет твердый сток с них, а на магистральных волоках снижает его в 3—4 раза. На склонах большей протяженности (более 300—400 м) эффективно укрепление волоков путем создания бульдозером валов (микротеррас) через каждые 20—30 м. На лесовозных дорогах и усах при пересечении ими водотоков (в том числе временных) должны быть водопропускные сооружения с расчетом на суммарный поверхностный и внутрипочвенный сток.

На действующих промоинах необходимо проведение закрепительных работ путем устройства простейших гидротехнических сооружений — фашино-хворостяных запруд, а также выравнивания промоин, обваловывания, устройства стенок и водоотводов, шелюгования. В зарубежных странах (США, Канада) в борьбе с эрозией используют так называемые земляные ловушки, фильтрующие изгороди из мелкоячеистой проволочной сетки, задерживающей почву. Эти ловушки легки, прочны и долговечны, считаются недорогими, однако применимость их ограничена условиями интенсивного хозяйства.

**Противопожарная охрана лесов.** Для удовлетворительной организации пожарной службы в горах необходима ее коренная перестройка и техническое переоснащение. Обнаружение пожаров наземными средствами пока возможно лишь на 20—25% площади лесов. Ликвидация пожаров силами лесхозов не может быть обеспечена из-за слабой оснащенности их транспортом и противопожарными механизмами. Авиаохрана не эффективна из-за нехватки летных средств и низких сезонных лимитов летного времени. Борьба с пожарами осложнена, кроме того, расчлененным рельефом и высокой каменистостью почв, ограничивающей использование взрывчатых материалов.

Наиболее эффективны противопожарные профилактические мероприятия на вырубках, так как здесь возникает до 90% всех пожаров. Минерализованные полосы в горах трудоемки, не всегда эффективны и обычно недолговечны. Более действенны здесь барьеры (по-

лосы) из лиственных пород, расчленяющие вырубку на изолированные ячейки. При рубках ухода эффективно создание лиственных заслонов (полос шириной до 50—80 м), особенно вдоль дорог. Значительный противопожарный эффект обеспечат деконцентрация лесосек сплошных рубок (чередование вырубок и молодняков с менее горимыми спелыми лесами) и переход к выборочной системе рубок (снижение площадей открытых вырубок и молодняков). Особое внимание должно уделяться расширению сети дорог противопожарного назначения и восстановлению старых лесовозных дорог.

Необходима качественная перестройка авиаохраны: создание гидровариантов самолетов и вертолетов большой грузоподъемности для тушения пожаров водой и растворами химикатов. В горах особенно перспективно искусственное вызывание осадков и тушение пожаров с воздуха огнегасящими порошками. Наземная охрана лесов должна быть оснащена высокопроходимым транспортом и тяжелой землеройной техникой.

Очевидно, что развитие противопожарной охраны лесов должно идти темпами, опережающими общее хозяйственное освоение территории.

#### 5.5. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

**Перспективы выборочного лесопользования.** В настоящее время в горных лесах Сибири ведутся практически лишь сплошные и условно-сплошные рубки, причем с недопустимо высокой степенью концентрации (режим лесов III группы). Неоправданно малы сроки примыкания лесосек (2—3 года), что влечет за собой большие пики стока и концентрированный смыв почв. Доля выборочных и постепенных рубок в общем объеме лесозаготовок составляет здесь в среднем около 2% и лишь в бассейне оз. Байкал — до 8%. В то же время в странах Европы с развитой лесной отраслью несплошными рубками в горах заготавливается от 40 до 70% всей древесины. Сплошные рубки здесь ведутся с большими ограничениями по размерам лесосек и срокам примыкания (чаще всего узкими полосами в 30—60 м при площади лесосек до 5 га и сроках примыкания до 15—25 лет). Следовательно, режим лесопользования в горах Европы примерно соответствует режиму наших лесов I группы [Мороз, 1982].

С 1967 г. нами в горах Южной Сибири (Алтай, Кузнецкий Ала-тау, Западный Саян, Прибайкалье и Забайкалье) ведутся опытные рубки разных способов и вариантов. Опыты показали большие лесоводственные и природозащитные преимущества выборочных рубок: сохранение многообразных защитных функций, уменьшение пожарной опасности, обеспечение непрерывного естественного воспроизводства лесных ресурсов, предотвращение смены пород, сокращение работ по уходу и др. По перспективным расчетам оптимального лесопользования в Сибири, выборочные и постепенные рубки в горах должны составлять до 50—60%, особенно в районах

с преобладанием разновозрастных и кедровых лесов [Поликарпов, 1978].

Неизбежная реорганизация лесопользования в горах Южной Сибири может идти в двух направлениях: по пути резкого уменьшения размеров лесосек сплошных рубок и их рассредоточения и по пути перехода от сплошнелесосечной системы рубок к выборочной. Второй путь представляется нам экономически более выгодным. Как показали исследования и расчеты, по комплексной оценке «лесоэксплуатация плюс лесовосстановление, плюс природозащитные функции», выборочные рубки получают несомненные экономические преимущества перед сплошными, особенно в расчете на один оборот сплошной рубки [Кедровые леса Сибири, 1985]. Опытные рубки показали и сугубо эксплуатационные преимущества выборочного лесопользования: стимулируется непрерывная деятельность лесозаготовительных предприятий, так как пройденные рубками площади через 30—50 лет поступают в очередной лесозаготовительный цикл, а также увеличивается на 10—30% размер пользования древесиной с единицы площади за счет дополнительного прироста оставляемой молодой части древостоев. Следует, однако, подчеркнуть, что выборочные рубки требуют более высокой культуры труда, более высокой квалификации рабочих, а также и более совершенной техники.

**Совершенствование технологии лесозаготовок.** Научно-технический прогресс пока мало затронул торную лесозаготовительную технику. Крупные масштабы эрозии в горах связаны не только (а иногда — и не столько!) со способами и размерами рубок, но и с нерациональной технологией их ведения и несовершенной лесозаготовительной техникой. Бессистемная трелевка, маломаневренные гусеничные тракторы (иногда сельскохозяйственного назначения), неудачные конструкции колесных тракторов, губительные для гор полуподвесные канатные установки пробивают серьезные бреши в защищающей горы лесном щите. Необходимы специальные для гор технологические разработки и создание специализированных машин и механизмов.

Перспективна замена неудачных конструкций гусеничных тракторов маневренными колесными. За рубежом (Канада и др.) созданы эффективные конструкции колесных тракторов с широкими линами (1,4—1,7 м). Такие тракторы очень устойчивы в горах, могут преодолевать уклон до 44°, обладают низким удельным давлением на грунт и главное не травмируют почву и не повреждают подрост, даже при наезде на него.

В качестве временной меры допустимо использование на крутосклонах отдельных конструкций подвесных (воздушных) канатных трелевочных установок. Однако большой перспективы в горах Сибири канатные установки не имеют из-за их низкой рентабельности и ограниченной применимости при несплошных рубках. Имеются и другие приемлемые для гор решения, но преимущественно временного характера [Кедровые леса Сибири, 1985].

Наиболее же перспективным направлением в реорганизации лесопользования в горах является технология лесозаготовок без во-

локов — использование специализированных летательных аппаратов [Поликарпов, 1980]. У нас в стране и за рубежом созданы управляемые аэростаты грузоподъемностью до 200 т. В последние годы успешно реализуется идея замены управляемых аэростатов вертостами — аппаратами гораздо более маневренными в вертикальной плоскости. Эти аппараты обладают практически неограниченной грузоподъемностью, скоростью до 200 км/ч, просты по конструкции, безопасны в работе, могут эксплуатироваться при скорости ветра до 10 баллов. Стоимость 1 т/км, а также расход топлива у вертоста в 4—6 раз меньше, чем у вертолета.

На дальних расстояниях и при постоянных нагрузках вертосты менее рентабельны, чем аэростаты, но зато удобны при спуске древесины со склонов. Поэтому очевидна целесообразность сочетания этих аппаратов: вертостат работает в пределах лесосеки (до магистрали), а аэростат — на магистральной транспортировке.

**Перспективы лесовосстановления.** Темпы воспроизводства лесных ресурсов в Южной Сибири значительно отстают от темпов их использования. Лесные культуры создаются ежегодно лишь на 25—30% площади годичной лесосеки. Разрыв между рубкой и лесовосстановлением с учетом сохранения подроста на 35—40% площади годичной лесосеки составляет около 30—35%. Площади, опустошаемые ежегодно пожарами и периодически — насекомыми, доводят разрыв между уничтожением и восстановлением лесов в ряде районов до 50—60%. Кроме того, около 50% культур гибнет из-за низкого качества и небеспеченности уходом. Таким образом, потребности в лесовосстановительных мероприятиях значительно превышают возможности лесохозяйственного производства. Это привело к накоплению большого количества непродуцирующих и малопродуцирующих площадей.

Принцип неистощительного пользования лесными ресурсами, особенно неизбежный в горах, требует незамедлительного восстановления лесов. При решении проблемы восстановления горных лесов следует исходить из того, что по крайней мере на 50—60% площадей сплошных вырубок лесовосстановление может быть обеспечено естественным путем — за счет сохранения подроста, молодняка и второго яруса хвойных пород (см. разд. 3.4). Для реализации этого лесовосстановительного потенциала не нужно больших затрат, но необходимо широкое внедрение прогрессивных технологий лесосечных работ [Кедровые леса Сибири, 1985]. С учетом перспектив выборочного хозяйства естественное лесовосстановление можно обеспечить на 70—80% площади годичной лесосеки, а лесные культуры оставить в объеме 20—30%, но сконцентрировав при этом внимание на их качестве (гарантия сохранности при эффективном уходе). Доля искусственного лесовосстановления по районам может колебаться от 10—15 до 50—60% (леса избыточно влажных районов). В последних районах, характеризующихся к тому же высоким потенциалом продуктивности, целесообразно создание специализированных лесокультурных предприятий.

Решение проблемы искусственного лесовосстановления должно предусматривать организацию семенной базы, создание высококомпьютеризированных лесных питомников, закладку целевых культур, реконструкцию насаждений нежелательных структур, эффективный уход за культурами и ряд других мер. Особенно ответственным моментом при этом является обоснованный подбор целевых древесных пород.

**Целевые лесные культуры.** В настоящее время в горах региона повсеместно и необоснованно культивируется сосна (до 70% всех культур), часто гибнущая в не свойственных ей климатических и почвенных условиях, особенно в избыточно влажных районах. Выбор целевых пород для различных экологических условий должен основываться на установленных экологических параметрах основных лесообразователей Сибири. Рассмотренные в гл. 3 экологические связи хорошо согласуются с результатами экологических культур, заложенных нами в 1967—1973 гг. по высотным профилям от сухой лесостепи до избыточно влажного высокогорья в Западном Саяне и в Хамар-Дабане.

Опыты прежде всего подтверждают вывод об очень ограниченных возможностях разведения древесных пород вне их экологического ареала [Кедровые леса Сибири, 1985]. Посадки кедра, ели и особенно пихты в лесостепных и отчасти подтаежных ВПК в большинстве гибнут, а сохранившиеся имеют наихудшие показатели роста и развития. Напротив, культуры сосны и лиственниц (сибирской и даурской) сильно угнетены и частично гибнут в условиях резко избыточно влажного климата. Наиболее высокие биометрические показатели культур темнохвойных пород (при выровненном эдафическом фоне) отмечены в черневом поясе, у лиственниц — в подтаежном, у сосны — в лесостепном.

Результаты изучения экологии древесных пород (гл. 3) в сочетании с опытными и производственными лесными культурами позволяют сделать следующие основные выводы по целевому выращиванию важнейших древесных пород.

— *Кедр сибирский*, как порода с высокими природоохранительными функциями и лесоресурсными показателями, является основной целевой породой во всех темнохвойных ВПК. Исключение могут составлять лишь склоны световых экспозиций (особенно выпуклые, крутые, приводораздельные) близ контакта со светлохвойными ВПК. Экологический оптимум кедра приходится на нижнюю часть черневого пояса.

*Сосна* должна культивироваться преимущественно в низкогорных поясах на хорошо прогреваемых почвах облегченного мезостава. Предпочтение следует отдавать склонам световых экспозиций и положительным элементам рельефа на абсолютных высотах до 1000—1200 м. В условиях избыточно влажного климата культивировать сосну не следует.

*Ель сибирская* должна культивироваться главным образом по отрицательным элементам рельефа: долинам, придолинным шлейфам, вогнутым склонам, переувлажненным и заболоченным пред-

горьям и низинам, т. е. на почвах постоянного и избыточного увлажнения, в том числе и на холодных. Как порода ветровальная, ель нежелательна в лесах высокого защитного значения.

*Лиственница* может культивироваться в самых разнообразных климатических и почвенных условиях, за исключением ВПК с избыточно влажным климатом. При этом в менее влажных и более теплых климатических и почвенных условиях вводится лиственница сибирская, а в противоположных — лиственница даурская.

Введение в культуры *пихты сибирской* целесообразно лишь в избыточно влажном климате, угнетающе сказывающемся даже на кедре (в целях восстановления отдельных категорий защитных лесов), а также в качестве сопутствующей породы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развивая системный подход к изучению лесного покрова в горах, используя методы сравнительной географии и экологии, математический анализ и ординацию, мы на примере гор Южной Сибири пришли к выводу о ведущей роли климата в лесообразовании.

Отличительной чертой гор Южной Сибири при их широтном простирании и положении в континентальном секторе Евразии является то, что на первое место по значению из всех климатических характеристик выходит режим увлажнения макросклонов, который и определяет самые крупные черты географии лесов и дифференциацию их на климатические фации. Они отражены в схеме лесорастительного районирования, но с большей точностью могут быть показаны на картах, при картировании высотно-поисных комплексов типов биогеоценозов (ВПК).

Высотные пояса растительности и соответствующие им ВПК в пределах климатических фаций были основными центрами внимания при рассмотрении связей в системе климат — растительность и представили существенный интерес для сравнительного лесотипологического и лесоводственного анализа на широком географическом фоне.

Наиболее детальный уровень рассмотрения связей климата с составом и продуктивностью горных лесов учитывал реальную пестроту мезоклиматических условий в горах, связанную с различной экспозицией, крутизной и формой склонов. Эти различия особенно велики в наиболее сухих и континентальных районах, где ими определяется сама возможность существования леса.

Несмотря на всю сложность климатической обстановки в горах, использованная методика климатологических расчетов показала свою эффективность. Разными методами и на разных выборках исходных данных были получены однозначные выводы, подтвержденные количественными показателями высокой информативности.

На результаты математического анализа, как отмечалось, не следует смотреть как на чисто экологические зависимости, так как

они являются интегральным отражением влияния и ряда других факторов — фитоценологических, антропогенных, стихийных, исторических, итогом которых стала современная география лесов. Тем не менее связи с климатом состава, структуры, продуктивности лесов и т. д. оказываются вполне закономерными, получают количественное выражение и позволяют выделить тепло- и влагообеспеченность как основные системообразующие факторы для ВПК и их классов, ограниченных рамками крупных природных регионов, имеющих единство биотической части.

Важными системообразующими факторами остаются режимы тепла и влаги также и на более низком уровне, связанном в горах с экспозицией, крутизной и формой склонов. Однако чем ниже ступени иерархии экосистем, тем больше рассеивается информация, передаваемая от климатических факторов к растительности, и вступают в действие другие факторы, увеличивающие разнообразие состояний растительного компонента и биоты в целом. Наиболее эффективен для анализа связи с климатом уровень экосистем ранга ВПК, а в районах умеренного и недостаточного увлажнения — и геоморфологических комплексов (ГК), связанных с экспозицией склонов.

Количественная климатическая характеристика лесорастительных поясов не носит абсолютного характера, и в целом пояса восточного, более континентального сектора получают меньше осадков и меньше тепла, чем те же пояса западного сектора. Вместе с тем показатели относительного увлажнения на границе темно- и светлохвойных зональных групп формаций и на границе леса и степи сохраняют высокую стабильность: радиационный индекс сухости Будыко равен соответственно 0,6, и 1,1. Относительное увлажнение, таким образом, является фактором, определяющим нижнюю границу пояса темнохвойных лесов и леса в целом. Эта закономерность важна не только для теории, как подтверждение действия периодического закона географической зональности в горах континентального сектора Евразии, но и для практики горного лесоводства.

В отличие от нижней границы лесного пояса, верхний предел распространения лесов определяется повсеместно теплоэнергетическими ресурсами.

Показатели обеспеченности теплом являются основными также при разграничении темнохвойных экосистем на горно-черневые, горно-таежные и высокогорные (подгольцово-субальпийские и подгольцово-таежные). То же можно отметить для деления светлохвойных лесов на подтаежные, горно-таежные и высокогорные (в пределах каждой климатической фации). В условиях достаточной влажности термические факторы определяют и продуктивность лесов. Продукция биомассы закономерно увеличивается от верхних поясов к нижним. При недостатке увлажнения в нижних поясах может отмечаться снижение биологической продуктивности по сравнению со средними, где тепло и влага лучше сбалансированы.

Смена доминирующей в составе ВПК древесной породы происходит по вектору тепло- и влагообеспеченности: от пихты в наиболее

влажных и сосны в наиболее теплых и относительно сухих климатах до кедра в прохладных и влажных и лиственницы в наиболее сухих и прохладных климатах. Промежуточные значения вероятностны для всех пород, поэтому на границе светлохвойной подтайги и темнохвойных лесов отмечается наибольшее разнообразие лесов по составу и структуре.

Эта общая принципиальная схема сохраняет свое значение во всем регионе, а также и за его пределами, хотя может осложняться в силу различных причин локального порядка. В сочетании с расчетными климатическими показателями по ВПК и даже по их более дробным категориям (ГК) она служит исходной основой для прогнозирования и картографического моделирования многих важных особенностей лесных экосистем, включая их экологические и природоохранные функции и важные стороны хозяйственного использования.

С учетом особых природоохранных функций горных лесов представляется важным обоснование нового понятия продуктивности лесов, включающее их средоохранную роль.

Хотя в задачу данного исследования не входило рассмотрение обратных связей в системе климат — растительность, нельзя обойти молчанием важную климаторегулирующую роль горных лесов, которая по своему значению выходит далеко за рамки рассматриваемого региона и имеет биосферные масштабы. Вместе с тем неоднократно отмечалось, что горные экосистемы легко ранимы, а суровые сибирские условия усугубляют отрицательные последствия, связанные с нарушением их равновесия. Это надо прежде всего иметь в виду при организации рационального природопользования.

Можно считать целесообразным разработку систем лесохозяйственных мероприятий по выделенным классам ВПК, ограниченным в региональном плане группами лесорастительных районов и округов. С учетом природных и экономических условий могут быть выделены: подтаежно-лесостепная поле- и почвозащитная урбанизированная (с учетом возрастающих техногенных нагрузок); горно-черневая плантационная, направленная на использование высокого лесорастительного потенциала и создание комплексных хозяйств на базе кедра; горно-таежная эксплуатационно-защитная с тремя вариантами по составу для горно-таежных лесов разных климатических фаций — кедрово-пихтовых, кедровых и светлохвойных; высокогорная снегосборно-водорегулирующая строго защитная.

По эколого-хозяйственным группам типов леса внутри ВПК разрабатываются комплексы лесохозяйственных мер, включающие совершенствование лесопользования, методы естественного и искусственного лесовосстановления. Объем и степень генерализации лесотипологических групп зависят от целей и интенсивности хозяйства.

Лесопользование в горах должно включать действенные меры по воспроизводству лесных ресурсов и по сохранению лесами их высоких защитных (ландшафтостабилизирующих) функций.

## СПИСОК НАЗВАНИЙ РАСТЕНИЙ \*

### Кустарники

Березка круглолистная  
Карагана желтая  
К. кустарниковая  
Кизильник черноплодный  
К. одноцветковый  
Лапчатка кустарниковая  
Жимолость алтайская  
Ж. голубая  
Ольховник  
Рододендрон даурский  
Р. золотистый (кашкара)  
Р. мелколистный  
Спирея дубровколистная  
С. средняя  
Шиповник

*Betula rotundifolia* Spach  
*Caragana arborescens* Lam.  
*C. frutex* (L.) C. Koch  
*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.  
*C. uniflora* Bunge  
*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schowz  
*Lonicera altaica* Pall.  
*L. coerulea* L.  
*Duschekia fruticosa* Opiz  
*Rhododendron dauricum* L.  
*R. aureum* Georgi  
*R. parvifolium* Adam  
*Spiraea chamaedryfolia* L.  
*S. media* Franz Schmidt  
*Rosa acicularis* Lindl.

### Травы и кустарнички

Багульник болотный  
Бадан  
Борец высокий  
Б. саянский  
Бруннера сибирская  
Вейник Лангсдорфа  
В. Павлова  
В. тростниковидный  
В. тупоколосковый  
Вика однопарная  
Водосбор сибирский  
Водяника  
Гвоздика пышная  
Герань белоцветковая  
Г. ложносибирская  
Голубика  
Грушанка круглолистная  
Горец змеиный  
Жарок азиатский  
Зонник клубненосный  
Ирис русский  
Кисличка  
Клевер люпинолистный  
Коротконожка  
Костяника  
Кочедыжник альпийский

*Ledum palustre* L.  
*Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch  
*Aconitum septentrionale* Koelle  
*A. sajanense* Kumin.  
*Brunnera sibirica* Stev.  
*Calamagrostis purpurea* ssp. *langsdorfii* (Link) Tzvel.  
*C. pavlovii* ssp. *krylovii* Tzvel.  
*C. arundinacea* (L.) Roth  
*C. obtusata* Trin.  
*Vicia unijuga* A. Br.  
*Aquilegia sibirica* Lam.  
*Empetrum nigrum* L.  
*Dianthus superbus* L.  
*Geranium albiflorum* Ledeb.  
*G. pseudosibiricum* J. Mayer  
*Vaccinium uliginosum* L.  
*Pyrola rotundifolia* L.  
*Polygonum bistorta* L.  
*Trolius asiaticus* L.  
*Phlomis tuberosa* L.  
*Iris ruthenica* Ker-Gawl.  
*Oxalis acetosella* L.  
*Trifolium lupinaster* L.  
*Brachypodium pinnatum* L.  
*Rubus saxatilis* L.  
*Athyrium distentifolium* Tausch et Opiz

\*В списке приведены основные индикаторы и доминанты нижних ярусов.

К. городчатый  
К. женский  
Лилия саранка  
Мятлик сибирский  
Овсеп пушистый  
Овсяница алтайская  
О. овечья  
О. сфагновая

Орляк  
Осочка большехвостая  
Осока стоповидная  
О. Ильина  
О. шаровидная  
Прострел  
Сныть альпийская  
С. обыкновенная  
Соссюрея спорная  
Страусник  
Трищетинник сибирский  
Чина Гмелина  
Ч. низкая  
Щитовник австрийский

Щ. игольчатый  
Ясменник душистый

Аулякомниум болотный

Кукушкин лен  
Мох головчатый

Мох Шребера  
Ритидиум морщинистый  
Туидиум елеобразный  
Этажный мох  
Лишайники из родов:

Сфагновые мхи

*Diplasium sibiricum* Kurata  
*Athyrium filix-femina* (L.) Roth  
*Lilium martagon* L.  
*Poa sibirica* Roschev.  
*Helictotrichon pubescens* (Huds.) Pilg.  
*Festuca altaica* Trin.  
*F. ovina* L.  
*F. ovina* ssp. *sphagnicola* (B. Keller).  
Tzvel.  
*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn  
*Carex macroura* Meinsh.  
*C. pediformis* C. A. Mey.  
*C. ilfinii* V. Krecz.  
*C. globularis* L.  
*Pulsatilla patens* (L.) Miller  
*Aegopodium alpestre* Ledeb.  
*A. podagraria* L.  
*Saussurea controversa* D. C.  
*Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.  
*Trisetum sibiricum* Rupr.  
*Lathyrus gmelinii* Fritsch  
*L. humilis* (Ser.) Spreng.  
*Dryopteris lanceolatoristata* (Hoffm.)  
Alst.  
*D. carthusiana* Vill.  
*Galium odoratum* (L.) Scopp.

#### Мхи, лишайники

*Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwagr.  
*Polytrichum commune* Hedw.  
*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.)  
Warnst.  
*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.  
*Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb.  
*Abietinella abietina* (Trurn.) Fleisch.  
*Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G.  
*Cetraria* Ach.; *Cladonia* (Hill.) Web.,  
*Alectoria* Ach.

*Sphagnum girgensohnii* Russ.  
*S. fuscum* (Schkmp.) Klinggr.  
*S. magellanicum* Gimp. Brid.  
*S. wulfianum* Girg.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Аверкиев М. С. Вспомогательные графики и таблицы для расчета инсоляции различно ориентированных поверхностей.— Тр. Моск. гидромет. ин-та, 1939, вып. 1, с. 221—240.
- Агроклиматические ресурсы Красноярского края и Тувинской АССР.— Л.: Гидрометеиздат, 1974.— 212 с.
- Айзенштат Б. А. О поступлении рассеянной радиации на склоны и дно горной долины.— Тр. ГГО, 1961, вып. 107, с. 84—105.
- Айзенштат Б. А. Некоторые черты радиационного режима, теплового баланса и микроклимата горного перевала.— Метеорология и гидрология, 1962, № 3, с. 27—32.
- Айзенштат Б. А. Климатические факторы ландшафтных различий горных склонов восточных и западных экспозиций.— Метеорология и гидрология, 1966, № 2, с. 22—26.
- Александрова В. Д. О возможности применения идей и методов кибернетики в лесной биогеоэкологии.— В кн.: Основы лесной биогеоэкологии. М.: Наука, 1964, с. 501—510.
- Александрова В. Д. Статистические методы и ландшафтоведение.— В кн.: Методы ландшафтных исследований. М.: Наука, 1969, с. 43—70.
- Александрова Т. Д. Внутригорные котловины.— М.: Наука, 1972.— 118 с.
- Алисов Б. П. Климат СССР.— М.: Изд-во МГУ, 1956.— 128 с.
- Алисов Б. П., Дроздов О. А., Рубинштейн Е. С. Курс климатологии. Ч. I, II.— Л.: Гидрометеиздат, 1952.— 488 с.
- Алтае-Саянская горная область. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока.— М.: Наука, 1969.— 412 с.
- Апалькова Л. А., Петропавловский В. С. К вопросу о формировании древесного яруса в поясе широколиственных лесов Среднего Сихотэ-Алиня.— В кн.: Статистические методы исследования геосистем. Владивосток: изд. ДВНЦ АН СССР, 1976, с. 100—111.
- Арманд А. Д. Модели и информация в физической географии.— М.: Знание, 1971.— 31 с.
- Арманд А. Д. Информационные модели природных комплексов.— М.: Наука, 1975.— 126 с.
- Архангельский В. А. О расчете вертикальных градиентов осадков в районе Сихотэ-Алиня.— Тр. ДВ НИГМИ, 1960, вып. 11, с. 118—129.
- Атлас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская область).— М.— Иркутск: Изд-во АН СССР, 1967.— 176 с.
- Атрохин В. Г. Биоэкологические основы формирования высокопродуктивных насаждений.— М.: Лесн. пром-сть, 1967.— 180 с.
- Афанасьев А. Н. Водные ресурсы и водный баланс бассейна озера Байкал.— Тр. Лимнол. ин-та, 1976, т. 25 (45), с. 236.
- Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Географические закономерности продуктивности и круговорота химических элементов в основных типах растительности Земли.— В кн.: Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1969, с. 24—32.
- Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Картограммы продуктивности и биологического круговорота главнейших типов растительности Земли.— Изв. ВГО, 1967, № 3, с. 190—194.

- Базилевич Н. И., Родин Л. Е., Дроздов А. В. Продуктивность растительного покрова Земли, общие закономерности размещения и связь с факторами климата.— Журн. общ. биол., 1968, т. XXIX, № 3, с. 261—271.
- Базилевич Н. И., Родин Л. Е., Розов Н. Н. Географические аспекты изучения биологической продуктивности.— М.: изд. геогр. о-ва СССР, 1970.— 22 с.
- Байкало-Амурская железнодорожная магистраль. Растительность. Карта м-ба 1 : 2 500 000. М.: изд. ГУГК, 1983.
- Бахтин Н. П. Радиационные факторы широтной зональности и вертикальной поясности растительности Средней Сибири.— М.: Наука, 1967, с. 5—27.
- Белов А. В., Буке И. И., Ильина И. С. Вопросы составления карты растительности Азиатской России.— В кн.: Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1972, вып. 36, с. 30—40.
- Берлянд М. Е., Берлянд Т. Г. Определение эффективного излучения Земли с учетом влияния облачности.— Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1952, № 1, с. 64—78.
- Борзенкова И. И. О некоторых закономерностях изменения составляющих радиационного и теплового балансов в горных районах.— Тр. ГГО, 1965, вып. 179, с. 186—198.
- Борзенкова И. И. О некоторых закономерностях вертикальной географической зональности.— Тр. ГГО, 1967, вып. 193, с. 53—59.
- Бочаров М. К. Методы математической статистики в географии.— М.: Мысль, 1971.— 376 с.
- Будыко М. И. Об определении испарения с поверхности суши.— Метеорология и гидрология, 1955, № 1, с. 52—58.
- Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности.— Л.: Гидрометеоиздат, 1956.— 256 с.
- Будыко М. И. Климат и жизнь.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 472 с.
- Будыко М. И., Зубенко Л. И. Определение испарения с поверхности суши.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1961, № 6, с. 3—17.
- Будыко М. И., Гандин Л. С. К теории фотосинтеза в слое растительного покрова.— Докл. АН СССР, 1966, т. 164(2), с. 454—457.
- Бузыкин А. И. О продуктивности лесов и уровнях ее регулирования.— В кн.: Проблемы лесоведения Сибири. М.: Наука, 1977, с. 7—24.
- Букуштынов А. Д., Грошев Б. И., Крылов Г. В. Леса (Природа мира).— М.: Мысль, 1981.— 316 с.
- Валендик Э. Н. Крупные лесные пожары; их предупреждение и тушение: Автореф. докт. дис.— Красноярск, 1985.— 46 с.
- Василевич В. И. Количественные методы изучения структуры растительности.— В кн.: Итоги науки и техники. Ботаника. Изд-во ВИНТИ, 1972, вып. 1, с. 5—83.
- Ведь И. П. Вертикальная поясность и производительность лесов Горного Крыма в связи с показателями тепла и влаги.— Изв. ВГО, 1969, т. 101, вып. 2, с. 149—152.
- Веремейчикова Е. И. Особенности теплового баланса высокогорья Восточного Памира.— В кн.: Географический бюллетень Межведомственного географического комитета при Президиуме АН СССР. М., 1962, № 11, с. 16—21.
- Вишнякова З. В., Зуева К. Г., Кузнецова Т. С., Чагина Е. Г. О взаимодействии леса и почвы.— В кн.: Лес и почва: Тр. Всесоюз. науч. конф. по лесному почвоведению, 15—19 июля 1965 г. Красноярск, 1968, с. 494—600.
- Волобуев Р. Р. Введение в энергетику почвообразования.— М.: Наука, 1974.— 128 с.
- Волощина А. П. Актинометрические и общеметеорологические наблюдения в седловине Эльбруса.— Вест. МГУ. Сер. геол. и геогр., 1961, вып. 1, с. 52—59.
- Воробьев Д. В. Методика лесотипологических исследований.— Киев: Урожай, 1967.— 388 с.
- Выгодская Н. Н. Радиационный режим и структура горных лесов.— Л.: Гидрометеоиздат, 1981.— 262 с.
- Вянцугус А. Характеристика производительности лесов по индексу Патерсона.— Науч. тр. Лит. с.-х. акад. Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть, Вильнюс, 1977, т. XXIII, вып. 5(69), с. 75—81.

- Гандин Л. С., Менжулин Г. В., Усов В. Б. Расчет влияния метеорологических и биоклиматических факторов на фотосинтез с помощью ЭВМ.— В кн.: Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. М.: Наука, 1969, с. 174—181.
- Гвоздецкий Н. А. О вертикальной зональности и принципах ландшафтного картографирования и физико-географического районирования горных стран.— Геогр. сб. Львов. ун-та, 1957, т. 40, с. 65—71.
- Геоботанические исследования на Байкале.— М.: Наука, 1967.— 343 с.
- Герасимов И. П. О почвенно-климатических фациях равнин СССР и прилегающих стран.— Л.: Изд-во АН СССР, 1933.— 38 с.
- Голубева Т. А. Количественные характеристики радиационного режима.— В кн.: Микроклимат СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1967, с. 11—37.
- Горбатенко В. М. Влияние основных климатических факторов на первичную биологическую продуктивность сосновых фитоценозов.— В кн.: Стационарные гидрологические исследования в лесах Сибири. Красноярск, 1975, с. 212—220.
- Горбачев В. Н. Почвы Восточного Саяна.— М.: Наука, 1978.— 200 с.
- Горная лесостепь Восточного Хангая (МНР). Природные условия (семенов Тавшурулах).— М.: Наука, 1983.— 189 с.
- Горные леса/Синицын С. Г., Атеенко А. С., Гулисашвили В. З. и др.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 200 с.
- Гребенников О. С. Эколого-географические закономерности в строении растительного покрова Балканского полуострова.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1972, № 4, с. 19—35.
- Гребенников О. С. Опыт климатической характеристики основных растительных формаций Кавказа.— Бот. журн. 1974, т. 59, вып. 2, с. 161—174.
- Григорьев А. А. Некоторые итоги разработки новых идей в физической географии.— Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз., 1946, т. 10, № 2, с. 139—167.
- Григорьев А. А. Географическая зональность и некоторые ее закономерности.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1954, № 5, с. 17—29.
- Григорьев А. А., Будыко М. И. О периодическом законе географической зональности.— Докл. АН СССР, 1956, т. 110, № 1, с. 129—132.
- Григорьев А. А., Будыко М. И. Связь балансов тепла и влаги с интенсивностью географических процессов.— Докл. АН СССР, 1965, № 1, с. 151—154.
- Григорьев А. А. Влияние орографии на распределение атмосферных осадков в Северной Киргизии.— Изв. Кирг. геогр. о-ва, 1973, вып. 17, с. 37—43.
- Григорьев Г. П. Радиационный режим южной тайги Нижнего Приангарья.— В кн.: Климатические условия и микроклимат таежных геосистем Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980, с. 49—110.
- Губский А. В., Константинов А. Р. О режиме увлажнения Памира.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1974, № 4, с. 97—104.
- Гудошников С. В. О происхождении черновой тайги Южной Сибири.— Бот. журн., 1981, т. 66, № 3, с. 341—351.
- Давитая Ф. Ф., Мельник Ю. С. Радиационный нагрев деятельной поверхности и граница леса.— Метеорология и гидрология, 1962, № 1, с. 3—9.
- Денисенко О. Н. Радиационный баланс склонов различной крутизны и экспозиции (при средней облачности).— Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. II. Химия, биол., геол., геогр., 1975, № 1, с. 73—76.
- Дроздов А. В. Продуктивность зональных наземных растительных сообществ и показатели водно-теплового режима территории.— В кн.: Общие теоретические проблемы биологической продуктивности.— Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969, с. 33—38.
- Дылис Н. В. Сибирская лиственница.— В кн.: Материалы к познанию фауны и флоры СССР. Вып. 2(10). М.: МОИП, 1947, с. 1—140.
- Дылис Н. В., Решиков М. А., Малышев Л. И. Растительность.— В кн.: Предбайкалье и Забайкалье. М., 1965, с. 225—281.
- Ермоленко П. М. Сосновые леса Восточного Саяна и лесовозобновление в них (Иркутская область).— В кн.: Возобновление в лесах Сибири. Красноярск: изд. ИЛИД, 1965, с. 44—87.
- Ермоленко П. М., Ермоленко Л. Г. Высотно-поясные особенности кедра и пихты в Западном Саяне.— В кн.: Формирование и продуктивность древостоев.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981, с. 19—53.

- Ефимова Н. А. Карты продуктивности растительного покрова континентов.— Бот. журн., 1976, т. 21, с. 1641—1657.
- Ефимова Н. А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова.— Л.: Гидрометеоздат, 1977.— 216 с.
- Ефимова Н. А., Зубенок Л. И. Радиационный и тепловой баланс Урала.— Тр. МОИП, 1966, т. 18, с. 134—142.
- Зубенок Л. И. Испарение на континентах.— Л.: Гидрометеоздат, 1976.— 264 с.
- Зяткова Л. К. Структурная геоморфология Алтае-Саянской горной области.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977.— 213 с.
- Ильинская С. А. Центральная азиатская котловинно-горная лесорастительная область.— В кн.: Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980, с. 278—327.
- Исаченко А. Г. Основы ландшафтоведения.— М.: Высш. шк., 1965.— 324 с.
- Карпачевский Л. О., Буданцев П. Б., Александрович В. Е. Применение информационно-логического анализа для оценки влияния почвенных и климатических факторов на продуктивность лесных насаждений (их интродуцированных и аборигенных древесных пород).— Почвоведение, 1978, № 7, с. 126—136.
- Карта лесов Монгольской Народной Республики/Под ред. акад. Е. М. Лавренко. М-6 1 : 1 500 000. М.: изд. ГУГК, 1983.
- Карты природы, населения и хозяйства юга Восточной Сибири. Растительность/Под ред. В. Б. Сочавы.— М.: изд. ГУГК, 1972.
- Кедровые леса Сибири/Семечкин И. В., Поликарпов Н. П., Ирошников А. И. и др.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985.— 258 с.
- Ковалев Р. В., Корсунов В. М., Шоба В. Н. Процессы и продукты почвообразования в темнохвойных лесах.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981.— 118 с.
- Колесников Б. П. Кедровые леса Дальнего Востока. Т. II(IV).— М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1956.— 263 с.
- Колесников Б. П. О генетической классификации типов леса и задачах лесной типологии в восточных районах СССР.— Изв. СО АН СССР, 1958, № 4, с. 113—124.
- Колесников Б. П. Лесохозяйственные области таежной зоны СССР и системы лесного хозяйства в аспекте долгосрочных прогнозов.— Информ. бюл. Науч. совета по комплексному освоению таежных территорий, Иркутск, 1969, № 2, с. 9—39.
- Колосов П. И. О биоклиматическом потенциале и его распределении по территории СССР.— Тр. НИИАК, 1963, вып. 23, с. 127—140.
- Коляго С. А. Почвы государственного заповедника «Столбы».— Тр. гос. заповедника «Столбы», Красноярск, 1961, вып. 3, с. 197—247.
- Кондаков Ю. П. Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда: Автореф. канд. дис.— Красноярск, 1975.— 24 с.
- Кондратьев К. Я. Лучистый теплообмен в атмосфере.— Л.: Гидрометеоздат, 1956.— 420 с.
- Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федорова М. П. Радиационный режим наклонных поверхностей.— Л.: Гидрометеоздат, 1978.— 216 с.
- Константинов А. Р., Сакали Л. И. Роль составляющих теплового и водного балансов в формировании ландшафтов.— В кн.: Геофизика ландшафтов. М.: Наука, 1967, с. 40—52.
- Короначинский И. Ю. Дендрофлора Алтайско-Саянской горной области.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— 290 с.
- Красноборов И. М. Высокогорная флора Западного Саяна.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976.— 378 с.
- Кружис М. В., Милютин Л. И. Лиственница Чекаповского.— М.: Наука, 1977.— 210 с.
- Крылов А. Г. Типология кедровых лесов Сибири.— В кн.: Вопросы лесоведения. Красноярск: Кн. изд-во, 1970, с. 129—147.
- Крылов А. Г., Речан С. П. Типы кедровых и лиственничных лесов Горного Алтая.— М.: Наука, 1967.— 222 с.

- Крылов А. Г. Жизненные формы лесных фитоценозов.— Л.: Наука, 1984.— 184 с.
- Куминова А. В. Растительный покров Алтая.— Новосибирск: изд. РИО СО АН СССР, 1960.— 449 с.
- Куминова А. В. Характерные черты Алтае-Саянской геоботанической области.— Изв. Том. отд. Всесоюз. бот. о-ва, 1973, т. 6, с. 23—34.
- Куминова А. В. Основные ботанико-географические закономерности на карте растительности Тувы.— В кн.: Геоботаническое картографирование. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1983, с. 40—46.
- Лавренко Е. М., Андреев В. Н., Леонтьев В. Л. Профиль продуктивности надземной части природного растительного покрова СССР от тундр к пустыням.— Бот. журн., 1955, т. 40, вып. 3, с. 415—419.
- Лархер В. Экология растений.— М.: Мир, 1978.— 185 с.
- Лебедев А. В. Взаимосвязь составляющих водного и теплового балансов с лесистостью.— В кн.: Средообразующая роль леса. Красноярск, 1974, с. 3—29.
- Лебедев А. В. Гидрологическая роль горных лесов Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982.— 184 с.
- Лебков В. Ф. Организация хозяйства в горных лесах Южной Сибири.— Красноярск: Кн. изд-во, 1967.— 287 с.
- Леса Горного Алтая.— М.: Наука, 1965.— 223 с.
- Леса Монгольской Народной Республики (География и типология).— М.: Наука, 1978.— 127 с.
- Леса Монгольской Народной Республики (Лиственничные леса Центрального Хангаля)/Отв. ред. В. Н. Смагин.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— 148 с.
- Леса СССР. Т. 4.— М.: Наука, 1969.— 767 с.
- Лесные почвы Алтае-Саянской области/Под ред. В. М. Корсунова.— Красноярск: изд. ИЛИД СО АН СССР, 1977.— 172 с.
- Лосицкий К. Б. Производственная оценка климата в лесном хозяйстве.— Лесн. хоз-во, 1974, № 7, с. 34—37.
- Лосицкий К. Б., Чуенков В. С. Эталонные леса.— М.: Лесн. пром-сть, 1973.— 160 с.
- Мазинг В. В. Некоторые географические аспекты экосистемно-структурного анализа растительного покрова суши.— В кн.: Современные проблемы географии экосистем.— М.: изд. Ин-та геогр. АН СССР, 1984, с. 31—33.
- Мамонов Н. В. Некоторые особенности вертикальной зональности осадков в Горном Алтае.— Тр. НИИАК, 1964, вып. 26, с. 72—84.
- Мальшев Л. И. Высокогорная флора Восточного Саяна.— М.— Л.: Наука, 1965.— 366 с.
- Мальцев В. Н. О распределении осадков по Тувинской котловине.— Науч. тр. Новосиб. гос. пед. ин-та, 1972, вып. 60, с. 157—163.
- Маючая Л. В. Информационный анализ временных рядов атмосферных осадков.— В кн.: Статистические методы исследования геосистем.— Владивосток, 1976, с. 46—58.
- Мезенцев В. С., Карнаевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины.— Л.: Гидрометеоздат, 1969.— 168 с.
- Мелехов И. С. Лесоведение.— М.: Лесн. пром-сть, 1980.— 406 с.
- Метеорологический ежемесячник. Ч. 2, вып. 21, № 1—13. Красноярск, 1961—1979.
- Микроклимат СССР/Под ред. И. А. Гольцберг.— Л.: Гидрометеоздат, 1967.— 286 с.
- Мильков Ф. Н. Природные зоны СССР.— М.: Мысль, 1977.— 294 с.
- Михайлов Н. И. Горы Южной Сибири.— М.: Гос. изд-во геогр. лит., 1961.— 239 с.
- Миценко З. А. Термический режим деятельной поверхности.— В кн.: Микроклимат СССР.— Л.: Гидрометеоздат, 1967, с. 77—114.
- Мороз П. И. Выборочные рубки в таежных лесах.— М.: Лесн. пром-сть, 1982.— 129 с.
- Мухенберг А. А. Альbedo подстилающей поверхности территории Советского Союза.— Тр. ТГО, 1963, вып. 139, с. 43—60.
- Мячкова Н. А. Климат СССР.— М.: Изд-во МГУ, 1983.— 192 с.



- Назимова Д. И. Лесорастительное районирование Западного Саяна.— Лесоведение, 1968, № 1, с. 3—17.
- Назимова Д. И. Горные темнохвойные леса Западного Саяна.— Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1975.— 118 с.
- Назимова Д. И., Молокова Н. И., Джансепитов К. К. Высотная поясность и климат в горах Южной Сибири.— Геогр. и природ. ресурсы, 1981, № 2, с. 68—78.
- Назимова Д. И., Смирнов М. П. О взаимосвязях лесной растительности и почв в горах.— В кн.: Вопросы лесоведения. Т. 1. Красноярск, 1970, с. 148—164.
- Назимова Д. И., Садовничая Е. А., Чебакова Н. М. Высотная поясность растительности и радиационные показатели климата в Западном Саяне.— Геогр. и природ. ресурсы, 1985, № 4, с. 53—58.
- Неронов В. М. Количественные методы в биогеографии.— В кн.: Итоги науки и техники. Библиография. М.: изд. ВИНТИ, 1980, вып. 22, с. 6—40.
- Погина Н. А. Почвы Забайкалья.— М.: Наука, 1964.— 312 с.
- Носин В. А. Почвы Тувы.— М.: Изд-во АН СССР, 1963.— 342 с.
- Одум Ю. Основы экологии.— М.: Мир, 1975.— 740 с.
- Огуреева Г. Н. Ботаническая география Алтая.— М.: Наука, 1980.— 188 с.
- Огуреева Г. Н. Структура высотной поясности растительности гор Южной Сибири.— Бюл. МОИП. Отд. биол., 1983, т. 88, вып. 1, с. 66—77.
- Онучин А. А., Борисов А. Н. Опыт таксации фитомассы сосновых древостоев.— Лесоведение, 1984, № 6, с. 66—71.
- Орлов А. Я. Темнохвойные леса Северного Кавказа.— М.: Изд-во АН СССР, 1951.— 254 с.
- Орлов А. Я., Кошельков С. П. Почвенная экология сосны.— М.: Наука, 1971.— 323 с.
- Остапенко Б. Ф. Лесоводственно-экологическая типология и ее классификационная система.— Харьков: Изд-во ХСХИ, 1978.— 70 с.
- Оуэн О. С. Охрана природных ресурсов/Пер. с англ.— М.: Колос, 1977.— 416 с.
- Павлов А. В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР.— Якутск: Кн. изд-во, 1975.— 302 с.
- Павлов А. В. Энергообмен в ландшафтной сфере Земли.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— 256 с.
- Петров Б. Ф. Почвы Алтайско-Саянской области.— Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, 1952, т. 35.— 245 с.
- Пешкова Г. А. Растительность Сибири. Прибайкалье и Забайкалье.— Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1985.— 144 с.
- Плешанов А. С. Насекомые-филлофаги лиственных: Автореф. докт. дис.— Красноярск, 1983.— 42 с.
- Побединский А. В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья.— М.: Наука, 1963.— 267 с.
- Поздняков Л. К. Лес на вечной мерзлоте.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— 96 с.
- Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии.— Красноярск, 1969.— 156 с.
- Поликарпов Н. П. Комплексные исследования в горных лесах Западного Саяна.— В кн.: Вопросы лесоведения. Т. 1. Красноярск, 1970, с. 26—79.
- Поликарпов Н. П. Горные кедровые леса и научные основы лесоводственных мероприятий в них.— Красноярск: Кн. изд-во, 1966.— 34 с.
- Поликарпов Н. П. Эколого-географические закономерности естественного лесовозобновления.— Лесн. хоз-во, 1978, № 3, с. 60—63.
- Поликарпов Н. П. Рубки главного пользования в горных лесах.— В кн.: Тезисы докладов краевой конференции «Улучшение эксплуатации горных лесов и пути повышения эффективности лесного хозяйства Средней Сибири». Красноярск, 1980, с. 91—107.
- Поликарпов Н. П., Назимова Д. И. Темнохвойные леса северной части Западного Саяна.— Тр. Ин-та леса и древесины СО АН СССР, 1963, с. 103—147.
- Поликарпов Н. П., Назимова Д. И. Использование эколого-географической основы в горном лесоводстве Южной Сибири.— В кн.: XXIII Междуна-

- родный географический конгресс. Биогеография и география почв. М., 1976, с. 40—43.
- Попов Л. В. Южнотаежные леса Средней Сибири.— Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1982.— 330 с.
- Предбайкалье и Забайкалье.— М.: Наука, 1965.— 492 с.
- Преображенский В. Г., Фадеева П. Ц., Мухина Л. И., Томилов Г. М. Типы местности и природное районирование Бурятской АССР.— М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 1—55.
- Протопопов В. В. Биоклимат темнохвойных горных лесов Южной Сибири.— М.: Наука, 1965.— 96 с.
- Протопопов В. В. Средообразующая роль темнохвойного леса.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— 328 с.
- Протопопов В. В., Зюбина В. И. Взаимосвязь климатических факторов среды с фитомассой насаждений и методика ее расчета.— В кн.: Экологическое влияние леса на среду. Красноярск, 1977, с. 3—15.
- Пузаченко Ю. Г. Применение информационно-логического анализа при изучении структуры и продуктивности фитоценоза.— В кн.: Материалы II Всесоюзного совещания «Применение количественных методов при изучении структуры растительности». Тарту: Изд-во Тартуск. ун-та, 1969, с. 257—260.
- Пузаченко Ю. Г. Изучение организации биогеоценотических систем: Автореф. докт. дис.— М., 1971.— 76 с.
- Пузаченко Ю. Г. Принципы информационного анализа.— В кн.: Статистические методы исследования геосистем. Владивосток, 1976, с. 5—37.
- Пузаченко Ю. Г., Мошкин А. В. Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях.— В кн.: Итоги науки и техники. Медицинская география. М.: изд. ВИНТИ, 1969, вып. 3, с. 5—65.
- Пузаченко Ю. Г., Скулкин В. С. Структура растительности лесной зоны СССР.— М.: Наука, 1981.— 276 с.
- Радиационный режим территории СССР/Баранкова Е. П., Гаевский В. Л., Дьяченко Л. Н. и др.— Л.: Гидрометеоиздат, 1961.— 528 с.
- Растительный покров СССР. Пояснительный текст к «Геоботанической карте СССР»/Под ред. Е. М. Лавренко, В. Б. Сочавы. Т. 1.— М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1956.— 460 с.
- Растительный покров Хакасии.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976.— 422 с.
- Растительные сообщества Тувы/Под ред. А. В. Куминой.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982.— 204 с.
- Раунер Ю. Л. Тепловой баланс растительного покрова.— Л.: Гидрометеоиздат, 1972.— 212 с.
- Раунер Ю. Л. Тепловой баланс и суммарное испарение облесенных территорий равнинной части СССР.— В кн.: Исследование генезиса климата. М.: изд. Ин-та геогр. АН СССР, 1974, с. 155—192.
- Реведакто В. В. Растительность Сибирского края.— Изв. ВГО, 1931, т. 63, вып. 1, с. 1—176.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Ангаро-Енисейский район. Т. 16, вып. 1.— Л.: Гидрометеоиздат, 1973.— 724 с.
- Риклефс Р. Основы общей экологии.— М.: Мир, 1979.— 424 с.
- Родин Л. Е., Базилович Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара.— М.— Л.: Наука, 1965.— 253 с.
- Родионов Б. С. О внутривидовой дифференциации растительности северного макросклона центральной части Заилийского Алатау.— Ботан. журн., 1975, вып. 61, № 2, с. 200—210.
- Романова Е. Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977.— 280 с.
- Росс Ю. К. К математической теории фотосинтеза растительного покрова.— Докл. АН СССР, 1964, т. 157, № 5, с. 1239—1242.
- Росс Ю., Бихеле З. Расчет фотосинтеза растительного покрова.— В кн.: Фотосинтетическая продуктивность растительного покрова.— Тарту, 1968, ч. I, с. 46—74; 1969, ч. II, с. 5—43.
- Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям.— Л.: Гидрометеоиздат, 1957.— 124 с.

Руководство по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса.— Л.: Гидрометеоздат, 1964.— 130 с.

Рябчиков А. М. Гидротермические условия и продуктивность фитомассы в основных ландшафтных зонах.— Вестн. МГУ. Сер. геогр., 1968, № 5, с. 41—49.

Рябчиков А. М. Структура и динамика геосферы.— М.: Мысль, 1972.— 224 с.

Садовничая Е. А. Определение некоторых характеристик радиационного режима в Западном Саяне.— В кн.: Стационарные лесоводственные исследования в Сибири. Красноярск, 1978, с. 33—52.

Садовничая Е. А. Радиационный режим горных лесов Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985.— 126 с.

Садовничая Е. А., Чебакова Н. М. Радиационные факторы высотной зональности Западного Саяна.— В кн.: Стационарные лесоводственные исследования в Сибири. Красноярск, 1978, с. 6—19.

Саложникова С. А. Особенности термического режима Горного Алтая.— Тр. НИИАК, вып. 33, 1965, с. 97—123.

Семечкин И. В. Стрение разновозрастных кедровых насаждений и особенности таксации их.— В кн.: Материалы по изучению лесов Сибири и Дальнего Востока. Красноярск, 1963, с. 217—224.

Сивков С. И. Методы расчета характеристик солнечной радиации.— Л.: Гидрометеоздат, 1968.— 232 с.

Скорупский Б. В., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Связь основных среднезональных характеристик климата и растительности.— Экология, 1982, № 2, с. 35—44.

Скулкин В. С. Проверка возможностей прогноза состава растительности на основе анализа общих закономерностей связи ее компонентов со средой.— В кн.: Статистические методы исследования геосистем. Владивосток, 1976, с. 123—137.

Смагин В. Н., Поликарпов Н. П., Назимова Д. И. и др. Лесохозяйственные районы и типы леса зоны БАМ.— Красноярск, 1976.— 63 с.

Смирнов А. В. Естественное возобновление кедрового сибирского в Прибайкалье: Автореф. канд. дис.— М., 1953.— 26 с.

Смирнов А. В. Леса Иркутской области.— В кн.: Леса СССР. Т. 4. М.: Наука, 1969, с. 350—388.

Смирнов М. П. Почвы Западного Саяна.— М.: Наука, 1970.— 236 с.

Соболев Л. Н. Зависимость продуктивности растений, сообществ и их географических систем от факторов среды (три уровня исследований продуктивности).— В кн.: Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969, с. 70—74.

Сорочкин В. М. О применении информационно-логического анализа в почвенных исследованиях.— Почвоведение, 1977, № 9, с. 131—139.

Сочава В. Б., Тимофеев Д. А. Физико-географические области Азии.— Докл. Ин-та геогр. Сибири и Дальнего Востока, 1968, вып. 19, с. 3—19.

Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978.— 316 с.

Сочава В. Б. Географические аспекты сибирской тайги.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— 255 с.

Спектор И. Р. О путях исследования геосистем.— В кн.: Теоретическая география. М.: Мысль, 1974, с. 88—96.

Справочник по климату СССР. Ч. I—IV, вып. 21, 22.— Л.: Гидрометеоздат, 1966—1970.

Спурр С. Г., Барнес Б. В. Лесная экология.— М.: Лесн. пром-сть, 1984.— 478 с.

Средняя Сибирь.— М.: Наука, 1964.— 478 с.

Средообразующая роль лесов бассейна озера Байкал/Лебедев А. В., Горбатенко В. М., Краснощеклов Ю. Н. и др.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979.— 256 с.

Станюкович К. В. Растительность гор СССР.— Душанбе: Дониш, 1973.— 310 с.

Степанов Г. М. Лесовозобновление на гарях в северной тайге Якутии: Автореф. канд. дис.— Красноярск, 1985.— 17 с.

Судачкова Н. Е., Расторгуева Е. Я., Коловский Р. А. Физиология подрастающего кедр.— М.: Наука, 1967.— 123 с.

Сукачев В. Н. Основные понятия лесной биогеоценологии.— В кн.: Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964, с. 5—49.

Сукачев В. Н., Попова Т. И. Ботанические исследования северного побережья Байкала в 1914 г.— Изв. импер. Акад. наук. Сер. VI. Спб. 1914, т. 8, № 7, с. 1309—1328.

Тайга в глобальной экосистеме Земли/Отв. ред. Ю. П. Михайлов.— Иркутск: Изд-во «Вост.-Сиб. правда», 1978.— 112 с.

Таргульян В. О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях.— М.: Наука, 1971.— 266 с.

Тахтаджян А. Л. Флористические области земли.— Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1978.— 247 с.

Типы лесов гор Южной Сибири/Смагин В. Н., Ильинская С. А., Назимова Д. И. и др.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— 336 с.

Трофимов С. С., Таранов С. А. Горно-таежные глубоководные непромерзающие почвы Горной Шории.— В кн.: Лес и почва. Красноярск: Кн. изд-во, 1968, с. 107—121.

Тепловой баланс Земли/Под ред. М. И. Будыко.— Л.: Гидрометеоздат, 1978.— 41 с.

Тюлина Л. Н. Влажный прибайкальский тип поясности растительности.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976.— 318 с.

Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы.— М.: Прогресс, 1980.— 327 с.

Уткин А. И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты).— В кн.: Лесоведение и лесоводство. Т. 1. М.: изд. ВИНТИ, 1975, с. 11—189.

Формирование эталонных насаждений.— Тез. докл. Всесоюз. конф. по формированию максимально продуктивных эталонных насаждений, 19—22 июня 1979 г.— Каунас — Гирюнис, 1979.— 208 с.

Флоров Р. И. Опыт определения скорости возникновения энтропии в листовой системе лесных древесных растений.— Физиология растений, 1966, т. 13, вып. 4, с. 688—694.

Флоров Р. И. Опыт определения потенциальной продуктивности естественных лесных местообитаний на основе диссипации энергии.— Докл. АН СССР, 1968а, т. 179, с. 736—738.

Флоров Р. И. Опыт определения скорости возникновения энтропии в листовой системе растений на основе закона диссипации энергии.— Докл. АН СССР, 1968б, т. 178, вып. 1, с. 241—243.

Флоров Р. И. Гидротермический режим и продуктивность лесов естественного происхождения.— Лесоведение, 1975, № 3, с. 21—28.

Фуряев В. В. Шелкопрядники тайги и их выжигание.— М.: Наука, 1966.— 92 с.

Хильми Г. Ф. Основы физики биосферы.— Л.: Гидрометеоздат, 1966.— 300 с.

Хильми Г. Ф. Энергетика и продуктивность растительного покрова суши.— Л.: Гидрометеоздат, 1976.— 62 с.

Хохрин А. В. Влияние эдафических условий на рост культур кедров на Урале.— В кн.: Воспроизводство кедровых лесов на Урале и в Западной Сибири. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1984, с. 63—72.

Чебакова Н. М. Определение потенциальной продуктивности горных лесов Западного Саяна на основе климатических показателей.— В кн.: Формирование и продуктивность древостоев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981, с. 6—18.

Чебакова Н. М. Энтропийная оценка коэффициента полезного действия брутто-фотосинтеза темнохвойных лесов Западного Саяна с целью прогноза их потенциальной продуктивности.— В кн.: Формирование и продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск: изд. ИЛД СО АН СССР, 1982, с. 146—154.

Чередникова Ю. С. Леса Восточного Саяна.— В кн.: Леса СССР. Т. 4. М.: Наука, 1969, с. 308—317.

Черепнин В. Л. Зависимость продуктивности растительности от климатических факторов.— Ботан. журн., 1968, вып. 53, № 57, с. 881—890.

Черепнин В. Л., Литвиненко В. И., Марьясова Л. А. Связь прироста с климатическими факторами.— В кн.: Исследования биологических ресурсов средней тайги Сибири. Красноярск, 1973. с. 21—25.

Черепнин Л. М. Флора и растительность южной части Красноярского края: Автореф. докт. дис.— Красноярск, 1953.— 30 с.

Чуенков В. С. Определение потенциальной продуктивности лесов.— В кн.: Повышение продуктивности лесов лесоводственными приемами. М.: 1977, с. 25—33.

Шейнгауз А. С. Многоцелевое использование: опыт разработки системы понятий.— Геогр. и природ. ресурсы, 1984, № 2, с. 11—19.

Шихлинский Э. М. Радиационный и тепловой балансы.— В кн.: Климат Азербайджана. Баку: изд. АН АзССР, 1968, с. 7—43.

Шинюкин С. А. Исследование связей между метеорологическими и радиационными характеристиками климата вегетационного периода.— Сб. науч. тр. Белорус. с.-х. акад., 1979, № 5, с. 62—70.

Шумилова Л. В. Ботаническая география Сибири.— Томск: Изд-во Том. ун-та, 1962.— 440 с.

Эколого-фитоценоотические комплексы Азиатской России/Под ред. В. Б. Соцавы.— Иркутск, 1977.— 70 с.

Юнатов А. А. Основные черты растительного покрова Монгольской Народной Республики.— Тр. Монгольской комис., М., 1950, вып. 39, с. 1—223.

Юрцев Б. А. Степные сообщества Чукотской гундры и проблема плейстоценовой «тундростепи».— В кн.: Проблемы изучения четвертичного периода. М.: Наука, 1972, с. 471—479.

Юрцев Б. А. Флоры и наземные экосистемы.— В кн.: Современные проблемы географии наземных экосистем: Тез. Всесоюз. совещ. М.: изд. ИГ АН СССР, 1984, с. 33—35.

Abd El-Salam E. M. The relation between solar radiation and hours of bright sunshine for the middle-east region.— Rev. int. heliotec., 1979, 1 sem., p. 27—32.

Chavez A. Estimation of global solar radiation in short term periods.— Arch. Meteorol. Geophys. and Bioclimatol., 1979, v. 27, N 4, p. 335—347.

Christie J. M., Lines R. A comparison of forest productivity in Britain and Europe in relation to climatic factors.— Forest Ecol. and Manag., 1979, v. 2, N 2, p. 75—102.

Ciancio O. Climate and altitudinal distribution of forest vegetation in Calabria.— Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Arezzo, 1971, N 2, p. 321—372.

El-Sablan A. F. On the estimation of global radiation from sunshine duration in Egypt.— Meteorol. Res. Bull., 1976, v. 8, N 1, p. 46—47.

Flocas A. A. Estimation and prediction of global solar radiation over Greece.— Solar Energy, 1980, v. 24, N 1, p. 63—70.

Ford E. D., Fraser A. I. The concept of actual and potential production as an aid to forest management.— Forestry, 1968, v. 41, N 2, p. 175—181.

Galoux A. Ecosystem, open thermodynamics system. The oak forest of Virelles.— Blainot.— Gotting. Bodenk. Ber., 1974, N 30, p. 131—149.

Иäger H. Die forstliche Produktion in Wechselbeziehung zu den atmosphärischen Standortsfaktoren.— Allg. Forstzeitung, 1975, v. 86, N 11, S. 327—338.

Hartmann F. K. Ergebnisse klimatisch-ökologischer Untersuchungen an Waldgesellschaften in deutschen Mittelgebirgen.— Allg. Forst. u. Jagdztg., 1972, N 143 (2), S. 21—34.

Lauer W. The altitudinal belts of the vegetation in the central Mexican highlands and their climatic conditions.— Arctic and Alpine Research, 1973, N 5, (pt 2), p. 99—114.

Lehringer S. Neuartige Waldschäden in europäischen Ländern.— Allg. Forstzeitschrift, 1984.— Jg. 39, H. 3, S. 35—36.

Leone V., Vita F. Applicazione dell'indice di Paterson nella valutazione delle potenzialità di produzione legnosa della Puglia.— Celluloza e Carta, 1978, N 29 (10), p. 3—14.

Machado S., Do A. Produtividade de florestas tropicais.— Floresta, 1977, N 8, (2), p. 47—53.

Manogaran C. Climatic limitations of potential for tree growth in Southern forests.— Forestry Abstracts, 1974, v. 35, N 6625.

Matejka V. Climat de la Tunisie par rapport à la productivité potentielle des forêts.— Silv. trop. subtrop., 1969, N 1, p. 11—18.

Moosmayer H.—U., Schöpfer W. Beziehungen zwischen Standortsfaktoren und Wuchsleistung der Fichte.— Allg. Forst. u. Jagdztg., 1972, N 143(10), S. 203—215.

Obado O. Altitudes, temperature and rainfall of Kenya forests.— Technical Note, Kenya forest Department, 1969, v. 118,— 18 p.

Paterson S. S. The Forest Area of the World and its potential productivity.— Proc. of Univ., Goteborg, 1956.— 130 p.

Roussel L. Entropie, silviculture et ecologie.— Rev. Forêt Franc., 1974, N 26(2), p. 130—134.

Shrivastava M., Ulrich B. Quantitative assesment of forest site productivity.— Indian Forester, 1978, N 104(2), p. 79—89.

Sinh S. Climatic correlation with vegetation and soils of Uttar Pradesh.— Indian Forester, 1973, N 99(9), p. 551—563.

Tivi J. Biogeography. A study of plants in the ecosphere. Edinburgh., 1971, p. 54—60, 170—177.

Tuhkanen S. Climatic parameters and indices in plant Geography.— Acta Phytogeogr. Swecica, v. 67. Uppsala, 1980.— 110 p.

Tuhkanen S. A circumboreal system of climatic — phytogeographical regions.— Acta botanica Fennica, v. 127. Helsinki, 1984.— 50 p.

Week J. An improved CVP — index for delimitation of potential productivity zones of forest lands of India.— Indian Forester, 1970, N 96, (8), p. 565—572.

Yim Y. J. Distribution of forest vegetation and climate in Korean Peninsula. III. Distribution of tree species along the thermal gradient.— Jap. J. Ecol., 1977, v. 27, N 3, p. 48—51.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Основные обозначения . . . . .	6
<b>Глава 1. Общая характеристика горных лесов . . . . .</b>	<b>8</b>
1.1. Общие сведения . . . . .	8
1.2. Геология, орография, рельеф . . . . .	12
1.3. Схема лесорастительного районирования и климатические фации горных лесов . . . . .	16
1.4. Высотная поясность растительности и почв. Основные классы высотно-поясных комплексов. . . . .	33
<b>Глава 2. Особенности климата в горном рельефе . . . . .</b>	<b>43</b>
2.1. Методика расчета гидротермических и радиационных показателей климата . . . . .	44
2.2. Климат гор Южной Сибири. . . . .	63
2.3. Высотная климатическая поясность . . . . .	65
2.4. Климатическая характеристика склонов . . . . .	79
<b>Глава 3. Анализ связи растительности и климата . . . . .</b>	<b>90</b>
3.1. Климатическая ординация широтных зон и высотных поясов растительности . . . . .	90
3.2. Экологические факторы размещения основных лесобразующих пород . . . . .	98
3.3. Экологические особенности и взаимоотношения основных лесобразующих пород . . . . .	127
3.4. Закономерности лесообразовательного процесса в горах . . . . .	145
3.5. Прогноз состава горных лесов на основе климатических показателей . . . . .	150
<b>Глава 4. Продуктивность горных лесов . . . . .</b>	<b>153</b>
4.1. Продуктивность зональных типов растительности . . . . .	153
4.2. Факторы продуктивности . . . . .	155
4.3. Природозащитная роль горных лесов . . . . .	184
<b>Глава 5. Высотно-поясные системы мероприятий по повышению комплексной продуктивности горных лесов . . . . .</b>	<b>194</b>
5.1. Пути организации и ведения многоцелевого хозяйства . . . . .	194
5.2. Высотно-поясные системы лесного хозяйства . . . . .	197
5.3. Принципы и приемы формирования целевых лесов . . . . .	199
5.4. Природозащитные мероприятия . . . . .	203
5.5. Совершенствование лесопользования и лесовосстановления . . . . .	206
Заключение . . . . .	240
Список названий растений . . . . .	243
Литература . . . . .	245