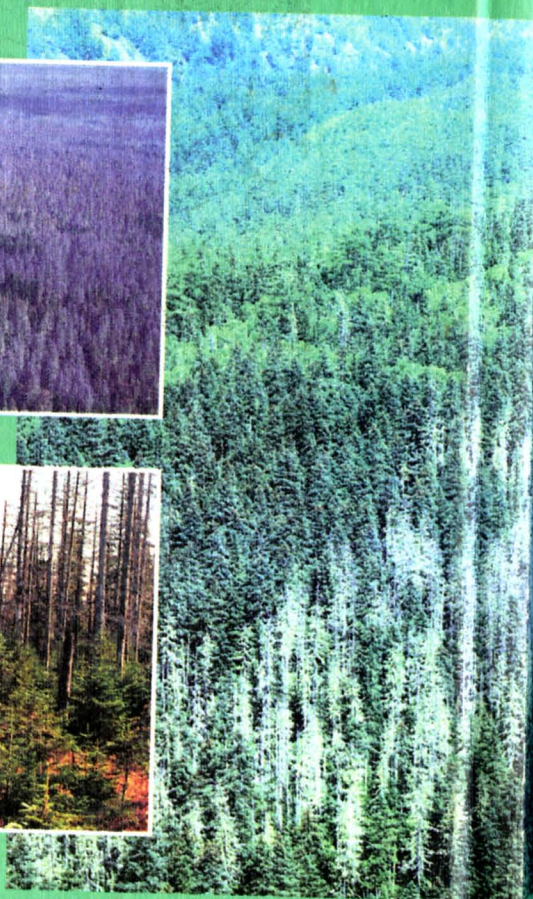
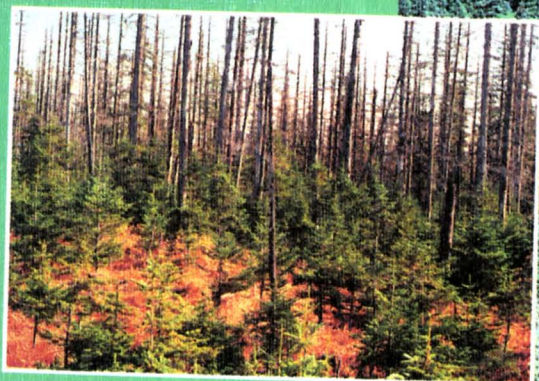
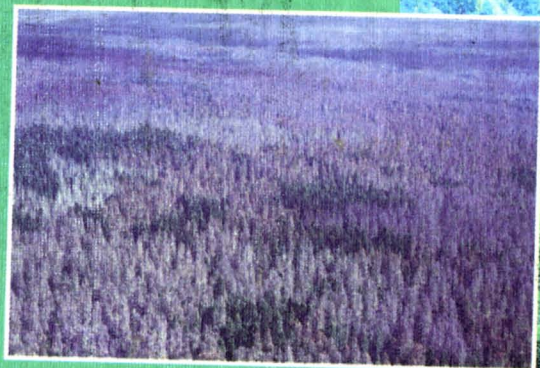


Ю.И. Манько
Г.А. Гладкова

УСЫХАНИЕ ЕЛИ В СВЕТЕ ГЛОБАЛЬНОГО УХУДШЕНИЯ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ



Владивосток
Дальнаука

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
FAR EASTERN BRANCH

Institute of Biology and Soil Science

Yu.I. Man'ko, G.A. Gladkova

**SPRUCE DECLINE
IN THE LIGHT OF GLOBAL DETERIORATION
OF DARK-CONIFEROUS FORESTS**



Vladivostok
Dalnauka
2001

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Биолого-почвенный институт

Ю.И. Манько, Г.А. Гладкова

**УСЫХАНИЕ ЕЛИ
В СВЕТЕ ГЛОБАЛЬНОГО УХУДШЕНИЯ
ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ**



Владивосток
Дальнаука
2001

Манько Ю.И., Гладкова Г.А. Усыхание ели в свете глобального ухудшения темнохвойных лесов. Владивосток: Дальнаука, 2001. 228 с.+0,25 п. л. цв. вкл. ISBN 5-8044-0088-6.

В книге рассмотрено усыхание лесов из ели на российском Дальнем Востоке, в Европе и Северной Америке. Охарактеризованы основные черты экологии и биологии главных лесообразователей и особенности природных условий. Подведены главные итоги мониторинга усыхания пихтово-еловых лесов на российском Дальнем Востоке. Описано состояние древостоев, естественного лесовозобновления и нижних ярусов растительности, приведена подробная характеристика почв, критически рассмотрены точки зрения о причинах массового усыхания, сделаны предложения по ведению хозяйства в пихтово-еловых лесах региона.

Книга предназначена для лесоведов, почвоведов, экологов, специалистов лесного хозяйства и охраны природы.

Ил. 30, табл. 31, библи. 609 назв.

Man'ko Yu.I., Gladkova G.A. Spruce decline in the light of global deterioration of dark-coniferous forests. Vladivostok: Dalnauka, 2001. 228 p.+0,25 quire of colour inserts. ISBN 5-8044-0088-6.

The decline of forests of spruce in the Russian Far East, Europe and North America is considered in the book. The main features of ecology and biology of principle forest-forming species and the peculiarities of nature conditions are characterized. The key results of fir-spruce forest monitoring in the Russian Far East are summarized. Natural forest regeneration, condition of stands and lower vegetative layers is described, detail soil characteristic is given. Different opinions of large-scale forest decline reasons are critically viewed and proposals of fir-spruce forest management in the region are made.

The book is destined for forest and soil scientists, ecologists and forest management and nature protection specialists.

Ил. 30, tabl. 31, bibl. 609.

Ответственный редактор д-р биол. наук Т.А. Комарова

Рецензенты: канд. с.-х.н. Б.С. Петропавловский, канд. с.-х.н. А.С. Жильцов

Утверждено к печати Ученым советом Биолого-почвенного института ДВО РАН

Издание осуществлено при финансовой поддержке Приморского управления лесами и ОАО «Приморсклеспром».

The publication is realized by financial support of Primorye Forest Management Department and Open Stock Company «Primorsklesprom».

ВВЕДЕНИЕ

В последние два десятилетия среди экологических проблем, которые вызывали обеспокоенность мировой общественности, заметное место занимает ухудшение состояния лесов в северном полушарии, в ряде случаев сопровождающееся их усыханием на значительной площади. Этот негативный процесс отмечен в большинстве стран Западной и Восточной Европы, в России, а также в Северной Америке; во многих случаях, особенно в Западной Европе, его связывают с последствиями техногенного загрязнения окружающей среды.

В числе древесных видов, являющихся своеобразными индикаторами региональной деградации лесов, в первую очередь следует назвать темнохвойные породы, а среди них ель европейскую (*Picea abies* (L.) Karst.) и пихту белую (*Abies alba* Mill.). Для них и других видов установлены стадии деградации, отражающие существенное крупномасштабное ухудшение их санитарного состояния и жизнедеятельности, вызванное комбинацией физико-химических, биологических и фитоценологических факторов.

Большинство государств, на территории которых происходит деградация и усыхание лесов, развернули исследования этого явления; налажено международное сотрудничество по мониторингу за лесными экосистемами. Например, в бывшей Западной Германии и ряде других стран все леса охвачены мониторингом; в Германии под наблюдением находится более 200 тыс. деревьев. В Австрии осуществляется система мониторинга не только лесов, но и лесных почв; она включает в себя 511 пробных площадей, расположенных по решетке 8,7 x 8,7 км (Mutch, 1998).

Проблеме деградации лесов посвящено огромное число публикаций: Г. Шмидт-Фогт (Schmidt-Vogt, 1989), крупнейший специалист по темнохвойным лесам, в библиографии, посвященной отмиранию ели, приводит 2036 источников, содержащих описание процесса, его симптомов, причин, механизмов воздействия стрессовых факторов, динамических тенденций поведения лесных экосистем под влиянием стрессов в зависимости от их происхождения, возраста и других показателей. За прошедшее десятилетие поток публикаций по деградации и усыханию лесов несколько сократился, но эта проблема по-прежнему привлекает внимание ученых.

По поводу причин деградации лесов выдвинуто более 170 рабочих гипотез (Rehfuess, 1991), но ни одна из них не получила всеобщего признания. Это свидетельствует о сложности явления, получившего название в немецкоязычной литературе «Waldsterben» и «neuartige Waldschäden», а в англоязычной — «Forest decline», «Regional declines of forests». Под региональной деградацией лесов понимают существенное крупномасштабное ухудшение

их состояния и жизнедеятельности с видимыми признаками повреждений, вызванное комбинацией различных физико-химических и биологических факторов в сочетании с фитоценоотическими (Cowling, 1986). Этот процесс имеет динамический характер и не обязательно сопровождается гибелью лесов.

По мнению некоторых авторов (Duinker, 1987), ухудшение состояния лесов и их усыхание происходят по всему миру и обусловлены не только частными региональными причинами, связанными с естественными и антропогенными воздействиями, но и глобальными изменениями в биосфере. С этой точки зрения деградация лесов может рассматриваться как тревожный симптом изменения биосферы в неблагоприятную для человечества сторону.

Проблема усыхания пихтово-еловых лесов, образуемых елью аянской (*Picea jezoensis* (Sieb. et Zucc.) Carr.) (= *P. ajanensis*) и пихтой белокорой (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.), весьма актуальна для Дальнего Востока России. Здесь естественное усыхание лесов происходило неоднократно и охватывало обширные площади. По данным Л.В. Любарского и К.П. Соловьева (1969), общая площадь усохших пихтово-еловых лесов в Хабаровском и Приморском краях к концу 1960-х годов составляла 5,5 млн га с запасом отмершей древесины, превышающим 360 млн м³.

В 1970–1980 гг. отмечена новая волна усыхания пихтово-еловых лесов на Сихотэ-Алине (бассейны рек Хор, Анюй, Самарга, Единка, Бикин, Кабанья, Большая Пея и др.). Только в 7 лесхозах Приморского края, согласно материалам аэролесопатологического обследования 1987–1988 гг. (Майорова, 1994), площадь усохших темнохвойных лесов была равна 165 тыс. га, а запас отмершей древесины превышал 14 млн м³.

Усыхание пихтово-еловых лесов сопровождается большим хозяйственным ущербом из-за потери древесины и негативными экологическими последствиями (возрастание пожарной опасности, резкое ухудшение санитарной обстановки, нарушение темпов круговорота веществ, изменение гидрологического режима территории и условий жизни для многих видов животных и т.д.). Все это вызывает необходимость организации мониторинга за состоянием темнохвойных лесов с целью своевременного принятия хозяйственных решений, предотвращающих или снижающих ущерб от усыхания. Переход России к устойчивому управлению лесами предусматривает в качестве одного из критериев «поддержание приемлемого санитарного состояния и жизнеспособности лесов» (Критерии и индикаторы..., 1996), что невозможно без познания причин и масштабов усыхания пихтово-еловых лесов в Дальневосточном регионе.

Усыхание лесов – это своеобразный грандиозный эксперимент, который периодически ставит сама природа, со сложными причинно-следственными связями естественного и антропогенного происхождения. Обобщение материалов, освещающих усыхание темнохвойных лесов в различных регионах, выявление всех факторов, причастных к усыханию, и получение новых данных по этой проблеме специалистами различного профиля следует рассматривать как крайне необходимый этап в познании этого феномена.

С учетом масштабов ухудшения состояния темнохвойных лесов, проявляющегося во всей бореальной зоне, эта проблема приобретает общебиологическое значение, связанное как с устойчивостью природных экосистем к меняющимся параметрам среды, в том числе и под влиянием человеческого общества, так и с выяснением причин этого феномена и разработкой подходов к его прогнозированию.

Изучение массового усыхания пихтово-еловых лесов на российском Дальнем Востоке обусловлено не только региональным интересом. В сравнении с западноевропейскими лесами, среди которых господствуют искусственные и хозяйственные насаждения, дальневосточные темнохвойные леса естественного происхождения, значительная доля которых относится к девственным, отличающимся разновозрастностью и мозаично-циклическим типом возрастной динамики (Манько, 1987). Кроме того, первые достоверные сведения об их естественном усыхании относятся к 1920-м годам (Овсянников, 1925), т.е. к тому времени, когда о загрязнении окружающей среды в заметных масштабах в регионе не могло быть и речи и, естественно, этот комплекс факторов не был в числе причин деградации древостоев.

Накопленные к настоящему времени обширные материалы по усыханию темнохвойных лесов в различных регионах мира, в свою очередь, возможно, позволят подойти к оценке усыхания пихтово-еловых лесов на Дальнем Востоке с учетом мирового опыта.

Изучение последнего по времени широкомасштабного усыхания пихтово-еловых лесов в Приморском крае сотрудники лаборатории лесоведения Биолого-почвенного института ДВО РАН начали в 1988 г. по предложению руководства Приморсклеспрома, обеспокоенного потерей сырьевой базы в северных районах края; оно носило маршрутно-детальный характер. Затем эти исследования получили финансовую поддержку со стороны Госкомлеса СССР (д-р с.-х. наук В.И. Сухих), Приморского краевого комитета охраны окружающей среды и природных ресурсов (А.Д. Медведев, М.Н. Бибилов, К.М. Кученко), Приморского управления лесами (А.И. Приходько, А.Т. Попов), руководства совместного российско-корейского предприятия «Светлая» (А.И. Головинов), что позволило приступить к организации мониторинга усыхания. Большую помощь в проведении работ оказала Приморская авиабаза (Н.И. Фролов, В.А. Федотов, В.Н. Трофимов, В.Я. Погребняк), благодаря которой осуществлялось периодическое авиаобследование очагов усыхания, а также Светлинский лесхоз (В.И. Солодун). Все это позволило на протяжении более 10 лет вести наблюдения за усыханием пихтово-еловых лесов преимущественно в северных районах края, где этот процесс проявляется на обширной территории и характеризуется высокой интенсивностью.

В организации и проведении работ участвовали сотрудники лаборатории лесоведения А.Н. Сидельников, С.А. Андреев, Г.Н. Бутовец, С.А. Захаров, В.А. Шафрановский, А.П. Левус, а также Н.Н. Бутовец, В.В. Михайлов и студенты Приморской государственной сельскохозяйственной академии Игонин и Птицын.

Авторы получали консультации по вопросам почвенных исследований от д-ра биол. наук А.П. Сапожникова, по грибным заболеваниям древесных пород от д-ра биол. наук, проф. З.М. Азбукиной, д-р биол. наук Лар. Н. Васильевой, д-ра биол. наук Л.Н. Егоровой, канд. биол. наук Е.М. Булах; в определении высших сосудистых растений нам помог д-р биол. наук А.Е. Кожевников, а мхов — канд. биол. наук В.Я. Черданцева. Сотрудники Геологического института ДВО РАН — В.Ф. Занина, В.Ф. Бакилина, Т.К. Бабова, Л.И. Азарова — оказывали содействие в выполнении аналитических работ, связанных с изучением почв и растений, а д-р геол.-минерал. наук В.Г. Сахно помог в определении минералов и горных пород. Авторы благодарят всех перечисленных коллег за бескорыстную помощь.

Авторы также выражают сердечную благодарность за плодотворные научные контакты и за техническую и финансовую помощь в проведении исследований сотруднику Японского технологического центра дистанционных исследований (г. Токио) Норихизе Камибаяси и признательны Карелу Гроссу (Фрейбургский университет, Германия) за присылку литературы.

Материалы работ частично опубликованы в периодической печати (Манько, 1990; Манько, Азбукина, 1992; Манько, Гладкова, 1993, 1995, 1999; Манько, Гладкова, Бутовец, 1992; Man'ko, Gladkova, Butovets, 1992; Гладкова, 1997, 1999; Гладкова, Бутовец, 1996; Гладкова и др., 1993, 1997; Гладкова, Манько, 2000; Kamibayshi et al., 1994; Man'ko, Gladkova, 1994 a,b; Манько и др., 1998, 1999). В настоящем издании они представлены в наиболее полном виде.

Глава 1

УСЫХАНИЕ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ В ЕВРОПЕ И В СЕВЕРНОЙ АМЕРИКЕ

1.1. Западная и Восточная Европа

С начала 1980-х годов во многих странах Западной Европы внимание лесных специалистов, экологов и общественности было обращено на широкомасштабное ухудшение состояния лесов, которое во многих случаях сопровождалось отмиранием древостоев. В первом ряду древесных пород, подверженных региональной деградации, находились ель европейская и пихта белая.

Ель европейская является главным лесообразователем темнохвойных лесов на Европейском континенте. Этот вид разные авторы принимают в разном объеме; наиболее широко понимает *Picea abies* (L.) Karst. Г. Шмидт-Фогт (Schmidt-Vogt, 1977), включая в состав этого вида в ранге климатической расы и географической вариации ель сибирскую (*Picea obovata* Ledeb.); на приводимой им карте ель европейская распространена от Атлантического океана до Тихого. Более узко понимают этот вид Е.Г. Бобров (1971), Л.Ф. Правдин (1975), П.А. Шмидт (Schmidt, 1989) и многие другие авторы, ограничивая естественное распространение его европейской частью (рис. 1).

Леса из ели европейской в Западной Европе в основном представлены хозяйственными и искусственными насаждениями; естественные и девственные леса там занимают крайне незначительную площадь (Leibundgut, 1982; Schmidt-Vogt, 1991); такие леса сохранились лишь на территории России. Наиболее широко темнохвойные леса представлены на Русской равнине, где они произрастают не только по речным долинам, но и являются характерной лесной формацией для плакоров (Сочава, 1956). Распространены они также в Карпатах, где образуют пояс растительности на высотах от 600 м и до верхней границы леса (Тышкевич, 1962).

Ель европейская относится к влаголюбивым видам (гигромезофит), болезненно реагирующим на недостаток почвенного увлажнения (Турский, 1902; Тимофеев, 1939; Нестерович и др., 1986; Абражко, 1988а, 1994 и др.; Gross, Pham-Nguyen, 1987; Schmidt-Vogt, 1977; и др.). Будучи весьма зимостойкой древесной породой она отличается умеренной потребностью в тепле; для районов ее распространения характерен положительный баланс влаги.

Климатические параметры в зоне распространения ее в европейской части России отличаются в зависимости от зональных условий (Чертовский,

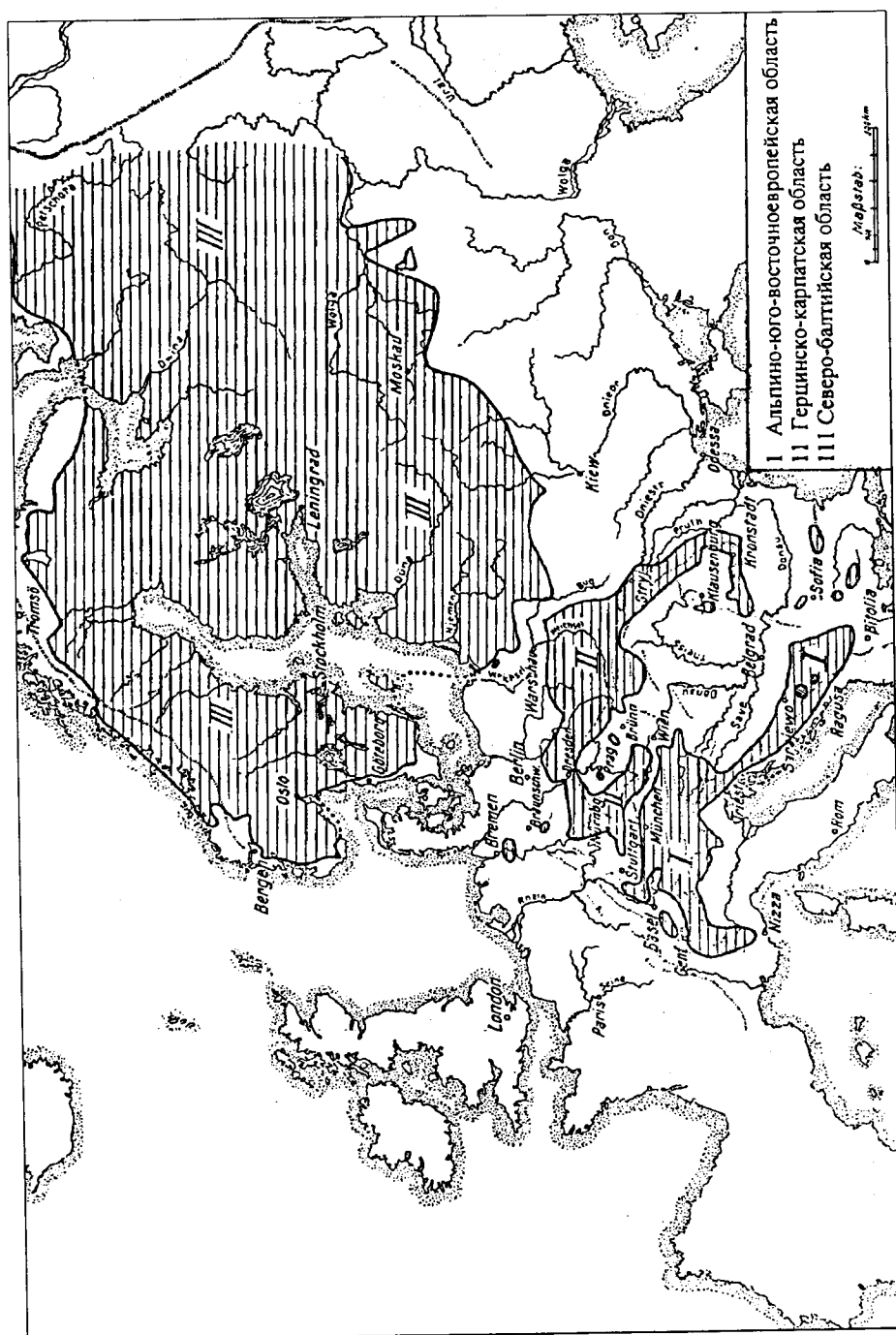


Рис. 1. Область распространения *Picea abies* (L.) Karst. (по: Rubner, 1953)

1978): в предтундровой подзоне вегетационный период длится в среднем 110 дней, осадков выпадает около 440 мм в год, средняя температура июля $12,5^{\circ}\text{C}$; в северо-таежной подзоне длина вегетационного периода — 130 дней, среднегодовое количество осадков составляет около 500 мм, средняя температура июля — $15,0^{\circ}\text{C}$; в среднетаежной подзоне средняя продолжительность вегетационного периода — 145 дней, осадков выпадает около 580 мм, средняя температура июля — $16,3^{\circ}\text{C}$; в южно-таежной подзоне вегетационный период длится до 164 дней, осадков выпадает несколько больше 560 мм, средняя температура июля — $17,1^{\circ}\text{C}$. Во всех подзонах среднегодовая относительная влажность воздуха в 13 ч не опускается ниже 70%. В целом для зоны тайги характерны поздние весенние заморозки, которые на открытых местах в средней подзоне отмечаются ежегодно в июне, а в отдельные годы — и в июле. Почвы промерзают ежегодно, но глубина промерзания и скорость освобождения почв от мерзлоты зависят от погодных условий и типа леса; в отдельные годы создается ситуация, когда активные ростовые процессы в надземной части происходят при неполно функционирующей корневой системе, частично находящейся в мерзлоте (Чертовский, 1978).

Южные пределы распространения ели определяются прежде всего режимом увлажнения. Например, юго-западные границы ели в Европе совпадают с горной системой, формирующей естественный барьер засухе; отсутствие ели на ряде территорий не является следствием теплых зим, как считал известный лесовод Денглер, а обусловлено конкуренцией со стороны пихты белой и бука (Vogel-Daniels, 1968). Южная граница сплошного распространения ели в Белоруссии, по мнению И.Д. Юркевича и В.С. Гельтмана (1967), обусловлена высокой теплообеспеченностью в сочетании с большим дефицитом влажности воздуха в мае-июне (сумма температур за вегетационный период более 2500°C , дефицит влажности 6,7–7,0 мб).

Оптимальные показатели климата (физиологический оптимум) для ели европейской приняты при таких параметрах: среднегодовая температура воздуха колеблется от $7,5$ до $8,6^{\circ}\text{C}$, осадки за вегетационный период составляют 403–785 мм, число дней с температурой 10°C равно 137–172, индекс аридности — 46–63, фактор осадков — 106–137 (Schmidt-Vogt, 1977).

Ухудшение состояния лесов в Западной Европе отражено в многочисленных публикациях, включая специальные тематические выпуски журналов (например, несколько номеров «Forstwissenschaftliches Centralblatt»), а также в ведомственных материалах (например, Walderkrankung..., 1983). К сожалению, в обзорных обобщающих работах (Schütt et al., 1984; Schmidt-Vogt, 1989; и многих других) крайне ограничены сведения об усыхании темнохвойных лесов из ели европейской в России, что не позволяет представить полную картину этого явления.

Усыхание еловых лесов в европейской части России происходило неоднократно, и оно достоверно установлено с конца XIX в. (Маслов, 1972). Массовое усыхание лесов происходит и в настоящее время (Ковалев, 1997; Федоров и др., 1998; Киселев, Киселева, 1999). В числе причин этого явления в первую очередь называется засуха (Турский, 1902; Тимофеев, 1939, 1944; Ткаченко, 1948; Трофимов, 1949; Юркевич, Смоляк, 1957; Полуяхтов,

1971; Яруткин, 1972; Пояркова, 1983; Абражко, 1988 а, 1994 и др.; Федоров и др., 1998), насекомые (Воронцов, 1958; Катаев, 1977), размножение которых, возможно, связано с солнечной активностью, переувлажнение почвы (Абражко, 1988б), загрязнение природной среды (Юкнис, Лекене, 1987; Kojima et al., 1997; и др.). И все-таки главной причиной усыхания лесов считается засуха, под воздействием которой гибли как естественные еловые леса, так и лесные культуры ели. Большинство случаев усыхания ели происходило в пределах зоны хвойно-широколиственных лесов, которую А.Д. Маслов (1972) назвал «зоной пандемических размножений стволовых вредителей ели». Однако усыхание ели на больших площадях отмечалось и в таежной зоне (Журнал..., 1911; Кузнецов, 1912).

Критические показатели климата, при которых может развиваться усыхание еловых лесов, по мнению Маслова (1972), выглядят так: суровая малоснежная зима (морозы до -40°C и ниже, среднемесячные температуры воздуха ниже нормы на $2-9^{\circ}\text{C}$, глубина снежного покрова 10–15 см, снег ложится на мерзлую землю), крайне засушливые весна и лето (60% и менее осадков от нормы, увеличение дефицита влажности в 1,5 раза и больше, снижение относительной влажности воздуха до 55% и ниже, превышение многолетних среднемесячных температур на $2-9^{\circ}\text{C}$). Примерно такая погодная ситуация обусловила усыхание ельников в Волжско-Камском заповеднике в 1971–1975 гг. (Мозолевская и др., 1980). Опасность для ели резко возрастает, если суровые зимы и засухи повторяются, а леса находятся в неудовлетворительном состоянии вследствие распространения гнилей и грибных болезней.

В развитии усыхания ели большую роль играет иссушение верхних горизонтов почвы до величины влажности завядания или ниже ее, что наблюдалось в Центральном лесном заповеднике в 1938 и 1939 гг. и сопровождалось усыханием ели на дренированных местообитаниях (Васильев, 1941). По-видимому, именно подобная ситуация вызывала последовательное отмирание всходов, затем молодых посадок и второго яруса ели; позже усыхание происходило в средневозрастных и приспевающих насаждениях ели (Тимофеев, 1939, 1944).

В естественных лесах таежной зоны, отличающихся высоким возрастом (200 и более лет) и одновозрастностью основного поколения ели, массовое усыхание ели было характерно для более производительных типов ельников (еловый бор, долгомошник); оно начиналось группами из крупных стволов, а затем принимало более широкие масштабы: «массовое подсыхание ели в 1899 и 1900 гг.» в Задвинских ельниках напоминало собой иногда «обширные пожарища» (Кузнецов, 1912, с. 1202). «...Сохнут, главным образом, старые деревья в 200 и более лет, но отдельные подсыхания наблюдались и в возрасте значительно меньшем» (там же, с. 1184). После усыхания верхнего полога древостоя происходит улучшение роста угнетенного подростка, который наряду с оставшимися живыми деревьями формирует новый древостой. Как видим, усыхание естественных лесов в таежной зоне происходило не так, как это описывал Тимофеев; значительного иссушения почвы, по-видимому, при этом не наблюдалось. В числе причин усыхания назывался

высокий возраст древостоев и воздействие «второстепенных причин» (вырубка пиловочных бревен, жаркое и сухое лето, понижение уровня грунтовых вод, короеды). Н. Кузнецов (1912) считал, что причина усыхания Задвинских ельников очень сложна и, к сожалению, своевременно была мало изучена, что не позволило ему более определенно высказаться по этому поводу.

По мнению В.И. Абражко (1988а, 1994; Абражко, Абражко, 1993; и др.), устойчивость субклимаксовых еловых лесов к засухе ограничена пределом толерантности ели и повышенной чувствительностью её к дефициту почвенной влаги и напряженности параметров климата; последствия засухи тесно связаны с плотностью эдификаторных синузид древостоев и их продуктивностью; наиболее продуктивные древостои сильнее страдают от засухи. По его представлениям, главной причиной гибели ели в засуху является высокая напряженность факторов фитолимата в сочетании с особенностями водопоглощающей и водопроводящей системы ели, а не дефицит влаги в почве, как это было принято думать.

При избыточном увлажнении, сопровождающемся подъемом грунтовых вод и подтоплением корнеобитаемого слоя, также может происходить отмирание ели (Абражко, 1988б).

А. Я. Орлов (1996), подчеркивая, что хвое ели присущи морфологические структуры, характерные для ксерофитов, все-таки считает, что причина гибели ели заключается в нарушении водного баланса до летальных значений водного потенциала хвои. По его мнению, водный режим ельников требует дальнейшего изучения.

Исследователи массового усыхания ели в Беларуси (Федоров и др., 1998) считают основной причиной гибели ели экстремальные условия в первой половине 1990-х годов, проявившиеся в дефиците атмосферных осадков и высоких температурах вегетационного периода. Это привело, по их мнению, к нарушению функционирования смолоносной системы луба (разрушение смоляных ходов и блокирование ситовидных клеток и паренхимы). К факторам, способствующим ослаблению ели, они относят также понижение уровня грунтовых вод, бедность почв и малую их аэрацию, корневые гнили и техногенное загрязнение атмосферы; интенсивность отмирания деревьев они связывают с деятельностью стволовых вредителей. По их наблюдениям, в первую очередь усыхают высокопродуктивные древостои. По мнению В.Н. Киселева и Е.В. Киселевой (1999), ведущим фактором динамики ельников Беларуси выступает солнечная активность (периоды низкой активности), но они не отрицают и влияния климатических условий. В наибольшей степени повреждаются средневозрастные и приспевающие древостои, произрастающие на дерново-подзолистых суглинках.

В последние десятилетия во всех странах Западной и Восточной Европы отмечено ухудшение состояния лесов, в первую очередь образованных темнохвойными породами (Leibundgut, 1974; Schmidt-Vogt, 1989). К концу 1980-х годов в Европе произошла деградация лесов на площади примерно 11–12 млн га (Кайрюкштис, 1989). Например, в Австрии около 31% лесов оказались поврежденными (Das österreichische Forschungsprojekt..., 1987). Хотя в отдельных странах в результате снижения уровня техногенных и других

загрязнений и проведенных мероприятий (удобрения, внесение извести и т.д.) в последние годы произошло улучшение состояния лесов, проблема их деградации не потеряла своей остроты и актуальности.

Среди многочисленных точек зрения на причины ухудшения состояния темнохвойных лесов и их усыхания в Западной Европе до настоящего времени преобладают мнения об антропогенных (техногенных) влияниях, выступающих главным фактором (прямым и косвенным) этого феномена (Hinrichsen, 1986, 1987; Cowling et al., 1987; Gehrmann, 1989; Aamlid et al., 1990; и многие др.). Однако обращает на себя внимание наличие разных взглядов на роль отдельных компонентов загрязняющих веществ в повреждении растений и на механизм повреждения. Одни авторы считают, что повреждение деревьев прежде всего связано с загрязнением воздуха поллютантами промышленного происхождения и поражением ассимиляционного аппарата, другие — с загрязнением почв и ухудшением деятельности корневой системы, третьи — с повреждением растений в надземной и подземной сферах; при этом в разной степени учитываются влияние климатических флуктуаций и биотических факторов, а также особенности местообитаний.

В то же время существуют мнения и о том, что связь повреждения лесов с загрязнением атмосферы убедительно не доказана (Innes, 1990), что прямая зависимость повреждения лесов поллютантами количественно не подтверждена (Schlaepfer, 1990), хотя без учета влияния загрязнений не может быть объяснено ухудшение состояния лесов. Признавая, что угнетение и усыхание лесов вызываются цепью взаимно переплетающихся явлений и факторов различной природы, некоторые авторы (Möhrling, 1994) считают, что причины гибели лесов все-таки остаются неясными.

Основываясь на современных результатах изучения состояния лесов, О. Кандлер (Kandler, 1993) не соглашается с теорией отмирания леса — «Waldsterben», поскольку гибели леса как таковой не происходит, а наблюдаются несинхронные флуктуации лесных кондиций, эпизодические частичные дефолиации древесных пород и ухудшение их роста, что имело место и ранее.

В Германии (рис. 2, 3) различают следующие 5 типов повреждения леса (FBW, 1986; по: Schmidt-Vogt, 1989; Aamlid et al., 1992).

1. Пожелтение хвои на высоких местообитаниях. Этот тип усыхания характеризуется хлорозом хвои и отмиранием старой хвои; в числе причин такого явления может быть дефицит магния (Zöttl, Hüttl, 1985; Rehfuess, 1987).

2. Изреживание крон в результате потери хвои; этот тип повреждения проявляется в средней и верхней частях среднегорья Германии и характеризуется также потерей хвои, но без ее обесцвечивания.

3. Покраснение хвои в старых насаждениях южной Германии в результате грибной инфекции (Rehfuess, Rodenkirchen, 1984).

4. Хлороз хвои и опадение молодой хвои на больших высотах в Баварских Альпах, что вызвано, главным образом, дефицитом калия и магния (Rehfuess, 1983).

5. Изреживание крон и медленный рост деревьев в северных прибрежных районах, что связано с потерей хвои.

Все многообразие точек зрения на причины ухудшения состояния и усыхания темнохвойных лесов критически рассмотрены в многочисленных публикациях. Очень полный анализ состояния проблемы провел Г. Шмидт-Фогт (Schmidt-Vogt, 1989). Он обратил внимание на следующие основные гипотезы.

— Гипотеза кислотных дождей (Ulrich, 1980, 1983a,b и др.) основана на том, что вредные кислотообразующие вещества, прежде всего SO_2 и NO_x , попадая в почву, вызывают повышение ее кислотности и вымывание питательных веществ, а также высвобождение алюминия, что приводит к повреждению корневых систем и ухудшению состояния лесов.

— Экосистемная гипотеза (Ulrich, Matzner, 1983) рассматривает повреждающее воздействие кислот на деревья через ассимиляционный аппарат (прямое воздействие) и через почву (косвенное).

— Стресс-гипотеза (Schütt et al., 1983; Schütt, 1988) основана на постоянном повреждении ассимиляционного аппарата эмиссиями, что сопровождается дефицитом ассимилянтов и в результате этого ухудшением жизнедеятельности корней; все это снижает устойчивость деревьев к вредителям и климатическим экстремумам.

— Эмиссионно-экологическая теория (Wentzel, 1985) основывается на известных фактах повреждения ассимиляционного аппарата растений дымовыми выбросами; содержание старой теории модернизировано автором путем разделения факторов на вызывающие, содействующие и усиливающие повреждения, проявление которых имеет региональную специфику.

— Озоновая гипотеза (Elstner, Osswald, 1984; Arndt, 1985; и др.) в качестве основных причин повреждения лесов рассматривает воздействие озона и других фотооксидантов на клеточные мембраны хвои.

— Гипотеза совместного (комбинированного) воздействия на фотосинтетический аппарат SO_2 и NO_x (Wellburn et al., 1981; и др.); даже незначительная концентрация этих веществ приводит к существенному снижению фотосинтеза.

— Азотная гипотеза (Nihlgard, 1985; Mohr, 1986) главной причиной повреждения древостоев рассматривает значительное поступление азота в почву, что приводит к снижению устойчивости деревьев к морозным воздействиям и к нарушению симбиозного равновесия в системе дерево-гриб. По имеющимся данным количество азота, поступающего на каждый квадратный метр лесной площади Германии, сравнимо с величиной удобрений, которые вносились в сельскохозяйственные земли перед Второй мировой войной. Высокое содержание азота в верхних слоях гумуса рассматривается некоторыми авторами (Heinsdorf et al., 1988) как главная причина повреждения леса на больших площадях.

— Гипотеза заболевания ели, произрастающей в верхнем поясе гор, объясняет это явление недостатком Mg (Zech, Popp, 1983; Zöttl, 1985; Zöttl, Mies, 1983; Prinz, 1985; и многие др.), который, с одной стороны, вымывается из почвы вследствие кислотных дождей, а с другой, под воздействием озона и других фотооксидантов, а также дождей и туманов вымывается вместе с Ca и другими элементами из хвои; все это снижает резистентность де-

ревьев к стрессовым факторам, в числе которых рядом авторов называется и морозный шок (Bosch et al., 1983; Rehfuess, Bosch, 1986). Эту гипотезу разделяют также некоторые другие исследователи (Fidler, 1989).

— Погодные экстремумы (Cramer, 1984; Cramer, Cramer-Middendorf, 1984) проявляются в сухие годы, а также связаны с морозными явлениями; они, как правило, сопровождаются ухудшением состояния лесов.

— Повреждение ассимиляционного аппарата грибными болезнями, вызываемыми прежде всего *Lophodermium piceae* (Fuck.) Höhn и *Rizosphaera kalkhoffii* Bubák; оно выражается в покраснении хвои (Rehfuess, 1983; и др.); проявление его связано с абиотическими стрессами, ослабляющими древо-стои, что способствует развитию грибных инфекций.

— Лесоводственные ошибки (Cramer, 1984; и др.), которые обусловлены выращиванием ели за пределами ее ареала в неподходящих для нее местообитаниях, созданием чистых однопорodных насаждений, несвоевременным и недостаточным уходом за древостоями; все это в конечном счете приводит к неустойчивости лесов и их повреждению.

Помимо этих гипотез можно привести еще гипотезу недостаточной генетической изменчивости видов, что обуславливает их низкую приспособляемость к стрессовым ситуациям; в частности, еще Райт (Wright, 1955) обратил внимание на то, что генетическая изоляция вида может быть одним из факторов, снижающих его устойчивость. По мнению Ларсена (Larsen, 1986), недостаточная генетическая изменчивость пихты белой является главным фактором, предопределяющим ее усыхание.

Заслуживает упоминание Si-гипотеза (Knabe et al., 1989), объясняющая пониженную жизненность деревьев при сухом климате, кислых почвах, воздействии промышленных эмиссий и высоком содержании кремния в хвое.

Гипотеза недостаточности цинка (Fiedler, 1988) на местообитаниях, подстилаемых породами с высоким содержанием кремния, также пытается объяснить снижение устойчивости лесов. Дефицит цинка в хвое рассматривается как вероятный результат проницаемости мембран под влиянием фотооксидантов и вымывания этого элемента кислыми осадками; потеря цинка не восполняется через корни вследствие бедности местообитаний. Однако по другим данным (Nebe et al., 1989), промышленные эмиссии не снижают обеспеченность растений основными элементами питания (в том числе и цинком), но обуславливают недостаток магния; потребление цинка растениями увеличивается при известковании почв.

Ухудшение состояния хвойных лесов некоторыми авторами (Kiyoura, 1989) рассматривается как результат высокой кислотности почв и их оподзоленности; по крайней мере, хвойно-широколиственные леса Японии находятся в устойчивом состоянии, поскольку опад широколиственных пород, в отличие от опада хвойных, нейтрализует кислую реакцию почв.

Среди погодных экстремумов, приводящих к деградации лесов, многие авторы выделяли засуху (Aronsson et al., 1978; Johansson, Wästerlund, 1979; Lochman, Běle, 1982; Niesslein, Hauff, 1984; Giertych, 1987; Becker, Lévy, 1988, 1989; Badot, 1988-1989; Vierhaus-Wunderwald, 1991; и др.), под воздействием которой увеличивается рост корней, уменьшаются размеры и масса листо-

вого аппарата, а также соотношение питательных элементов в нем, происходит отмирание старой хвои (Waring, 1987; Stefan, Gabler, 1998; и др.) и в целом усыхание и распад древостоя. Снижение массы хвои приводит к повреждению корневой системы и в целом к снижению устойчивости дерева; при уменьшении массы хвои на 30% масса тонких корней снижается на 40% (Blaschke et al., 1985).

Наконец, заслуживает внимания мнение о связи усыхания лесов с разрушением озонового слоя планеты (Impeus et al., 1988), что может быть не только результатом загрязнения атмосферы фреонами, но и следствием крупных извержений вулканов (Сывороткин, 1993; Стратосферный озон, 1993).

Этим, естественно, не исчерпывается палитра точек зрения на причины деградации и усыхания лесов. Например, следовало бы упомянуть еще один фактор стресса, связанный с повреждением тонких корней и микоризы в областях деградации лесов, что подтверждено исследованиями (Göbl, 1991; Göbl, Thurner, 1995; и др.).

В 1993 г. немецкое федеральное агентство окружающей среды инициировало исследования усыхания лесов в Германии за период 1982–1992 гг. с целью интеграции результатов в структуру модели почва–растение (Augustin et al., 1998). Разработана гибкая структурная модель из двух модулей, которыми можно оперировать индивидуально или совместно. Модель облегчает пользователям возможность тестировать гипотезы и просчитывать сценарии, то есть выступает как связующее звено между эмпирикой и теорией.

По мнению Шмидт-Фогта (Schmidt-Vogt, 1989), широкомасштабное ухудшение состояния лесов, которое происходило в 1980-х годах и получило название «neuartige Waldschäden», не может быть объяснено ни одной из высказанных гипотез, невзирая на то что многие из них подтверждены экспериментальным материалом (токсичность алюминия, повреждающее воздействие озона, вымывание Mg, Ca и других элементов из листьев и почвы и т.д.). Более того, он обращал внимание на то, что с 1985 г. состояние ели и пихты в ряде мест улучшилось, но ухудшилось здоровье бука и дуба, которые до этого считались устойчивыми породами к эмиссиям; наряду с улучшением жизненности еловых лесов на низких и средних местоположениях началась деградация темнохвойных лесов на высоких участках. Эти и другие факты позволили ему сделать вывод, что подобная дифференциация в развитии повреждений лесов есть следствие локальной и региональной дифференциации предрасполагающих и вызывающих повреждения факторов. Так, состав эмиссий и степень их воздействия на лесные экосистемы зависит от метеоусловий; буферная способность почв меняется в зависимости от геологических пород; климатические экстремальные ситуации, а также развитие патогенов имеют неодинаковые параметры в различные годы и неоднозначны по регионам; даже воздействие факторов, проявляющихся на обширных территориях, имеет региональную и локальную специфику и зависит от особенностей местообитаний, возраста, состава и других характеристик древостоя.

Х.-У. Моосмайер (Moosmayer, 1986, 1988) также считает, что за региональную деградацию лесов ответствен комплекс факторов биотической и

абиотической природы, в котором вес отдельных агентов может меняться в пространстве и времени; выявление истинных причин ухудшения состояния лесов зависит от степени изученности большого числа факторов. Если до недавнего времени ведущая роль в деградации лесов отводилась загрязняющим веществам, то по мере накопления фактов снова на первое место (как и на начальном этапе изучения этого явления) выступают погодноклиматические условия.

Эти общие заключения можно проиллюстрировать состоянием лесов, например, во Франции (Landmann, 1991a,b). Пятилетние исследования показали, что деградация лесов происходит не по всей стране, а проявляется локально, затрагивая одну или две породы в основном старших возрастов. На северо-востоке идет процесс улучшения состояния хвойных лесов, в то время как на юге и в центре их здоровье ухудшается; в горах у ели отмечено пожелтение хвои. Все это связано с региональными факторами естественного и антропогенного происхождения. В целом в Европе ухудшение состояния лесов происходило по-разному: в центральной части суховершинность деревьев проявлялась на десятках и сотнях гектаров, тогда как в западных и северных лесах была очевидна только небольшая дефолиация (Aamlid et al., 1992).

Эти заключения подтверждаются также более детальными междисциплинарными исследованиями, проведенными как в природных, так и в лабораторных условиях. Например, многолетняя индикация поступлений N и S в лесные экосистемы на базе Австрийской биоиндикационной сети показала, что обеспеченность древостоев азотом резко снижается с высотой над уровнем моря: на высоте более 1400 м только 4% площадей достаточно снабжены азотом, тогда как на высоте до 600 м — 65% (Stefan, Fürst, 1998). В этом случае дополнительное поступление азота в верхний пояс гор не представляет опасности для лесных насаждений; оно чревато негативными последствиями лишь для местообитаний, где соотношение азота и других элементов относительно сбалансировано.

Междисциплинарные исследования в Тирольских Альпах показали обеднение хвои N и Mg с высотой над уровнем моря; концентрация озона увеличивается с подъемом в горы и наиболее высоких величин достигает на верхней границе леса или выше ее (Nergman et al., 1998a).

Аэральное поступление азота происходит крайне неравномерно по территории и поэтому не может считаться ведущей причиной повсеместного ухудшения состояния лесов. Например, во всех регионах Швеции ощущается недостаток азота, что лимитирует рост лесов (Binkley, Högberg, 1997).

Развернутый мониторинг лесов в Европе позволил подвести некоторые итоги поступления поллютантов в лесные экосистемы и выяснить роль отдельных их видов и компонентов (кислотные осадки, связанные с соединениями серы и азота, протоны, озон, летучие и устойчивые органические соединения, тяжелые металлы и т.п.) в жизнедеятельности лесов (Nergman et al., 1998b). Поллютанты рассматриваются как факторы стресса лесных экосистем, раннюю диагностику проявления которых можно установить прежде всего по фотосинтезу растений, а также с помощью биохимических и других методов.

И. Фернандес (Fernandez, 1986) предложил общую гипотезу деградации лесов под влиянием воздушных поллютантов; он рассматривает три комплекса факторов стресса: 1) постоянные первичные факторы стресса (рубки, климатические изменения, динамическое состояние насаждений, аэрополлютанты), 2) первичные сильные стресс-факторы (повышенное выпадение аэрополлютантов, засуха, низкие температуры и т.п.) и 3) вторичные стресс-факторы (насекомые, болезни). Первичные стресс-факторы проявляются постоянно и приводят к ослаблению лесных экосистем; при их устранении состояние лесов улучшается, что мы видим на примере лесов Германии, Австрии и некоторых других стран, где проведен комплекс мер, снижающих действие первичных стресс-факторов. Воздействие сильных стресс-факторов вызывает синдром деградации лесов; выздоровление леса в этом случае уже сомнительно. Вторичные стресс-факторы сопровождают первичные и, как правило, приводят к деградации и усыханию лесов.

С общих позиций подходят к оценке стрессовых ситуаций естественного и антропогенного происхождения М. Теше (Tesch, 1989), Н.Е. Судачкова (1998) и некоторые другие авторы. Н.Е. Судачкова, вслед за Селье (Selye, 1953; по: Tesche, 1989) и другими исследователями, выделяет три фазы реакции растения на стресс. В первой фазе растение реализует защитные возможности организма в пределах нормы реакции и переносит стресс без существенных изменений. Во второй фазе происходит адаптация организма, связанная с перестройкой метаболизма, растение противостоит стрессу с помощью защитных механизмов, а в третьей — оно либо устраняет последствия стресса путем восстановления поврежденных систем, либо погибает. Каждой фазе свойственны биохимические индикаторы стрессового состояния растений.

Водный дефицит относится к широко распространенным природным стрессам, которые воздействуют на растения не только в южных регионах, но и в северных условиях при глубоком промерзании почв, когда весной расходы на транспирацию не компенсируются подачей воды из скованных мерзлотой горизонтов (Судачкова и др., 1997).

Приведенный краткий обзор проблемы ухудшения состояния и усыхания темнохвойных лесов в Европе свидетельствует о сложности происходящих процессов, связанных с воздействием многообразных естественных и антропогенных факторов и их комбинаций, вызывающих стрессовые состояния древостоев. Загрязнение воздушной среды и местообитаний промышленными поллютантами, что характерно для этого региона, значительно усиливает действие естественных стрессовых факторов, которые проявлялись постоянно или периодически в процессе эволюции темнохвойных лесов. Факты деградации и усыхания этих лесов известны и для того периода, когда промышленное загрязнение среды не играло существенной роли в развитии лесных экосистем. Сложная комбинация естественных и антропогенных стрессовых факторов сопровождается многообразными проявлениями ухудшения состояния лесов на обширных территориях. Причем нередко наблюдается синергический эффект, когда один фактор, накладываясь на другой, усиливает повреждающее действие (Bolhar-Nordenkamp, 1989; и

др.). Например, воздействие SO_2 вызывает у ели повышенную чувствительность к водному стрессу (Macrez, Hubac, 1988); избыток азота снижает устойчивость деревьев к морозу и погодным аномалиям (Abetz, 1987; Rehfuess, 1990; и др.); воздействие засух (Алексеев, 1948) и загрязнений (Юкнис, Лекене, 1987) ускоряет процесс старения организмов, что резко снижает их адаптационные возможности в стрессовых ситуациях; совместное действие SO_2 и NO_x приводит к более сильным повреждениям, чем при отдельном влиянии каждого поллютанта (Wellburn et al., 1981); и т.п.

Р.Ф. Хюттль с соавторами (Hüttle et al., 2000), критически оценивая дискуссию о причинах отмирания лесов в Европе, обращает внимание на то, что согласно большинству гипотез леса на этой территории должны бы уже погибнуть. Однако современные сведения свидетельствуют об улучшении состояния лесов. С одной стороны, это снизило доверие к лесным экологическим исследованиям, с другой, еще раз подчеркнуло сложность проблемы деградации лесов, которую невозможно решить исходя только из исследования отдельных процессов.

1.2. Северная Америка

Феномен усыхания темнохвойных лесов проявился и на североамериканском континенте, где в 1960-х годах началось интенсивное усыхание естественных лесов из ели красной (*Picea rubens* Sarg.) и сопутствующих ей видов пихт. Первые сведения об отмирании этого вида ели относятся еще к 1815 г.; затем она была подвержена усыханию в 1870–1890 гг. (Friedland, Battles, 1987; Johnson et al., 1986).

Ель красная распространена в приатлантической части США (рис. 4) примерно от 35° до $47^\circ 30'$ с.ш. (Деревья и кустарники, 1949; Gordon, 1957; Little, 1971; Schmidt-Vogt, 1977). Ее ареал в какой-то мере по форме напоминает размещение ели аянской на востоке Евразии. Он расположен в приатлантической части материка, слегка вытянут в меридиональном направлении и не заходит в глубь континента. В северной части ареала (Северные Аппалачи, горы Андирондак) темнохвойные леса с елью красной начинаются с высоты 800 м, а на юге (Южные Аппалачи) — с 1400 м над ур. м. (Eagar, Adams, 1992). В целом ель красная произрастает в районах с гумидным климатом. При повышении сухости климата этот вид встречается локально (Schmidt-Vogt, 1977). Абсолютный возраст пихтово-еловых лесов в верхней части Южных Аппалачей составляет 8000–10 000 лет; к северу (горы Андирондак и Северные Аппалачи) он снижается до 2000 лет (Eagar, Adams, 1992).

Ель красная относится к теневыносливым и влаголюбивым (Нестерович и др., 1986) породам, живущим 300 и более лет (Gordon, 1976; Schmidt-Vogt, 1977). Лесорастительные условия в ее ареале характеризуются относительно коротким периодом вегетации, частой облачностью, воздействием сильных ветров и образованием инея в зимний период. Амплитуда среднемесячных температур в южной части ареала составляет 16°C , а в северной — 26°C (Eagar, Adams, 1992). Ель красная не отличается высокой зимостойкостью и

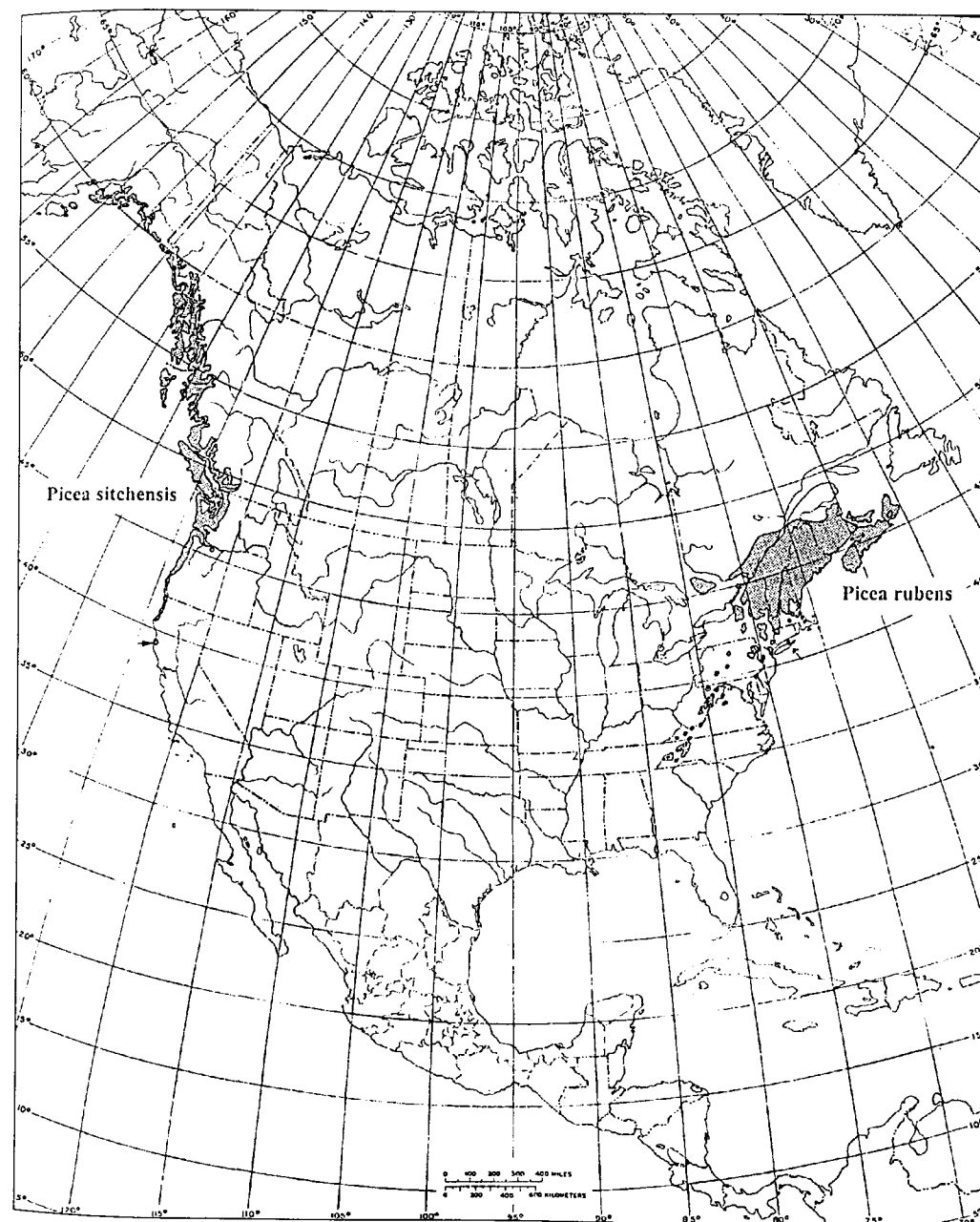


Рис. 4. Ареал *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. и *P. rubens* Sarg. (по: Little, 1971)

страдает от морозов, особенно на открытых пространствах (Gordon, 1976); по этому показателю она, возможно, уступает всем бореальным хвойным видам. Существует мнение, что ель красная отличается небольшим генетическим разнообразием вследствие изолированности местообитаний (Wright, 1955); в то же время известно, что она гибридизирует с *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. (Gordon, 1976). Генетическая изменчивость неоднородна в пределах ее ареала; наименьшая характерна для ее горных популяций (Wite, Cogbill, 1992). Коренные разновозрастные пихтово-еловые леса произрастают в основном на маломощных сильновыщелоченных и сильнокислых почвах, отличающихся хорошей дренированностью; но они могут расти и на местообитаниях с ослабленным дренажем. Для почв характерны большие запасы минерализованного азота; некоторые местообитания отличаются низкими запасами доступного кальция, магния и фосфора (Eagar, Adams, 1992).

Значительные площади пихтово-еловых лесов пройдены лесозаготовками, при которых вырубалась ель красная. Например, еловые коренные леса высоких местообитаний Западной Вирджинии почти все уничтожены огнем или рубками и сейчас представлены вторичными группировками (Stephenson, Clovis, 1983).

Местообитания пихтово-еловых лесов длительное время года закрыты облаками. Кислотность облачной влаги (по данным «Mountain Cloud Chemistry Project», 1986–1988; по: Eagar, Adams, 1992) на 0,6 ниже кислотности дождевой воды на северо-востоке и примерно на 1,0 в Южных Аппалачах; в облачной воде концентрация ионов была выше в 5–20 раз, чем в дождевой. Наиболее высокая концентрация кислот найдена в безосадочных облаках у их основания, которое в Аппалачах обычно находится между 800–1200 м над уровнем моря. На высотах более 1000 м облака наблюдаются минимум 10% времени вегетационного периода, а на высоте более 1400 м — от 30 до 40%. Самое низкое значение кислотности в безосадочных облаках было 2,8, а величина 3,0 фиксировалась довольно часто. Распределение поллютантов в различных частях ареала ели красной неодинаково, существуют региональные различия и в эмиссии серы. В настоящее время эмиссии серы ниже, чем в 1920 и 1940 гг.; в частности, они на 25% меньше максимума середины 1960-х и начала 1970-х годов.

Ухудшение здоровья лесов и их усыхание в Северной Америке проявляется в синхронизированном регионально-масштабном ухудшении состояния деревьев, что вызывается комбинацией факторов стресса биотической и абиотической природы; комбинация факторов имеет региональную специфику (Eagar, Adams, 1992).

К ключевым факторам стресса относят засуху, мороз, неблагоприятные условия местопроизрастания (бедность, заболоченность), высокий возраст древостоев, дефолиацию насекомыми — еловым жуком (*Denroctonus rufipennis* Kirby) и листоверткой (*Choristoneura fumiferana* Clem.), поражение грибными болезнями (Weiss et al., 1985), а также различные их комбинации.

Проблеме ухудшения состояния и усыхания лесов из ели красной посвящено множество работ, и предложено несколько гипотез по поводу этого явления (Weiss, Rizzo, 1987). В числе гипотез: необычайно суровые зимы

(Johnson et al., 1988), при которых происходит повреждение хвои и побегов (Grier, 1988; Nicholas, Zedaker, 1989; Hadley, Amudson, 1991; Perkins et al., 1991); ветер (Harrington, 1986); воздействие комплекса стрессовых факторов, в том числе и природного происхождения (Friedland, Battles, 1987; Johnson et al., 1992; Vogelmann et al., 1985); загрязнение промышленными поллютантами (Hinrichsen, 1986, 1987); воздействие морозов и промышленных поллютантов на кроны деревьев (LeBlanc, Raynal, 1990); закисление почв в результате промышленного загрязнения и связанный с ним дефицит минерального питания, токсичность алюминия и азотное насыщение (Johnson, 1989; Johnson, Ball, 1990); воздействие насекомых и грибных болезней (Leckie, Ostaff, 1988 и некоторые др.).

Были предприняты попытки оценки глобальных причин деградации и усыхания лесов в бореальной зоне. По мнению К. Гимингхэма (Gimingham, 1988), в тихоокеанском регионе главной причиной ухудшения состояния и усыхания лесов выступают природные и стрессовые факторы (дефицит почвенной влаги, климатические и эдафические условия). Л.А. Кайрюкшис (1989) считает, что главными причинами гибели лесов на североамериканском континенте являются климатические изменения, усугубленные атмосферными загрязнениями и вспышками вредителей. Критический анализ проблемы сделан в коллективной монографии под редакцией К. Игара и М. Адамс (Eagar, Adams 1992), посвященной экологии и усыханию лесов из ели красной, в которой обобщены итоги совместных исследований лесных физиологов, почвоведов, лесопатологов, исследователей атмосферы и лесных экологов. В ней детально проанализированы итоги полевых и лабораторных исследований, связанных с усыханием лесов. В результате работ установлено, что состояние ели красной в различных частях ее ареала неодинаково. В северо-восточной части (особенно в горах Андирондак) имеются значительные площади, на которых 40–70% древесного полога погибло, в результате чего запасы ели сократились в древостоях на горах Андирондак и Грин более чем на 50%, а в горах Нового Гемпшира и Западного Мэна, по видимому, на 25%. Усыхание ели сопровождается хорошим естественным лесовозобновлением (Weiss, Rizzo, 1987). Однако это характерно не для всех районов усыхания. Например, Р.М. Клейн с соавторами (Klein et al., 1991), анализируя причины плохого естественного возобновления ели красной в усыхающих лесах на одном из горных сооружений в штате Вермонт, выдвинули гипотезу об отрицательном влиянии на прорастание семян и развитие проростков ели лесной подстилки и папоротника.

Симптомы повреждения ели (резкое сокращение прироста по диаметру, отмирание верхней части главного побега) начали проявляться с конца 1950-х — начала 1960-х годов. Отмирание ели красной в горах Новой Англии было зарегистрировано рядом исследователей в 1960 г. и объяснялось зимними повреждениями. Эти повреждения за последние 35 лет были весьма частыми (иногда ежегодными), тогда как в более ранний период они отмечались только в течение нескольких зим между 1900 и 1955 гг. Наиболее вероятными условиями для зимних повреждений являются низкие зимние температуры, быстрое охлаждение, солнечное нагревание, низкие темпера-

туры, следующие за оттепелью. Отмечено также, что сильные зимние повреждения происходили в некоторые годы и тогда, когда не было ярко выраженных периодов с зимней оттепелью. Менее всего толерантна к холоду хвоя текущего года. Снижению устойчивости хвои ели к зимним повреждениям способствует химизм облачной влаги, что подтверждено экспериментально. Зимние повреждения могут приводить к снижению темпов роста, дефолиации, суховершинности деревьев и их отмиранию. Дефолиация выступает важнейшим пусковым стрессом, вызывающим гибель деревьев. Поскольку дефолиация происходит в результате морозных повреждений, то именно эти повреждения считаются главнейшим фактором усыхания ели на больших высотах в северо-восточной части ее ареала. Есть и другие стрессовые факторы (высокий возраст древостоев, неудовлетворительные условия местообитаний), которые рассматриваются как предрасполагающие к усыханию. Насекомые и грибные болезни на некоторых участках, по мнению авторов, могут считаться прямой причиной усыхания, в частности еловый жук (*Dendroctonus rufipennis*) во многих случаях является главной причиной гибели древостоев.

Существует также гипотеза, объясняющая усыхание ели вследствие возрастания почвенной кислотности под влиянием кислых осадков, что сопровождается увеличением доступности Al и снижением поглощения Ca. Чувствительность ели красной к алюминию доказана экспериментально (Raunal et al., 1990). Однако на северо-востоке ареала этого вида концентрация Al в почвенном растворе редко бывает достаточной для повреждения корней. Наиболее высокие уровни Al могут сдерживать поглощение Ca и Mg и снижать скорость круговорота этих элементов. Очень низкое содержание в хвое Mg и P, что характерно для высоких местообитаний северо-востока, требует оценки с точки зрения устойчивости ели, в том числе и к морозным повреждениям. Почвы на высоких местоположениях имели высокую кислотность в течение длительного времени, а экстремальные значения pH не превышают величин, которые были 60 лет тому назад.

В южной части ареала (Южные Аппалачи) ель красная чувствует себя, несомненно, лучше. Усыхание древостоев наряду со сходными чертами деградации лесов, характерными для северо-востока (прежде всего падение радиального прироста), здесь имеет региональные особенности. Они заключаются в отсутствии широкомасштабных зимних повреждений и малочисленности погибших древостоев. Усыхание ели здесь рассматривается в качестве замедленной или модифицированной версии усыхания, происходящего на северо-востоке. Несмотря на меньшую суровость зимних условий, и здесь на отдельных участках имеются физические повреждения ели от зимних «ледяных» штормов, а также зимняя пятнистость хвои. В последние 5 лет отмечено ухудшение состояния крон; практически почти во всех районах увеличилась доля деревьев с дефолиацией хвои. Очаги усыхания ели были обнаружены на нескольких горных участках, а ежегодная ее смертность достигает до 8,4%; процент усыхающих деревьев увеличивается с высотой. Потеря хвои является следствием стрессовой ситуации, которая может быть обусловлена шоком от прореживания древостоев или засухой. Важным

стрессовым фактором может быть дефицит Ca, вызванный увеличением в почвенном растворе Al (Cronan et al., 1989; Shortle, 1990; Shortle, Smith, 1988). Высокий уровень Al в природных условиях связан с высокой концентрацией сульфатов и особенно нитратов, в том числе и поступающих из атмосферы. Физиологическое воздействие дефицита Ca проявляется в снижении роста растений, увеличении дыхания в темноте, снижении целостности мембран и в изменении чувствительности к снижению температур.

В лабораторных опытах с выращиванием растений на почвенных образцах, отобранных в районах усыхания ели, у растений был замедлен рост, снижено содержание Ca в хвое и увеличено дыхание по сравнению с контролем, где pH=5. Помимо этого в ксилеме пней за последние 30 лет заметно увеличилось отношение Al/Ca. Все эти факты, а также контрольные лабораторные эксперименты и полевые исследования на г. Уайт Топ (White Top, штат Вирджиния), подтвердившие потери Ca из хвои вследствие возрастающей кислотности дождей, туманов и облачной влаги, позволили сделать авторам вывод, что масштабное региональное загрязнение воздушной среды играет значительную роль в усыхании ели красной.

Общий вывод работы таков: ухудшение состояния и усыхание лесов из ели красной имеет специфику в различных частях ареала как по масштабам этого явления, так и по ведущим причинам. В северо-восточной части ареала ели происходит широкомасштабное ухудшение состояния и усыхание лесов; ведущей причиной этих негативных процессов можно считать зимние повреждения, усиливающиеся под влиянием кислотности дождей, туманов и влаги облаков. В южной части ареала главной причиной деградации лесов является загрязнение воздушной среды, приводящее к нарушению круговорота веществ и повреждению растений, в частности авторы считают доказанным негативное влияние Al на поглощение катионов, метаболизм углерода и в целом на рост и состояние растений. Однако некоторые из них (Johnson, 1992) обращают внимание на то, что связь между мобилизацией Al и усыханием лесов из ели красной неясна и необходимы дальнейшие исследования.

В усыхании древостоев определенную роль играют и естественные стрессовые факторы (насекомые, грибы и другие патогены, экстремальные зимние температуры, сильные ветры, высокие скорости выщелачивания питательных веществ в кислой среде). Однако ель красная эволюционировала и росла на протяжении тысячелетий в этих условиях. Экспертиза климата и данных по динамике насаждений, проведенная авторами, не выявила реальных изменений естественных стрессов, которые могли бы привести к широкомасштабному ухудшению состояния и усыханию ели красной. На основе анализа всех данных сделан вывод, что пусковым механизмом этих негативных процессов послужило загрязнение воздушной среды, являющееся дополнительным стрессом для биологических систем, находящихся вблизи их физиологических пределов.

Этот общий вывод, как подчеркивают авторы, носит компромиссный характер, что не мешает отдельным исследователям иметь свою точку зрения на причины усыхания.

Нам же хочется обратить внимание на снижение темпов роста ели красной и сопутствующих ей видов пихт, начало которого совпало с наступлением засухи (Adams et al., 1985). С этой точки зрения хотелось бы видеть более полный анализ влияния засушливых условий на такой влаголюбивый вид, каким является ель красная. В частности, начало широкомасштабного усыхания этого вида произошло в самый сухой период века — в 1964–1966 гг. (Johnson, Siccama, 1983). Подтверждено также (Cook, Johnson, 1989), что засушливые экстремальные условия отрицательно влияют на ель красную и могут служить причиной ее усыхания.

Последующие исследователи деградации лесов из ели красной (Evans et al., 1999) обратили внимание на то, что апикальная суховершинность, считающаяся главной причиной усыхания ели в северо-восточной части ее ареала, связана не только с морозными повреждениями хвои, а вызывается несколькими последовательно действующими факторами. Если бы морозное повреждение хвои было единственным фактором усыхания, то, по мнению Эванса с соавторами (Evans et al., 1999), этот процесс проявлялся бы давно, поскольку этот фактор периодически воздействует на растительность на протяжении длительного времени.

В последние годы также обращено внимание на факты массового усыхания и других видов ели на североамериканском континенте. В настоящее время происходит интенсивное усыхание ели ситхинской (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.), ели Лутца (*P. × lutzii* Little) и ели белой (*P. glauca* (Moench) Voss) на Аляске.

Ель ситхинская — главный лесообразователь приморских лесов, вытянутых узкой полосой вдоль тихоокеанского побережья Северной Америки (рис. 4) примерно от 40° до 61° с.ш. (Daubenmire, 1968; Little, 1971; Roche, Fowler, 1975; Schmidt-Vogt, 1977; Schütt, Lang, 1995; Viereck, Little, 1974). Это своеобразные дождевые бореальные леса, произрастающие в условиях морского климата и повышенного увлажнения (годовое количество осадков достигает 3000 мм и более, но оно неодинаково в различных частях ареала этого вида; наименьшее количество их составляет всего 630 мм). Они распространены от уровня моря до верхней границы леса, находящейся в южной части Аляски на абсолютной высоте от 460 до 915 м. Среднегодовая температура колеблется от 8°C (Кетчикан) до 3°C (Кордова); средняя температура лета + 13–16, наиболее холодного зимнего месяца — от –6 до –2°C. Высота снежного покрова варьирует в различных частях ареала, превышая в северной части 3 м.

Ель ситхинская — национальное дерево штата Аляска, доживает до 500–700 и более лет (Hosie, 1975; Viereck, Little, 1974). Она не встречается в районах, подверженных засухам или воздействию низких температур. По степени влаголюбия этот вид близок к ели аянской (Манько, 1987), но еще более влаголюбив (Нестерович и др., 1986). Как показали результаты выращивания ели ситхинской в Северной Германии, она не переносит длительного сухого периода, в частности в экстремально сухое лето 1959 г. здесь были сильно повреждены наряду с лесными культурами ее старые деревья (Schütt, Lang, 1995). Она хорошо растет на глубоких рыхлых почвах с хоро-

шим увлажнением и дренажем, которые характерны, прежде всего, для речных долин; маломощные каменистые, а также слабодренированные торфяные почвы неблагоприятны для этого вида. Вдоль побережья штатов Орегон и Калифорния она занимает сухие песчаные почвы и дюны, хотя и не образует высокопродуктивных древостоев (Harlow, Harrar, 1950).

Ель ситхинская нередко выступает пионерным видом, заселяя освободившиеся территории после отступления современных ледников, а также гари и другие площади с обнаженной почвой и образуя чистые древостои; на более стабильных экотопах она участвует в смешанных насаждениях с тсугой, псевдотсугой, туей и другими видами (Crocker, Dickson, 1957; Shelford, 1963; Roche, Fowler, 1975). В естественных условиях ель ситхинская проявляет высокую требовательность к содержанию в почве кальция, магния и фосфора. Ель относительно устойчива к загрязнению SO₂; например, в одной и той же зоне загрязнения ель ситхинская имела слабые признаки повреждения, в то время как *Picea abies* и *P. omorica* отмерли (Däbler, 1991).

Ель ситхинская образует естественный гибрид с елью белой; этот гибрид называли елью Лутца; он широко распространен на п-ове Кеннай, где в настоящее время происходит интенсивное усыхание темнохвойных лесов. Это явление достигло широких масштабов в 1996–1997 гг., когда усыхание охватило обширные лесные массивы на п-ове Кеннай с высокой интенсивностью отмирания деревьев в верхнем ярусе древостоя, во многих случаях превышающей 90%. По мнению специалистов лесной службы, за последний год количество усохших деревьев возросло примерно на 20%. Возможно, высокая интенсивность усыхания древостоев обусловлена гибридным происхождением основного лесообразователя; обычно считают, что гибриды отличаются пониженной устойчивостью к стрессовым факторам.

Ель белая — широко распространенная порода в Северной Америке (рис. 5). Она участвует в образовании лесов таежного типа, которые преобладают на Аляске. Ель белая совместно с елью черной (*Picea mariana*) и другими породами формирует полярную границу древесной растительности. Самая северная точка ее распространения достигает 69° с.ш., а южная граница ее ареала проходит несколько севернее 40° с.ш. (Little, 1971; Schmidt-Vogt, 1977). Продолжительность жизни ели белой составляет 300–350 лет. Она отличается широкой экологической амплитудой, произрастая от степей до тундры. В последнее столетие ель белая на северном пределе своего распространения в районе Гудзонова залива существенно продвинулась к северу, что свидетельствует об активных фитоценологических позициях этого вида; наиболее интенсивно такой процесс происходил в 1920–1965 гг. (Payette, Fillion, 1985).

К числу важнейших факторов, определяющих продуктивность ели белой, относят почвенную влажность (Wilde et al., 1965; Gordon, 1975; Wang, 1995). В то же время исследования содержания элементов питания в хвое (Wang, Klinka, 1997) показали, что высокое количество P, K и Mg обнаружено на участках с увлажнением от слабосухох до влажных, а низкое содержание N и S отмечено в широком диапазоне увлажнения (участки как с водным дефицитом, так и с водным насыщением).

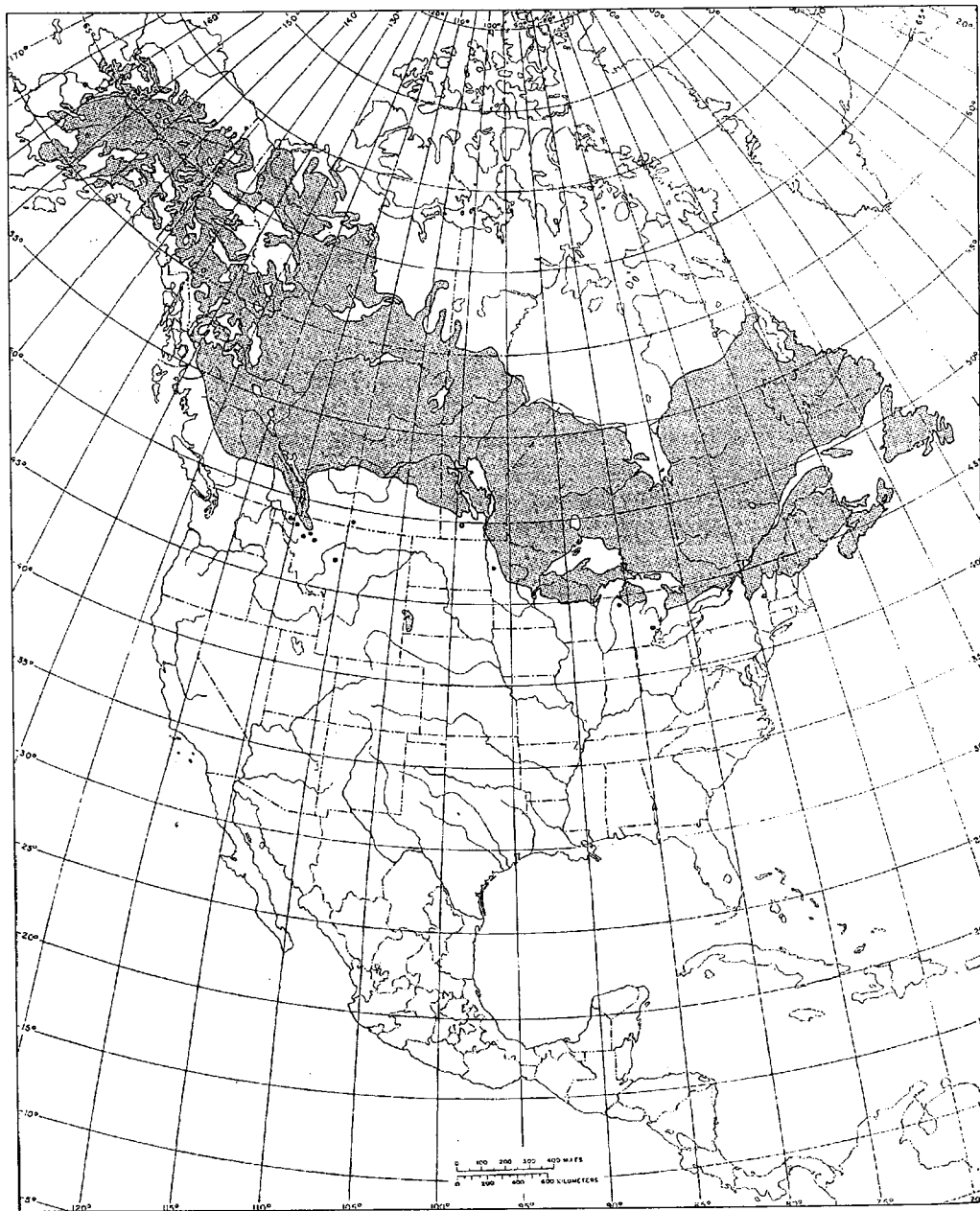


Рис. 5. Ареал *Picea glauca* (Moench) Voss (по: Little, 1971)

Климатические условия в ее ареале весьма контрастны. Среднегодовая температура ниже нуля: от -1 до -7°C ; средняя температура самого холодного месяца — от -23 до -29°C , самого теплого — $+16^{\circ}\text{C}$. Зимой температура опускается ниже -40°C , а в летнее время достигает $+30^{\circ}\text{C}$. Осадков выпадает мало — 150–300 мм. Снежный покров держится от середины октября до конца апреля. Растет эта ель наиболее часто по берегам рек и образует леса с участием *Betula papyrifera* Marsh. на теплых хорошо дренированных участках; на холодных с близким уровнем сезонной мерзлоты почвах замещается елью черной; видимо, эти экологические особенности двух видов ели объясняют их роль в вековых сменах растительности (Андерсон, Брубейкер, 1995). Ель белая распространена от уровня моря до 1600 м, выходя на верхнюю границу леса (Деревья и кустарники..., 1949; Viereck, Little, 1974). Успешно растет в морском и континентальном климате, зимостойка и относительно засухоустойчива. Встречается на почвах, различных по механическому составу и увлажнению, но наиболее продуктивные древостой образует на хорошо дренированных местообитаниях с аллювиальными отложениями, быстро освобождающимися от сезонной мерзлоты. Растет на дюнах, при постепенном погребении оснований стволов образует придаточные корни, а при высокой скорости седиментации (более $8\text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$) усыхает (Filon, Marin, 1988). Ель белая, как и другие виды ели, — микотрофная древесная порода; оптимальная температура в корневой зоне, при которой хорошо развивается микориза, колеблется в пределах $15\text{--}17^{\circ}\text{C}$ (Husted, Lavender, 1989).

К числу вредителей, которые повреждают леса из *Picea sitchensis* и *P. glauca*, относятся *Dendroctonus rufipennis*, *Choristoneura* sp., *Ch. fumiferana*, *Acleris gloverana* Wals., *Lambdina fiscellaria fiscellaria* Guen. и др. виды (Blais, 1981; Holsten et al., 1985; Mask, 1993; MacLean, Ebert, 1999). Корневая система ели белой, ее гибридов и других видов ели в бореальных и суббореальных лесах Британской Колумбии повреждается *Inonotus tomentosus* (Fr.) Teng (Beznier, Levis, 1999); степень повреждения зависит от особенностей местообитания.

По внешнему виду темнохвойные леса на п-ове Кеннай (Аляска), где нам удалось посмотреть усыхающие древостой, напоминают темнохвойные леса из ели аянской на российском Дальнем Востоке.

Усыхание древостоев темнохвойных лесов на части площадей произошло в результате изменения гидрологических условий (опускание территории) после сильного землетрясения 1964 г. В настоящее время полностью усохшие древостой с деревьями, лишенными коры и мелких сучьев, sporadически встречаются по берегам зал. Кука. Только что усохшие массивы темнохвойных лесов из ели белой и ели Лутца имели яркий ржаво-коричневый цвет и хорошо выделялись на зеленом фоне (рис. 6). До недавнего времени усыхание темнохвойных лесов на п-ове Кеннай носило куртинно-очаговый характер (рис. 7). В 1997 г. появились обширные площади с усохшими древостоями. Попытка лесоводов на части участков вырубить ослабленные и усыхающие деревья не остановила этого процесса. В южной части Аляски (национальный лес Тонгасс) в массивах господствующих здесь темнохвой-

ных лесов постоянно встречаются единично и спорадически размещенные усохшие деревья ели; куртинные очаги усыхания представлены реже. Кроме того, в этих лесах постоянно присутствуют сухие деревья кипарисовника (*Chamaecyparis nootkatensis* (D. Don) Spach), усыхание которого происходит последние 100 лет (Hennon, 1993). По поводу причин этого явления нет определенного мнения; по-видимому, отмирание кипарисовника связано с вековыми сменами растительности.

Феномен усыхания темнохвойных лесов на Аляске еще не стал предметом комплексных исследований, и это негативное явление связывают прежде всего с поражением древостоев еловым жуком (Forest..., 1997; Holsten, Burnside, 1997; Holsten et al., 1991; Reynolds, Holsten, 1996). Наиболее страдают от этого вредителя ель белая и ель Лутца, в несколько меньшей степени ель ситхинская; ель черная повреждается еловым жуком редко (Hard, Holsten, 1985; Reynolds, Holsten, 1996).

По мнению Е. Хольстена и Р. Бернсайда (Holsten, Burnside, 1997), повышение активности короедов в последние годы может коррелировать с постепенным изменением климата, в последние 60 лет в юго-центральной и внутренней Аляске прослеживается четкая тенденция потепления. Острый пик активности елового жука пришелся на 1994–1995 гг., которым предшествовало сухое лето (1993 г.), обусловившее водный стресс для древостоев, а также сокращение времени развития популяции жука вдвое (1 год вместо 2–3 лет). С возрастанием активности короедов увеличивается повреждение деревьев листовёрткой (*Choristoneura fumiferana*) и некоторыми другими насекомыми (Holsten, Burnside, 1997).

В спелых естественных древостоях в первую очередь подвергаются атакам елового жука крупные деревья, как правило, имеющие пониженный радиальный прирост (по сравнению со средним) за последние 5 лет (Holsten et al., 1991). На Аляске подверженность темнохвойных насаждений нападению елового жука зависит от возраста и среднего диаметра древостоев, доли участия ели в их составе, а также от условий местопроизрастания. В районе Скалистых гор чаще повреждаются еловые леса, произрастающие на хорошо дренированных участках приречных террас.

На основе данных, собранных в насаждениях ели Лутца на п-ове Кенай, была разработана модель опасности (Reynolds, Holsten, 1994), включающая площадь сечения всего древостоя, площадь сечения ели, площадь сечения ели с диаметром более 25 см, высоту древостоев и аспект насаждения. Несколько позже была предложена новая модель опасности для ели Лутца и ели ситхинской, дополненная средним 10-летним приростом доминантных или кодоминантных елей, суммой площадей сечений отмерших елей за последние 10 лет (Reynolds, Holsten, 1996).

Лесной службой Аляски разработаны меры по предупреждению массового размножения елового жука и снижению ущерба от усыхания древостоев (Holsten et al., 1991), включающие в себя лесохозяйственные приемы (изреживание древостоев, санитарные рубки, деревья-ловушки), физические и химические методы. Но при интенсивном усыхании лесов практически все меры не эффективны.

При интенсивном усыхании древостоев резко снижается количество семеносящих деревьев, что создает дополнительные проблемы для естественного лесовозобновления, ибо сохранившийся подрост и тонкомер ели отличаются низкой жизненностью и не обеспечивают восстановление лесной обстановки. Участки с усохшими древостоями находятся в стадиях ранних лесных сукцессий с неустойчивыми шансами формирования нового леса; это продолжается до тех пор, пока не произойдет существенное повреждение участка огнем или другими факторами, приводящими к скарификации поверхности почвы (Holsten, Burnside, 1997).

Заканчивая краткий обзор проблемы ухудшения состояния и усыхания темнохвойных лесов в Европе и Северной Америке, следует обратить внимание на такие факты: 1) усыханию подвержены виды ели, по-разному относящиеся к тепло- и влагообеспеченности; наряду с влаголюбивыми и относительно теплолюбивыми видами (ель ситхинская, ель красная) отмирают и более морозоустойчивые породы (ель белая, ель европейская), а также более толерантные к засушливым условиям (ель белая); 2) усыхание темнохвойных лесов происходит под влиянием комплекса факторов, проявление которых имеет региональную специфику, что мы видим, кстати, на примере усыхания ели красной; 3) деградация темнохвойных лесов происходит на фоне глобальной нестабильности климатических условий, а по мнению некоторых исследователей, это связано с глобальным потеплением климата; 4) усыхание темнохвойных лесов происходит на территориях, в разной степени испытывающих загрязнение природной среды; оно развивается и в районах, не подверженных существенному загрязнению (например, на Аляске); это позволяет рассматривать загрязнение как дополнительный стресс, накладывающийся на естественные процессы и нередко приводящий к разрушению лесных экосистем.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ УСЫХАНИЯ ПИХТОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ НА РОССИЙСКОМ ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

2.1. Усыхание хвойных лесов в бассейне р. Хор

Первые достоверные сведения об усыхании хвойных лесов на Дальнем Востоке России привел известный лесовод В.Ф. Овсянников (1925), обследовавший Матайскую лесную дачу (бассейн р. Хор, Хабаровский край). Он отметил, что в районе устья р. Матай по склонам сопок встречались единичные сухие деревья преимущественно кедра корейского; выше по течению этой реки имелись отдельные участки усохшего хвойного леса из кедр и ели; «приближаясь к Матайской даче, мы уже наблюдаем картину почти сплошь засохших насаждений» (Овсянников, 1925, с. 103) — верхний ярус из кедр и ели совершенно усох, во втором ярусе еще можно найти живые деревья этих пород, а в подросте (там, где он есть) можно видеть совсем зеленую хвойную молодежь; лиственные деревья практически не затронуты усыханием; общая доля сухих деревьев составляла несколько более 77% по массе. Важно свидетельство Овсянникова о том, что все насаждения с господством хвойных пород в обследованном районе, произрастающие в разных условиях, повреждены в одинаковой степени; он полагал, что усыхание лесов не ограничивалось только Матайской лесной дачей, но и распространялось далее в горы, очевидно, до Бикинского водораздела.

Овсянников обследовал Матайскую дачу в то время, когда процесс усыхания деревьев уже завершился, — сухие стволы были полусгнившими, сильно «изъеденными» личинками усачей. Касаясь причин усыхания хвойных лесов, он отмечал их перестойность, что снижало естественную сопротивляемость древостоев к разного рода заболеваниям. Предположительно, он сделал заключение, что усыхание лесов вызвано размножением насекомых распространением «заразных заболеваний» в результате бессистемных рубок на переселенческих наделах, которые были отведены здесь в 1908–1912 гг.

В качестве уроков, которые следует извлечь из случая усыхания лесов в бассейне р. Матай, Овсянников назвал: 1) соблюдение строжайших санитарных мер, включающих в себя своевременную уборку лесорубочных остатков и 2) «...не держать на корню перестойный лес...» (с. 107).

Таким образом, описанный Овсянниковым случай гибели лесов в бассейне р. Матай впервые достоверно характеризует естественное массовое усыхание хвойных лесов, основными компонентами которых были кедр

ель. По приведенным им сведениям картина усыхания представляется в следующем виде: полная гибель хвойных деревьев в верхнем пологом древостое, выживание части деревьев в нижних пологах, сохранение хвойных пород в подросте. Состояние естественного лесовозобновления позволило Овсянникову считать, что вместо погибшего вырастет новый здоровый лес.

2.2. Усыхание пихтово-еловых лесов в Южном Приморье в 1930–1940-х годах

В конце 1930-х годов внимание лесоводов было привлечено к усыханию пихтово-еловых лесов, произрастающих на базальтовом плато в Южном Приморье. По мнению Л.В. Любарского и С.А. Золотарева, участвовавших в двух комплексных экспедициях Дальневосточного научно-исследовательского института лесного хозяйства (ДальНИИЛХ) по обследованию лесов (1937 и 1949 гг.), деградация пихтово-еловых лесов здесь началась в 1931–1932 гг. Хотя отдельные мелкие очажки усыхания в верховьях горных ручьев отмечались уже в 1929 г., экспедиция из работников лесхоза в 1930 г. их не обнаружила (Соловьев и др., 1961; Любарский, Соловьев, 1962). К 1949 г. пихтово-еловые леса, в разной степени затронутые усыханием, занимали уже приличную площадь.

Экспедиция 1937 г. в составе Л.В. Любарского, Ф.И. Киселева и С.А. Золотарева пришла к заключению, что основными причинами усыхания пихтово-еловых лесов являлись заболачивание почв, вредные насекомые, грибные болезни и отчасти нерациональные рубки. Отчет экспедиции не был опубликован, но Золотарев начал развивать гипотезу о первостепенной роли заболачивания почв в массовом усыхании пихтово-еловых лесов.

Он (Золотарев, 1949, 1950а) акцентировал внимание на том, что усыхание лесов, как правило, начинается с отмирания древостоев, приуроченных, главным образом, к пониженным местам. Затем усохшие участки увеличиваются в размерах, и происходит смыкание очагов усыхания, в результате чего живые деревья оказываются размещенными по территории отдельными островами.

Усыхание ели и пихты, по его данным, происходило в различном возрасте, начиная с 50–60 лет и старше, но среди усохших древостоев преобладала возрастная группа в 80–100 лет. Предельный возраст ели в очагах усыхания достигал 125 лет. Это позволило Золотареву говорить об усыхании древостоев, не достигших возраста естественной спелости. Усыханию деревьев предшествовал довольно длительный период замедленного роста, что свидетельствовало об их постепенном ослаблении. В последние 10–30 лет у ели резко падал прирост по высоте и диаметру, а за 1–3 года до гибели отмирала вершина.

Л.В. Любарский (1949), подводя итоги второй комплексной экспедиции ДальНИИЛХ, в которой помимо него участвовали С.А. Золотарев, Г.А. Трегубов и Ф.М. Рудницкий, констатировал, что пятна усыхания в древостоях пихтово-еловых лесов бывают приурочены к участкам отрицатель-

ного рельефа, но они столь же обычны на пологих склонах и нередко на крутых. Он обратил внимание на то, что усыхание лесов происходит не одновременно в различных малых бассейнах, разница в сроках усыхания может составлять примерно 10 лет.

Наиболее подвержена усыханию ель аянская; в большинстве случаев в первую очередь гибнут ее наиболее крупные стволы, что подтверждают данные многочисленных наблюдений и материалы 2-х пробных площадей, заложенных в 1949 г. Одна пробная площадь характеризовала древостой, где интенсивное усыхание началось в 1947–1948 гг.; мертвые деревья ели к этому времени составляли 69% по запасу, а пихты — 15,9%. Другая пробная площадь была заложена в древостое, где усыхание началось 12 лет назад: отмершие деревья ели здесь уже составляли почти 92%, а пихты — около 70%. В последующем (1960 г.) на этих пробных площадях были сделаны повторные перечеты деревьев (Любарский, Соловьев, 1962).

Обобщая все накопленные материалы, связанные с изучением усыхания пихтово-еловых лесов, Л.В. Любарский (1949, 1955) считал, что массовое усыхание есть результат воздействия комплекса причин, среди которых ведущими являются: периодические длительные весенне-летние засухи; многолетнее переувлажнение почв атмосферными осадками; заболачивание почв, но как частный случай, проявляющийся на малых площадях; поражение корневой системы деревьев дереворазрушающими грибами; важная роль в динамике усыхания древостоев он отводил насекомым, а губительное воздействие засухи связывал с наличием подзолистого горизонта в почвах, который изолирует поверхностную корневую систему ели и пихты от снабжения влагой из нижележащих горизонтов.

Материалы, собранные во время экспедиций ДальНИИЛХ, легли в основу серии публикаций, что способствовало привлечению внимания научной общественности и практиков лесного хозяйства к феномену усыхания пихтово-еловых лесов. Именно с конца 1940-х годов массовое усыхание этих лесов стало рассматриваться как важная научная и хозяйственная проблема в изучении и обсуждении которой приняли участие многие исследователи. Уже на самых первых этапах изучения массового усыхания пихтово-еловых лесов были высказаны разные точки зрения по поводу этого явления. Одни из них принадлежит Золотареву (1950а,б, 1953, 1954). Она привлекла к себе внимание лесоводов, хотя многие отмечали ее дискуссионность, а некоторые были не согласны с ней по существу. Золотарев считал, что непосредственной причиной отмирания хвойных деревьев задолго до их естественной старости является ухудшение водно-воздушного режима почвы вследствие ее заболачивания. В заболачивании почв он выделил 2 фазы; в течение первой происходит усиление оподзоленности почвы и создание условий для развития болотного процесса, на второй — затухание подзолистого и интенсивное развитие болотного процесса, что в конечном счете приводит к превращению почвы в глеевую.

По его мнению, все это является результатом прямого влияния пихтово-еловых лесов на почву, происходящее на фоне переувлажнения мест обитаний вследствие большого количества осадков и выровненной поверх-

ности плато. В конечном счете изменения почв должны привести к вымиранию пихтово-еловых лесов и к смене их другими растительными формациями.

Как нам удалось установить (Манько, Гладкова, 1993), гипотезу усыхания пихтово-еловых лесов вследствие заболачивания местообитаний Золотарев сформулировал под влиянием идей В.Р. Вильямса (1949) о едином почвообразовательном процессе и пытался иллюстрировать ее специально подобранными материалами.

С конца 1940-х годов к исследованиям массового усыхания пихтово-еловых лесов подключился Дальневосточный филиал АН СССР. В.А. Розенберг (1950, 1955, 1961) при изучении пихтово-еловых лесов Южного Сихотэ-Алиня в интенсивно усыхающих древостоях (запас сухостоя от 47 до 76%) заложил 5 пробных площадей, на основе которых пришел к выводу, что в первую очередь отмирают крупные экземпляры ели из господствующего полога; в подчиненных пологах ель усыхает менее интенсивно. Усыхающие деревья в среднем несколько старше живых, но среди них довольно большая доля особей, возраст которых ниже возраста естественной спелости ели.

По материалам Розенберга, усыхание происходит во всех типах леса, но более интенсивно в древостоях высокой производительности. В высокогорных ельниках массовое отмирание ели и пихты наблюдается относительно редко и не охватывает значительных площадей. В горных лесах это явление распространено более широко, для долинных лесов, напротив, оно мало характерно. Отмирание ели сопровождается усилением роли сопутствующих пород (пихты белокорой, березы шерстистой), вплоть до их временного преобладания.

Основной причиной усыхания ели Розенберг считал ее перестойность. По его мнению, «...правильнее было бы говорить не об усыхании ели, а об отмирании ее в связи с достижением возраста физической спелости» (Розенберг, 1961, с. 201). Но в таком случае оставались неясными причины отмирания молодых особей ели и пихты, не достигших возраста физической спелости; на это обращали внимание Золотарев и последующие исследователи, не поддерживающие прямую связь усыхания с возрастом отмирающих деревьев.

Массовая гибель темнохвойных пород происходит, по мнению Розенберга, тогда, когда перестойные древостои испытывают резкие колебания жизненных факторов среды. В числе неблагоприятных факторов он называет засуху, длительное сохранение сезонной мерзлоты в почве, заболачивание местообитаний, зимнюю засуху на открытых зимним ветрам склонах верхнего пояса гор.

В целом Розенберг рассматривал массовое усыхание лесов как закономерную стадию отмирания преобладающих старых поколений ели и пихты. По его наблюдениям, усыхание пихтово-еловых лесов обычно начинается группами, затем группы расширяются, сливаются между собой, и постепенно этот процесс охватывает целые участки и даже массивы леса. На месте усохших древостоев происходит успешное и быстрое восстановление новых древостоев с преобладанием темнохвойных пород, то есть происходит есте-

ственный процесс смены старых поколений новыми. С этой точки зрения он подходит к оценке причин возникновения и новых очагов усыхания появившихся в 1980-е годы на севере Приморского края, которые рассматриваются им как закономерные этапы возрастной динамики пихтово-еловых лесов (Розенберг и др., 1993).

Б.П. Колесников (1956) предполагал, что в массовом усыхании перестойных пихтово-еловых лесов повинны сильные летние засухи, которые неблагоприятно влияют и на кедрово-широколиственные леса.

На пробных площадях Розенберга летом 1947 г. К.П. Богатырев (1956) изучал почвы. По поводу причин усыхания пихтово-еловых лесов он в целом присоединился к точке зрения Колесникова и Розенберга, считая, что подавляющем большинстве случаев причиной гибели лесов является дефицит влаги в корнеобитаемых слоях почвы, что обусловлено грубой щелнистостью бурых горно-лесных почв, формирующихся на трещиноватых базальтах. Он критически рассмотрел данные Золотарева и пришел к выводу, что гипотеза этого автора о связи усыхания с процессом оподзоливания почв не подтверждается приводимыми им самим материалами; не подтверждают ее и данные, собранные Богатыревым на пробных площадях.

Вопросами усыхания пихтово-еловых лесов Южного Приморья глубоко интересовался А.И. Куренцов (1950а), объяснивший этот феномен комплексом причин, среди которых были названы биоценотические, эрозионные, нивальные, эдафические и вторичные. Биоценотические факторы (прежде всего насекомые, а затем грибы), по его наблюдениям, приводят лишь к единичному или групповому усыханию ели.

Эрозионные факторы проявляются на крутых горных склонах на абсолютной высоте 700–1200 м, где деревья ели даже в период дождей постоянно страдают от недостатка влаги в корнеобитаемом слое почвы; в результате этого они подвергаются нападению насекомых (прежде всего *Ips typographus*); возникают куртинноизолированные, а также куртинносливающиеся короедники, а иногда образуется концентрированный очаг усыхания, появлению которого могут способствовать частые ливневые дожди, вымывающие мелкозем из почвенного профиля; иногда это сопровождается разрушением местообитания и образованием оползней и каменистых осыпей.

Нивальные факторы усыхания проявляются на ограниченной площади только высоко в горах (1400–1600 м). Эдафические факторы усыхания связаны прежде всего с заболачиванием почв в условиях плато, ведущим к физиологическому ослаблению ели. Здесь очаги усыхания не имеют четкой конфигурации, и лишь время от времени наблюдается концентрация сухостоя в одном месте. Поскольку заболачивание территории выражено неравномерно в пространстве и во времени, очаги усыхания здесь могут находиться в потенциальной, активной и затухающей стадиях. Вторичные факторы связаны с пожарами и рубками. Во всех случаях Куренцов рассматривает насекомых как главное звено, ведущее к усыханию древостоев, а все другие факторы как необходимое условие их физиологического ослабления.

Была высказана и еще одна точка зрения по поводу усыхания ели лесоводом С.Д. Емашевым (Богатырев, 1956), принимавшим за основную при-

чину этого явления обрыв корней под влиянием сильных ветров; прежде всего от этого, по его мнению, страдают перестойные древостои.

В.Н. Смагин (1965) усыхание пихтово-еловых лесов объясняет влиянием засух и реакцией деревьев на временное, но резкое изменение водного режима почвы. Гибель ели, по его мнению, не может быть объяснена ее перестойностью. Очаги усыхания ели и пихты в Южном Приморье появлялись и позже. В частности, в Уссурийском заповеднике они стали объектом изучения Е.П. Калиниченко (Калиниченко, 1972; Калиниченко, Москаев, 1975), который пришел к выводу, что усыхание ели связано с обрывом корней в результате морозного пучения почв, что приводит к нарушению водного баланса и функциональному расстройству обмена веществ у поврежденных деревьев. Г.Э. Куренцова (1973), посетив эти участки, считала, что это явление обусловлено возрастом ели, и отметила успешное восстановление естественным путем темнохвойных пород в очагах усыхания.

2.3. Усыхание пихтово-еловых лесов в Приамурье

В 1950-х годах массовое усыхание пихтово-еловых лесов охватило Приамурье (Манько, 1965; Цуранов, 1965) и было отмечено на побережье Татарского пролива (Цуранов, Арефьев, 1965; Дуплищев, 1969). Отдельные очаги усыхания темнохвойных лесов имелись в Амгунь-Буреинском междуречье. Так, А.Я. Орлов (1955) в бассейне р. Амгунь в 1950 г. наблюдал усохшие участки пихтово-еловых лесов, в которых на части деревьев еще находилась сухая хвоя, «дождем» опадающая при постукивании по стволу. Возраст господствующего поколения ели составлял 200–250 лет. Орлов пришел к выводу, что усыхание пихтово-еловых лесов в этом районе не связано с оподзоливанием и заболачиванием почв. Он подметил, что леса в начале гибнут небольшими участками, на которых усыхают все деревья, независимо от их размеров и возраста, кроме подроста; он предположил, что участки пихтово-еловых лесов, отличающиеся в силу каких-то внутренних причин пониженной устойчивостью, усыхают вследствие резкого недостатка влаги в сухие годы.

По мнению Г.А. Трегубова (1960), причиной усыхания пихтово-еловых лесов в Комсомольском районе Хабаровского края служат периодические сильные засухи в начале вегетационного периода; устойчивость древостоев к их воздействию зависит от степени гумусированности и оподзоленности почв: чем более оподзолены и менее гумусированы они, чем выше их каменистость, тем менее устойчивы древостои к засухе.

В процессе работ экспедиции Дальневосточного филиала АН СССР в бассейнах рек Анюй и Хор (1957 г.) было обращено внимание на наличие значительных площадей пихтово-еловых лесов, в которых верхний полог древостоя распался в результате усыхания (Манько, 1967). Г.Э. Куренцова (1965) также отмечала массовое усыхание пихтово-еловых лесов в верхней части бассейна р. Хор, сопровождавшееся хорошим естественным возобновлением основных лесообразователей.

Несколько позже обследование очагов и изучение процессов усыхания было проведено комплексными экспедициями ДальНИИЛХ в правобереж-

ной части нижнего Амура и на побережье Татарского пролива, а лабораторией лесоведения Дальневосточного филиала АН СССР — в левобережной части нижнего Амура. В это же время (1960 г.) в бассейне Амура работала 5-я Московская лесоустроительная экспедиция ВО «ЛЕСПРОЕКТ», специально занимавшаяся проблемами усыхания лесов. Она обследовала леса в Комсомольском и Селихинском лесхозах, а также в Комсомольском и Бурейском лесхозах Хабаровского края. Дальневосточное лесоустроительное предприятие (г. Хабаровск) на основе обобщения лесоустроительных материалов составило в 1963 г. схематическую карту размещения усыхающих пихтово-еловых лесов в хабаровской части Приамурья в масштабе 1:500 000.

Основные итоги работ в левобережном Приамурье (хр. Мяо-Чан, бассейн оз. Удыль, рек Писуй и Лимури) опубликованы Ю.И. Маньки (1962, 1965). В конспективном виде они сводятся к следующему. Усыхающие участки пихтово-еловых лесов встречаются по всему левобережному Приамурью на различных элементах рельефа. Они располагаются как на крутых склонах, так и на пологих склонах различной экспозиции, а также в речных долинах. Площади усыхающих лесов неодинаковы — от небольших пятен в нескольких десятках квадратных метров до значительных массивов в десятки и даже сотни гектаров. Усохшие древостои чередуются с древостоями, слабо поврежденными или не затронутыми усыханием.

Усыхание пихтово-еловых лесов в одних случаях связано с возрастной динамикой поколений основных лесобразующих пород, в других — с воздействием засух, приводящих к нарушению водного баланса на обширных территориях. В первом случае усыханием затронут преимущественно верхний ярус древостоев и отмирают календарно и онтогенетически старые особи, во втором усыхание охватывает не только старые древостои, но и относительно молодые, не достигшие возраста естественной спелости. Так, в бассейне р. Лимури в приручейном пихтово-еловом лесу с одновозрастным древостоем (100–120 лет) усохла вся ель толще 22 см. В старых разновозрастных древостоях под воздействием засухи гибнут и молодые особи, во многих случаях составляющие 50% и более от количества сухих экземпляров.

На основании изучения прироста живых деревьев и подроста в очагах усыхания был сделан вывод о связи гибели пихтово-еловых древостоев с засухой 1954–1955 гг., проявление которой отчетливо подтверждают климатические диаграммы по ряду станций Приамурья, а также климатологи (Витвицкий, 1969). Наиболее сильно от засух пострадали темнохвойные леса в узких горных долинах. Но и здесь пятна усохших древостоев чередуются с живыми или слабо затронутыми усыханием. Причины усыхания одних и сохранности других участков леса кроются в особенностях геоморфологического строения долин и прилегающих горных склонов, определяющих гидрологический и климатический режим отдельных участков долины.

На горных склонах усыхание лесов происходит менее интенсивно, чем в долинах. Наряду со старыми деревьями, гибнущими в первую очередь, отмирают и молодые, входящие в верхний полог и имеющие хорошо развитую крону. Часть усохших молодых деревьев относится к отставшим в росте; они гибнут в результате резкой смены условий среды после быстрого усыхания верхнего полога.

От воздействия засух наиболее сильно страдает ель. Другие породы, участвующие в древостоях (пихта, березы шерстистая и Эрмана, кедр корейский, иногда лиственница), усыханию подвержены в меньшей степени, в результате чего увеличивается их роль в распадающихся древостоях. Пихта белокорая, в основном находясь в нижних пологах древостоев, имеет незначительные размеры (в том числе и кроны), что позволяет ей перенести засушливые условия с меньшими потерями, хотя она, как и ель, имеет поверхностную корневую систему. Другие древесные породы обладают более глубокой корневой системой и в большей степени защищены от неблагоприятного влияния резких колебаний влажности поверхностных почвенных горизонтов.

При сильных засухах усыхание древостоев происходит внезапно, о чем свидетельствуют наблюдения за приростом усохших деревьев. Так, на участке со сплошным пересчетом деревьев по возрасту, около 50% деревьев ели (а в возрасте 80–120 лет — около 65%) отмерло, не снизив прироста по диаметру перед гибелью; у части особей в возрасте 160–200 лет и почти у всех елей старше 200 лет прирост сокращался постепенно, задолго до усыхания; у некоторых молодых сухих елей он даже увеличивался перед усыханием.

Оставшиеся живыми деревья ели и пихты, а также подрост в большинстве своем увеличивают прирост в высоту и по диаметру; только у некоторых экземпляров после усыхания верхнего полога древостоев прирост сокращался в первые 2–3 года, а затем резко увеличивался.

Усыхание древостоев сопровождается коренными изменениями в кустарничково-травяном и моховом ярусах, а также частично и в подлеске; на смену тенелюбам приходят светолюбивые виды. В долинах разрастаются вейник Лангсдорфа, осоки, реже мезофильное разнотравье, на повышенных участках — папоротники; на горных склонах в зеленомошных пихтово-еловых лесах возрастает роль малины сахалинской и линнеи северной. В подлеске появляется бузина, чаще размещенная группами. В результате нарушения баланса прихода и расхода влаги вследствие резкого снижения расходов на транспирацию даже на горных склонах появляются влаголюбивые виды.

Состояние, состав и размещение нижних ярусов зависят от степени усыхания древостоев и размещения живых стволов и крупного подроста. На сильно инсолированных участках под пологом усохших групп древостоев мхи отмирают и разрастаются вейник, осоки, малина и реже другие виды; в сохранившихся сомкнутых куртинах изменений в напочвенном покрове почти не происходит; в изреженных группах аспекты создают плауны, линнея и другие виды.

Естественное лесовозобновление в усохших древостоях в большинстве случаев проходит удовлетворительно за счет подроста ели и пихты, а иногда и кедра, сформировавшегося под пологом леса. Подрост отличается хорошим ростом и высокой жизненностью. Последующее возобновление в большинстве случаев осуществляется неудовлетворительно, несмотря на наличие источников семян в очагах усыхания и прилегающих участках. Серьезным препятствием для него становится задернение поверхности почв,

создаваемое вейником и осоками. В ряде случаев в долинах на небольших участках происходит смена темнохвойных лесов вейниковыми лугами.

Хорошее естественное возобновление основных лесообразователей в очагах усыхания, усиление прироста выживших экземпляров, а также подраста позволили сделать вывод о том, что массовое усыхание пихтово-еловых лесов не обусловлено постоянным изменением условий местопроизрастания в неблагоприятную сторону для темнохвойных пород и может рассматриваться как одно из противоречий в жизни пихтово-еловых лесов, не ведущее к их вымиранию. Наличие относительно молодых древостоев, а также участков, в почвах которых были обильно представлены древесные остатки, свидетельствует о том, что усыхание пихтово-еловых лесов на этой территории происходило неоднократно и не привело к потере преобладающей роли в растительном покрове этой лесной формации.

В правобережном Приамурье сотрудниками ДальНИИЛХ помимо маршрутных работ и аэровизуальных лесопатологических обследований были выбраны 2 полигона, на которых проводились периодические наземные (в 1963 и 1971 гг.) и аэровизуальные (в 1964 и 1971 гг.) наблюдения (Цуранов, Арефьев, 1965; Цуранов, 1975). Было заложено 9 постоянных пробных площадей; кроме того, на 5 пробных площадях была изучена возрастная структура усыхающих древостоев. На полигонах было осуществлено обследование почв (Говоренков, 1966) и проведены лесопатологические исследования (Челышева, 1965; Юрченко, 1965). По сути дела, это был первый опыт мониторинга усыхания пихтово-еловых лесов на Дальнем Востоке, который осуществлялся в течение 15 лет.

В.П. Цуранов (1965, 1973) на основе аэровизуального обследования темнохвойных лесов правобережного Приамурья установил, что от 44 до 75% площади пихтово-еловых лесов затронуто усыханием. Он выделил три типа усыхания: диффузно-рассеянное, куртинногрупповое и сплошное, которые отражают последовательность происходящих динамических процессов деградациии древостоев и могут рассматриваться как их закономерные стадии. Однако усыхание, по его мнению, не всегда последовательно проходит эти стадии; оно может «остановиться» и на первой, и на второй; все зависит от состояния древостоя и степени воздействия катастрофических факторов. При диффузном усыхании из основного полога выпадают единичные перестойные деревья ели, постепенно снижавшие прирост последние 20–30 лет. Для группового усыхания характерен равномерный отпад деревьев в возрастных группах от 90 до 230 лет; в основном пологом в первую очередь усыхают более молодые деревья, имевшие перед усыханием 20–30-летний период замедленного роста. Сплошное усыхание отличается тотальным отпадом деревьев ели старше 200 лет в основном пологе и близких им по возрасту особей в подчиненных пологих.

Типы усыхания древостоев Цуранов связывал с особенностями возрастной динамики пихтово-еловых лесов различного возрастного строения. Он считал, что для абсолютно разновозрастных древостоев характерно диффузное усыхание, которое в одновозрастных лесах проявляется как одна из ста-

дий возрастной динамики. Ступенчато-разновозрастным древостоям свойственно куртинное (групповое) усыхание, которое в спелых и перестойных одновозрастных лесах является стадией промежуточного распада. Сплошное усыхание присуще одновозрастным лесам, но оно наблюдается редко.

В усыхающих древостоях не обнаружено массовых вредителей хвои ели и пихты (первичных вредителей), но установлена высокая численность стволовых вредителей. Исследование почв показало, что химические их свойства под усыхающими и живыми древостоями существенно не отличаются, что дало повод Цуранову сделать заключение, что этот фактор не является определяющим в процессе усыхания, хотя и придает специфику усыханию в зависимости от гранулометрического состава почв.

Цуранов проследил динамику усыхания пихтово-еловых лесов в конкретных бассейнах и показал на фактическом материале, что стадии (типы) усыхания не всегда последовательно сменяют друг друга. Им установлена связь последнего значительного усыхания пихтово-еловых лесов в районе исследований с сильной засухой 1954–1955 гг. В то же время он отметил, что следующая засуха (1962 г.) не сопровождалась массовым усыханием лесов. Это позволило ему рассматривать засуху только как «толчок» к усыханию древостоев, а не как главную причину. Основной причиной усыхания древостоев, по его мнению, выступает высокий возраст деревьев, образующих древостой, и воздействие комплекса факторов (грибы, насекомые, засухи), вызывающих ослабление деревьев и их усыхание.

Естественное лесовозобновление в очагах усыхания зависит от типа усыхания, но в целом оно проходит успешно. В зеленомошных лесах оно осуществляется с преобладанием основных лесообразователей, а в неморальных пихтово-еловых лесах оно может идти со сменой пород (на березу, на липу). Основную роль в естественном возобновлении лесов играет подрост, возникший под пологом древостоев. Последующему лесовозобновлению препятствует задернение почвы в результате разрастания светолюбивых видов, среди которых выделяется вейник Лангсдорфа.

Б.Ф. Говоренковым (1966) было проведено обследование почв под усыхающими темнохвойными лесами на полигонах в правобережном Приамурье, а также в бассейне р. Бурея. Он не обнаружил никаких следов прогрессирующего оподзоливания и заболачивания почв, о чем в свое время писал Золотарев, а по поводу причин усыхания присоединился к мнению Богатырева (1956). В то же время он высказал предположение, что на состояние пихтово-еловых лесов может влиять токсичность почв, возникающая вследствие длительного произрастания темнохвойных пород на одних и тех же местообитаниях.

Л.П. Челышевой (1965) были изучены дереворазрушающие грибы в усыхающих лесах Северного Сихотэ-Алиня. Она указала более 20 видов грибов, связанных с елью и пихтой, и обратила внимание на сильное поражение деревьев гнилями, вызываемыми корневой губкой (*Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. и трутовиком Швейница (*Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat.). В снижении технических качеств древесины ели и пихты играют

большую роль окаймленный трутовик (*Fomitopsis pinicola* (Fr.) Karst., еловая (*Phellinus pini* (Thore et Fr.) Pil. var. *abietis* (Karst.) Pil.) и темно-фиолетовая кожистая (*Hirschioporus fusco-violaceus* (Fr.) Donk) губки. По данным, интенсивное разрушение древесины начинается на третий год после усыхания дерева.

По материалам 5-й Московской экспедиции, обследовавшей усыхающие пихтово-еловые древостои и почвы на территории нескольких лесхозов и леспромхозов, сделаны выводы об отсутствии связи усыхания древостоев с рельефом и типами леса (Жохов, Волков, 1961). Усыханию подвержена в наибольшей степени ель. Средний диаметр усохших деревьев значительно превышает диаметр живых. Авторы отвергают в качестве основных причин усыхания заболачивание почв, грибные болезни, высокий возраст древостоев и считают главной причиной гибели деревьев воздействие засух. По их мнению, засухи снижают уровень грунтовых вод, что приводит к ослаблению единичных деревьев и их групп, которые подвергаются нападению насекомых; дальнейшая динамика очага усыхания определяется их активностью. Высокая сохранность тонкомерных стволов и подроста связана с тем, что их потребности во влаге удовлетворяются за счет конденсации водяных паров в почве и осадения влаги из тумана на кроне. Естественное возобновление в очагах усыхания осуществляется в целом удовлетворительно без смены пород; площади с неудовлетворительным возобновлением темнохвойных пород занимают около 16%.

Проведенные работы по обследованию очагов усыхания пихтово-еловых лесов в правобережном и левобережном Приамурье позволяют отметить, что усыхание проявлялось на обширной территории от бассейна р. Буреи до устья Амура; оно было характерно и для лесов, растущих на побережье Татарского пролива. Полученные материалы дают основание сделать вывод, что в целом картина и динамика усыхания лесов на этих территориях идентичны. Процесс усыхания развивался под влиянием одних и тех же причин и имел специфику в зависимости от конкретных местообитаний и типов леса. Эти материалы показали масштабность феномена усыхания пихтово-еловых лесов, позволили выявить основные факторы, причастные к этому явлению, и оценить их роль. Хотя в оценке этих факторов и нет единогласия, но независимо полученные результаты весьма близки по своей сути, что, несомненно, свидетельствует об их объективности и репрезентативности.

Масштабы усыхания пихтово-еловых лесов в некоторых лесхозах Хабаровского края наглядно показаны на «Схематической карте» (1963), где пихтово-еловые леса были подразделены на группы по степени усыхания (доле запаса отмершей древесины): 11–25, 26–50, 51–75, 76% и более. Карта свидетельствует, что усохшие пихтово-еловые леса имеются во всех лесхозах; наибольшие площади с высокой интенсивностью усыхания находились в Хорском лесхозе и на территории Селихинского леспромхоза. Большие участки с долей сухостоя свыше 75% имелись в междуречье Коппи и Махады, в бассейне р. Хунгари и на побережье Татарского пролива.

2.4. Усыхание пихтово-еловых лесов в Центральном Сихотэ-Алине

Наличие усохших деревьев в естественных пихтово-еловых лесах явление обычное, и оно, как правило, не вызывает тревоги у работников лесного комплекса. Появление куртин и участков сухостойного леса свидетельствует о том, что процесс ухудшения состояния лесов достиг уже критического уровня, после которого деградация лесов может перейти в стадию массового усыхания древостоев. Только тогда к этому явлению проявляют интерес работники лесного хозяйства и лесопромышленники. Однако начальные этапы усыхания, важные для понимания динамики этого процесса и поиска его причин, остаются в большинстве случаев неизученными. Так это происходило постоянно и в очередной раз случилось при усыхании пихтово-еловых лесов в Центральном Сихотэ-Алине, где оно началось предположительно с конца 1950-х годов (Кошкарев и др., 1982) и постепенно приобрело широкие масштабы. В 1977 г. под руководством Б.С. Петропавловского сотрудниками Тихоокеанского института географии ДВНЦ АН СССР при участии почвоведов Дальневосточного государственного университета в верховьях р. Большая Уссурка был заложен лесоводственно-геоботанический профиль с целью разработки методов локального мониторинга растительного покрова на примере усыхающих пихтово-еловых лесов. Программа работ включала в себя комплексное изучение усыхающих лесов (лесоводственно-таксационная характеристика, лесовозобновление, почвы, факторы усыхания) и разработку методики картографирования состояния лесов с использованием аэрофотоматериалов (Кошкарев и др., 1982; Кошкарев, 1982; Чавтур, Петропавловский, 1984; Усольцева и др., 1987; Майорова и др., 1999).

На основе дешифрирования многозонального аэрофотоснимка на ключевой участок была составлена карта состояния древостоя и сделан вывод, что усыхание лесов началось здесь ранее 1966 г., однако 98% усохшей площади приходилось на период 1972–1977 гг., а резкое нарастание площади с погибшим древостоем произошло в 1972–1973 гг. (Кошкарев, 1982), после начала нового засушливого периода, наступившего в 1971–1972 гг. (Кошкарев и др., 1983).

Изменение в составе и структуре темнохвойных фитоценозов изучалось на 5 пробных площадях, характеризующих основные типы состояний пихтово-еловых лесов в типичных их группировках; на 2 пробных площадях доля усохших стволов по запасу составляла 76–79%, а по числу стволов 50–56%; средний возраст усохшей ели колебался в пределах 90–100 лет.

Состояние естественного лесовозобновления зависит от степени усыхания древостоя; осуществляется оно с преобладанием темнохвойных пород (Кошкарев и др., 1982). По мнению Л.А. Майоровой (1989, 1994), проявляется тесная связь между численностью подроста и степенью усыхания древостоя: чем интенсивнее распад, тем больше подрост; но количество подроста зависит также от экспозиции склона (на южных склонах его больше) и pH почвы (подроста ели больше при pH 5,9–6,0, а пихты — при pH 5,7–5,8).

Состояние кустарничково-травяного и мохового ярусов под пологом усыхающих древостоев определяется степенью их распада; под пологом сильно усохших древостоев снижается проективное покрытие мхами (в ряде случаев мхи исчезают), разрастаются светлюбивые виды, задерживающие поверхность почвы. Развитие дернового процесса снижает интенсивность оподзоливания почв, но в то же время, по мнению авторов (Кошкарев и др., 1982), отрицательно сказывается на состоянии древостоя. Интенсивное поглощение видами разросшегося кустарничково-травяного яруса из корнеобитаемого слоя почвы калия и фосфора, находящихся в ограниченном количестве, в конечном счете, по мнению авторов, обуславливает усыхание леса.

Исследования почв, проведенные Н.Ф. Пшеничниковой (1989а, б), показали, что на первых стадиях усыхания древостоев не происходит заметных трансформаций в морфологическом строении профиля и физических химических свойствах почв; актуальная и обменная кислотность, содержание обменного алюминия в почвенном поглощающем комплексе, величина гидролитической кислотности, содержание гумуса и аморфных форм полторных окислов остаются без существенных изменений. Различия в химических свойствах верхних горизонтов почв проявляются под распадающимися древостоями, давность усыхания которых составляет 10 и более лет.

Усыхание и распад древостоя сопровождаются разрастанием трав, также аккумуляцией гумуса и жизненно необходимых элементов, снижением интенсивности элюво-иллювиальной дифференциации почвенного профиля; все это обуславливает трансформацию подзолистых иллювиальных гумусовых почв в буротаежные (Майорова и др., 1999).

По-видимому, в районе стационара, на котором проводился мониторинг пихтово-еловых лесов, было представлено только мелкоочаговое усыхание древостоев. По мнению Л.А. Майоровой (1994), именно такой характер усыхания является основной особенностью деградации пихтово-еловых лесов в Приморском крае; этому процессу присущи высокая скорость и волнообразный характер.

Групповой и куртинный характер возникновения очагов усыхания Б.С. Петропавловский (1987) связывает с мозаичностью условий произрастания, обусловленной неравномерным поступлением тепла; в частности, по его наблюдениям, очаги усыхания характерны для нижних и средних частей склонов, преимущественно хорошо освещенных. Возраст древостоя, по его мнению, не оказывает существенного влияния на процесс усыхания древостоев, хотя по материалам этого коллектива (Майорова и др., 1982), относительно молодой тонкомерный древостой (пробная площадь 1) усыхания практически не был затронут.

По представлениям А.В. Кошкарева и Б.С. Петропавловского (1987) основная причина усыхания пихтово-еловых лесов в верхней части бассейна р. Большая Уссувка заключается в постепенном уменьшении водности территории, что, по их мнению, наглядно видно на примере водного режима ручьев и рек. Наиболее интенсивно усыхает лес там, где наблюдается самый дефицит почвенной влаги и складывается неблагоприятный микроклимат почвы.

Попытка этого коллектива выявить ведущие факторы усыхания пихтово-еловых лесов при использовании однофакторного информационно-логического анализа привела к следующим результатам: наиболее высокая связь усыхания обнаружена с типами леса, меньшая — с высотой над уровнем моря, крутизной склона, возрастом древостоя и типом почвы (Максимова и др., 1986; Майорова, 1994). В целом же, как мы видим, единой точки зрения по поводу причин усыхания пихтово-еловых лесов в этом коллективе нет.

В 1970–1980 гг. стали появляться сведения об очагах усыхания в пихтово-еловых лесах на севере Приморского края, в частности, на обширном базальтовом плато в верховьях рек Кабанья, Большая Пейя, Бикин. С 1988 г. лаборатория лесоведения Биолого-почвенного института ДВО РАН развернула исследования в усыхающих темнохвойных лесах верхней части бассейна р. Большая Уссувка и в междуречье Светлая–Большая Пейя. С 1989 г. начат мониторинг усыхания пихтово-еловых лесов в бассейнах рек Светлая, Большая Пейя, Кабанья и Единка, материалы которого будут приведены ниже.

В 1990–1992 гг. Московское специализированное лесоустроительное предприятие произвело лесопатологическое обследование части лесов Охотничьего лесничества Верхне-Переувальненского лесхоза (бассейн р. Зева), Светловодского (бассейн р. Большая Пейя) и Самаргинского (бассейн р. Единка) лесничеств и выявила на обследованной территории очаги усыхания пихтово-еловых лесов различной давности (Отчет, 1990–1991; Отчет, 1991–1992). В наибольшей степени оказались затронутыми усыханием высоковозрастные еловые и пихтово-еловые древостои. За основную причину усыхания было принято воздействие комплекса почвенно-климатических факторов на фоне высокого возраста основной части древостоев. Обследование не установило зависимости усыхания от местоположения древостоев. На всей обследованной территории не выявлено очагов массового размножения хвоегрызущих насекомых, но отмечено интенсивное поражение сухих деревьев стволовыми вредителями, которые не являются первопричиной ослабления и усыхания древостоев, хотя и вызывают быструю потерю сухой древесины технических свойств. Основным техническим вредителем древесины является черный пихтовый (большой) усач (*Monochamus urusovi* Fisch.). В процессе обследования выявлен также видовой состав дереворазрушающих грибов, связанных с основными лесобразующими породами.

По материалам обследования состояние естественного возобновления главных пород в очагах усыхания оценено как успешное.

Используя материалы специализированного лесоустроительного предприятия, И.Е. Рыбаков (сотрудник ВНИИЦлесресурс) пытался развернуть мониторинг усыхания пихтово-еловых лесов, используя для этого ранее заложенные пробные площади в бассейнах рек Единка, Большая Пейя и Зева. По его наблюдениям (Рыбаков, 1993), отмирание ели имеет два вида. Первый характерен для «вспышек» массового усыхания, второй — для естественного отпада. В первом случае вся крона дерева или ее верхняя часть изменяет цвет (краснеет); при этом поселение насекомых происходит в верхней части ствола; во втором — наблюдается гибель луба, а вредители поселяются в центральной части ствола; сухая хвоя при этом имеет серовато-зе-

лennyй матовый цвет. По его предположению, «вершинный» тип усыхания может быть связан с воздействием каких-то патогенов, повреждающих проводящие пути, по которым передвигаются вода и питательные вещества; он считает, что симптомы поражения деревьев напоминают признаки бактериальной водянки хвойных.

Массивы пихтово-еловых лесов с признаками усыхания имеются, по данным А.В. Алешина и соавторов (Бикин, 1997), в верхней части бассейна р. Бикин, в частности в истоках рек Зева, Светловодная и других, что подтверждает наши материалы аэровизуальных обследований верхней части бассейна р. Бикин, проведенных в 1988 г. и позже (1990–1993 гг.).

Обобщение сведений, посвященных усыханию пихтово-еловых лесов на Дальнем Востоке, которое основано на оригинальных данных, содержится в работах К.П. Соловьева с соавторами (1961), Л.В. Любарского и К.П. Соловьева (1962, 1965, 1969), Ю.И. Манько (1990).

Перечисленными материалами фактически исчерпываются оригинальные данные об усыхании пихтово-еловых лесов на российском Дальнем Востоке, полученные в процессе обследования очагов усыхания. Мнения по поводу причин этого феномена высказывали и исследователи, не изучавшие его в природе. Так, А.Л. Щербин-Парфененко (1963) полагал, что усыхание пихтово-еловых лесов на Дальнем Востоке может быть следствием поражения древостоев бактериозом.

По предположению Т.Э. Фрея (устное сообщение), усыхание темнохвойных лесов на российском Дальнем Востоке, как и в Западной Европе (Фрей, Фрей, 1986), происходит под влиянием загрязнений, которые поступают сюда из промышленно развитых стран Юго-Восточной Азии.

Е.К. Козин (1982, 1986) считает, что массовые распады пихтово-еловых древостоев, ведущие к их омоложению, связаны с периодами солнечной активности. В связи с периодическими распадами древостоя, отличающимися разной интенсивностью, девственный пихтово-еловый лес, по его мнению, никогда не достигает климаксового состояния.

В.М. Урусов (1991, 1996) рассматривал усыхание пихтово-еловых лесов в регионе как этап климатогенной смены таежной формации смешанными лесами в результате потепления климата. Он почему-то считал, что усыхание темнохвойных лесов происходит в нижней части этого пояса растительности, тогда как на абсолютных высотах 900–1300 м создается, по его мнению, наиболее благоприятная обстановка для этих лесов, несмотря на молодость и маломощность почв.

Вслед за констатацией факта усыхания пихтово-еловых лесов Урусов рекомендует: «...усыхающие ельники лучше заменять плантациями кедра корейского и широколиственных пород с ценными «цветными» древесинами (ясень маньчжурский, диморфант, вишня сахалинская и т.п.)» (Урусов, 1996, с. 259).

В.Д. Чернышев (1990, 1994, 1996) полагал, что усыхание пихтово-еловых лесов в регионе обусловлено физиологическим стрессом, развивающимся при ослаблении солнечной активности, которая определяет степень приближения теплого течения Куросио к берегам Приморья. В свою очередь,

приближение этого течения к материку сопровождается увеличением повторяемости суровых зим (с глубоким промерзанием почвы) и засушливостью осенне-летнего периода; это приводит к стрессовой ситуации вследствие корне-лиственной физиологической несогласованности, что может вызвать гибель хвойных деревьев. Физиологический стресс возможен и при высокой солнечной активности, но он проявляется в меньшей степени и зависит от конкретных погодных условий зимне-весеннего периода (Чернышев, 1996).

А.Я. Орлов (1996) первопричиной усыхания ельников (в том числе и на Дальнем Востоке) считал нарушение водного баланса, при котором водный потенциал хвои достигает летальных значений; это может происходить не только в летнюю засуху, но и в морозную зиму.

А.П. Сапожников (1996) связывает цикличность усыхания пихтово-еловых лесов с поселением ели на гниющих валежных деревьях, что предопределяет снижение устойчивости древостоев вследствие размещения корневых систем деревьев в двух контрастных по физическим свойствам средах — мелкоземисто-скелетной и перегнойно-детритной. В конечном счете, по его мнению, это приводит к повреждению корневых систем и к ослаблению древостоев.

Некоторые исследователи неоднократно уточняли свою точку зрения на причины усыхания пихтово-еловых лесов, в результате чего в качестве ведущих назывались в разное время разные факторы. В первую очередь это относится к С.А. Золотареву, который существенно пересмотрел гипотезу прогрессирующего ухудшения почв в результате жизнедеятельности ели; это произошло, по-видимому, под влиянием критики его ортодоксальных взглядов, а также вследствие получения новых данных, не подтверждающих его гипотезу. По его уточненному мнению (Золотарев, 1962), основной причиной усыхания пихтово-еловых лесов является кратковременное, но очень резкое изменение питательного режима почвы, вызванное сокращением или повышением запасов в ней влаги; чаще всего недостаток в почве воды и физиологически доступных веществ (Ca, Mg, K, P и др.) вызывает массовое усыхание пихтово-еловых лесов, которое не приводит к их гибели как лесной формации — на смену усохшему лесу возникает такой же по составу и продуктивности.

Л.В. Любарский также несколько изменял точку зрения на причины усыхания лесов; в частности, в одной из публикаций (Любарский, 1964) он, в отличие от предыдущих высказываний, назвал ведущей причиной усыхания ели достижение этой породой возраста старения. В более ранней работе (Любарский, Соловьев, 1962) было обращено внимание лишь на пониженную жизнестойкость ели и пихты в связи с достижением ими возраста естественной старости. В одной из последних обобщающих работ, написанных совместно с К.П. Соловьевым, ведущей причиной усыхания пихтово-еловых лесов признана перестойность древостоев, воздействия на которые засушливых, а в некоторых случаях избыточно влажных периодов приводят к «...еще большему ослаблению и без того уже физиологических ослабленных перестойных деревьев ели и пихты, вследствие чего они становятся добычей насекомых-вредителей...» (Любарский, Соловьев, 1969, с.129); немаловажную

АРЕАЛ, ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ И БИОЛОГИИ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

роль в развитии усыхания, по их мнению, играют дереворазрушающие грибы. Интенсивное усыхание деревьев продолжается 3–5 лет, а в последующие 5–10 лет оно затухает. Усыхание проходит неодинаково в пределах обширной территории, на которой оно проявляется, что связано с зонально-региональными особенностями темнохвойных лесов. В очагах усыхания естественное возобновление основных лесообразователей происходит в большинстве случаев успешно; в Приморском крае в составе подроста выше доля лиственных пород. Усыханию подвержены леса, произрастающие на разных элементах рельефа, но большая часть усохших древостоев расположена на склонах до 10° (Любарский, Соловьев, 1969).

Завершая эту главу, подведем некоторые итоги. Массовое усыхание пихтово-еловых лесов происходило в регионе неоднократно и захватывало обширные площади. Очаги усыхания были отмечены в Приморье и Приамурье на различных высотных уровнях и на различных элементах рельефа. Они характерны для субформации пихтово-еловых лесов, но отмечены и в субформации елово-пихтовых лесов. Массовое усыхание древостоев не зафиксировано в темнохвойных лесах, произрастающих на Курильских островах и на Сахалине, а также в субформации еловых лесов на Камчатке, Сахалине и в северных районах Хабаровского края и Амурской области.

Накопленные к настоящему времени материалы, характеризующие этот феномен, позволяют в общем виде оценить масштабы, стадии и формы этого процесса, основные факторы, обуславливающие его, степень трансформации фитоценозов и поведение отдельных их компонентов, особенности и темпы круговорота вещества и энергии в биогеоценозах, экологические и хозяйственные проблемы, связанные с массовым усыханием древостоев, а также попытаться выявить его региональные аспекты.

По поводу причин усыхания пихтово-еловых лесов высказано несколько точек зрения, но ни одна из них не стала общепризнанной. Большинство исследователей, начиная с Л.В. Любарского, А.И. Куренцова и экспедиций ДальНИИЛХ, связывают усыхание лесов с комплексом причин, пытаются выделить среди них главные или ведущие, но предпринимались попытки свести это сложное явление к одной причине (заболачивание местообитаний, бактериальные заболевания древостоев, обрыв корней, и т.д.). Вокруг проблемы усыхания пихтово-еловых лесов складывается своеобразная «наука мнений»: часть гипотез не подтверждена фактическими материалами; более того, некоторые авторы и не предпринимают попыток сопоставить свои гипотезы с реальными фактами, которые добыты другими исследователями, а на протяжении ряда лет тиражируют свои взгляды в различных изданиях. Все это делает весьма актуальным дальнейшее изучение феномена усыхания пихтово-еловых лесов с целью выяснения влияния стрессовых факторов различной природы на экосистемы темнохвойных лесов. Это позволит подойти к разработке методов прогнозирования массового усыхания пихтово-еловых лесов, что в конечном счете приведет к снижению ущерба от этого явления.

3.1. Ель аянская

Естественный ареал ели аянской находится в зоне активного влияния Тихого океана (рис. 8). Леса с преобладанием и участием этой породы распространяются на север примерно до 59° с.ш. Западная граница их распространения проходит между 126° и 127° в.д. Самое западное изолированное местонахождение ели (несколько западнее 120° в.д. отмечено на хребте Дунлин в провинции Жэхэ (КНР) почти на 40° с.ш. (Wang, 1961). На п-ове Корея южная граница этого вида проходит несколько южнее 40° с.ш. (Schmidt-Vogt, 1977). Но самое южное нахождение ели аянской, по данным Jong-Won Kim, находится на г. Шири-сан (1915 м над ур. м.), расположенной почти на 35° с.ш. (Man'ko, 1999).

На о-ве Хонсю имеется обособленная часть ареала ели, представленной *Picea jezoensis* var. *hondoensis* (Mayr.) Rehd. (Ohwi, 1965); южная граница этой разновидности проходит на 34° с.ш. (Schmidt-Vogt, 1977). Еще один «остров» аянской ели имеется в Центральной Камчатской депрессии (Манько, Ворошилов, 1978).

Таким образом, ель аянская имеет дизъюнктивный ареал, главная часть которого размещена на восточной окраине Евразийского материка, островах Сахалин, Кунашир и Хоккайдо, а подчиненные на Камчатке и Хонсю. По типу распространения ареал ели аянской следует назвать охотским.

Верхние и нижние пределы распространения лесов с преобладанием ели аянской зависят от географической широты местности, высоты и массивности горных сооружений, а также от ветрового режима местообитаний. В общем виде эти пределы при движении от южной границы распространения ели к северной изменяются сходным образом — они понижаются. На конкретное положение верхних и нижних пределов распространения ели влияют также экспозиция склонов, в том числе и по отношению к воздушным морским массам, лесные пожары, вулканогенные воздействия и другие экзогенные факторы.

В Северо-Восточном Китае и на п-ове Корея темнохвойные леса с елью аянской образуют высотный пояс растительности, нижняя граница которого находится на высоте 800–1500 м над ур. м.; в Южном Сихотэ-Алине эта граница проходит на абсолютной высоте 600–650 м, а в Северном она спускается к уровню моря. В общем виде такая же картина наблюдается на

островах: на Хонсю субальпийский вечнозеленый хвойный лес с участием ели аянской распространен на высоте 1500–2500 м (Ishizuka, 1974), на юге Хоккайдо «горная биоклиматическая зона *Abies sachalinensis*» (Kojima, 1979, 1995) находится на 500–1100 м, на севере этого острова – на 400–1000 м, а на Кунашире темнохвойные леса начинаются от уровня моря.

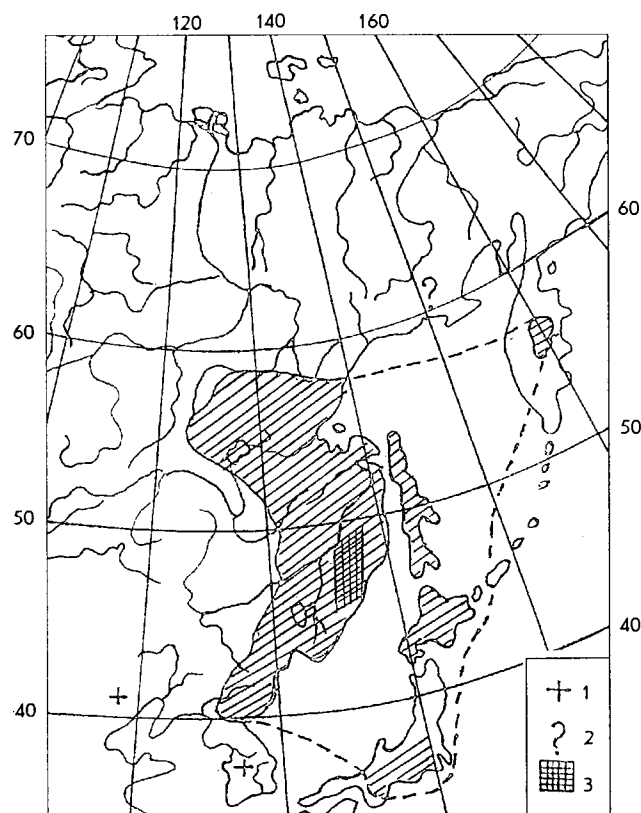


Рис. 8. Ареал *Picea jezoensis* (Siebold et Zucc.) Carr. (по: Манько, 1987). 1 – изолированные местонахождения, 2 – сомнительное местонахождение, 3 – район мониторинга

Ель аянская – дерево первой величины, в оптимальных условиях достигающее высоты 40 м и диаметра на высоте груди более 1 м. Корневая система у ели поверхностная. Она образована мощными боковыми корнями, от которых на глубоких дренированных почвах вниз отходят якорные; на аллювиальных почвах может быть стержневой корень. Но в подавляющем большинстве местообитаний основная масса корней ели размещена на глубине 25–30 см, что потенциально делает эту породу зависимой от водно-воздушного и температурного режима поверхностных слоев почвы. В то же время ель способна образовывать придаточные корни при погребении основания ствола растительным опадом или аллювиальными наносами. Прида-

точные корни типичны для подроста, растущего на переувлажненных и холодных местообитаниях, когда его корневая шейка закрывается слоем мхов. Активная часть корневых систем подроста чутко реагирует на гидротермические условия различных слоев почвы, что определяет особенности размещения корней. Корневая система подроста ели, растущего на мертвой валежной древесине, обычно размещена в пределах этой древесной массы и отличается отсутствием стержневого корня.

Большинство исследователей относят ель к ветровальным породам. Древостои ели, сомкнутость которых не нарушена вмешательством человека, страдают от ветровалов только при значительной силе ветра. Устойчивость к ветру единичных деревьев ели, оставшихся на вырубках, зависит от особенностей местообитания: на переувлажненных почвах они быстро вываливаются, на дренированных могут сохраняться в течение 3–4 лет.

Если в целом оценивать влияние ветра на темнохвойные леса, то можно выделить такие этапы, вызванные нарастанием неблагоприятного влияния ветра: уменьшение производительности древостоя – снижение эдификаторной роли темнохвойных пород вследствие ослабления их конкурентной способности на ветробойных участках – потеря темнохвойными породами преобладающей роли в лесных сообществах (Манько, Ворошилов, 1976).

Максимальная продолжительность жизни хвои у ели аянской составляет 9–11 лет, но уже со 2-го года жизни ее количество уменьшается на 2–7%; наибольший отпад хвои приходится на 6-й год (Базунова и др., 1977). Сокращению продолжительности ее жизни способствуют морозные повреждения, насекомые и грибные болезни, а также загрязнения. Продуктивность хвои ели ниже, чем пихты белокорой: так, по данным В.П. Ворошилова (1968), при одинаковой толщине стволика масса хвои у подроста ели больше, чем у пихты.

Ель аянская – долговечная древесная порода, отдельные особи которой доживают до 500 и более лет. Для наиболее старых ее экземпляров характерна сильная задержка в росте в начале жизни, причем чем дольше период замедленного роста, тем большим долголетием отличается особь. При улучшении эколого-фитоценологических условий ель, длительное время находившаяся в угнетении, способна увеличивать темпы роста. Предельно старые экземпляры чаще встречаются в северной и северо-западной частях ее ареала. Вообще же ель свойствен неравномерный рост. Ее экземпляры, растущие под материнским пологом, чаще всего характеризуются несколькими периодами замедленного роста, что вызвано периодической перестройкой эколого-фитоценотической обстановки в процессе возрастной динамики древостоя.

Физическая спелость ели наступает в наиболее распространенных типах леса в Приморском крае в 180–200 лет (Шавнин, 1966, 1968), а в северной части Сихотэ-Алиня – в 200–240 лет (Дуплищев, Чельшева, 1966; Манько, 1967; Дуплищев, 1971). Это совпадает с сенильным этапом онтогенеза ели, на котором происходит естественный распад пихтово-еловых древостоев.

Девственные пихтово-еловые леса отличаются разновозрастной структурой древостоя, приближающейся к абсолютной разновозрастности. В иде-

альном случае такой лес должен бы характеризоваться четко сбалансированными процессами отпада и прироста, что достигалось бы постепенным отмиранием старых поколений и одновременной сменой их молодыми. При этом девственному темнохвойному лесу была бы свойственна пространственная мозаичность, обусловленная медленной сменой поколений. Этот процесс складывается из ряда последовательных стадий, и ему присущ циклический характер (Манько, 1987).

Для значительной части естественных пихтово-еловых лесов характерна относительная разновозрастность, где преобладающее поколение ели отличается меньшей амплитудой возраста, что связано с развитием этих древостоев в процессе послепожарных сукцессий растительности и массового усыхания, реже после интенсивных ветровалов. В этом случае смена поколений лесобразующих пород может происходить более высокими темпами по сравнению с девственными лесами.

Производительность древостоев определяется климатическими и почвенно-гидрологическими условиями и значительно колеблется (от 1а до 5а классов бонитета). Наибольший запас древесины в пихтово-еловых лесах (до 1000 м³) отмечен в бассейне оз. Кизи (Стариков, 1961).

Естественное возобновление ели под пологом пихтово-еловых древостоев осуществляется удовлетворительно, хотя количество и качество подроста зависят от типа леса и стадии возрастной динамики древостоя; значительная доля подроста ели в наиболее распространенных типах леса размещена по трухлявому валежу, отличающемуся высокой влагоемкостью. В большинстве случаев смена старых поколений ели молодыми происходит успешно.

Потребность ели аянской в тепле невысокая. Наименьшая сумма температур выше 10°C отмечена на Шантарских островах (станция Большой Шантар), где она равна 715°C. По-видимому, такой уровень теплообеспеченности близок к предельной минимальной величине для ели аянской. Об этом можно судить по индексу тепла, предложенному Кирой (Yim Yang-Jai, Kira, 1975; Kira, 1977), минимальное значение которого для ели аянской в Корее составляет 18–23,9°C (Yim Yang-Jai, 1977), в Северо-Восточном Китае – 19°C (Сюй Веньдо, 1983), а на Шантарских островах – 17,4°C (Манько, 1987). На российском Дальнем Востоке аянские темнохвойные леса произрастают при индексе тепла 17–45°C, в Корее – при 18–79°C (Yim Yang-Jai, 1977), в Северо-Восточном Китае (Сюй Веньдо, 1983) – при 18–71°C, а по другим данным (Fang Jing-yun, Yoda Kyoji, 1989), – при 15,5–54,4°C. Субальпийский хвойный лес в Центральной Японии существует при величине индекса тепла 15–45°C (Kira, 1977).

Абсолютный минимум температуры воздуха в ареале ели аянской достигает –55°C. В отдельные суровые зимы, для которых характерны резкие колебания суточных температур, происходит повреждение хвои и вегетативных почек морозом (Мигин, Тагильцева, 1980). Весной поврежденная хвоя приобретает буроватый оттенок и отмирает. Молодые побеги ели страдают от поздних весенних заморозков; ее подрост, растущий на открытых местах, повреждается при –3...–4°C (Ворошилов, 1969).

Для ели характерен короткий период глубокого покоя, который заканчивается в ноябре–декабре. По этой причине она может повреждаться морозом в местностях даже с мягкой зимой, если для нее характерны длительные оттепели.

Абсолютный максимум в ареале ели достигает 40–41°C. Ель аянская относится к видам, у которых может происходить «перегрев» хвои, – недостаточное охлаждение листового аппарата за счет транспирации. Для защиты от перегрева у нее выработались специфические приспособления: расположение инсолируемой хвои острием к максимальному потоку солнечной радиации, а также усиление синтеза воскового вещества, что придает хвое голубоватый цвет (Чернышев, 1984). По жароустойчивости ель аянская уступает некоторым елям, растущим на Дальнем Востоке: коагуляция протоплазмы у нее происходит при температуре 50–52°C, тогда как у ели корейской – при 54–56°C, а у ели сибирской – при 58–66°C (Золотарев, 1971). По наблюдениям на Сахалине (Новохатка, 1969) при нагреве поверхности почвы выше 40°C происходит ожог всходов ели, а неблагоприятное влияние на их развитие начинает проявляться при температуре 35°C.

Ель аянская способна занимать местообитания с длительным сохранением сезонной мерзлоты в почвах, что в районах с континентальным климатом помогает переносить ей неблагоприятные условия водоснабжения в начале вегетационного периода, особенно на рыхлых почвогрунтах с высокой водопроницаемостью. В то же время сезонная мерзлота почв оказывает влияние на состав и производительность темнохвойных лесов и в ряде случаев может выступать сильным фактором стресса. Это происходит в сухую солнечную погоду в начале вегетационного периода, когда мерзлота находится в пределах корнеобитаемого слоя почвы. В северной части своего ареала ель, по-видимому, более приспособилась к произрастанию на грунтах с длительным сохранением мерзлоты благодаря поэтапной работе корневой системы: по мере опускания мерзлоты в обеспечение растений влагой и питательными веществами включается нижерасположенная часть корневой системы. Благодаря этому обеспечивается устойчивость ели на таких местообитаниях (Манько, 1987).

Если принять климатические параметры районов, где ель аянская преобладает в растительном покрове на всех дренированных местообитаниях и образует древостой с наиболее высокой производительностью, за оптимальные, то они выглядят так: среднегодовая температура колеблется от 0 до 11°C, продолжительность вегетационного периода составляет 145–155 дней, количество осадков за теплый период – от 370 до 590 мм, число дней с температурой 10°C и выше – 100–115, индекс тепла Кира – 34–40°C, относительная влажность воздуха самого теплого месяца 80% и выше. Оптимальные показатели для *Picea abies* значительно мягче (Schmidt-Vogt, 1977).

Ель аянская относится к влаголюбивым видам, о чем свидетельствуют не только размещение ее на территории с высокой влажностью воздуха в течение вегетационного периода, но и опыт выращивания за пределами ее ареала, а также структурные особенности листьев. По показателю влаголюбия (отношение площади центральной проводящей системы к площади по-

перечного сечения хвои) ель аянская входит в группу влаголюбивых видов (Нестерович и др., 1986); и по другому показателю «водолюбия» (отношение поверхности листьев к их объему), предложенному А.В. Гурским (1972), она также относится к этой группе.

При выращивании ели аянской в условиях засушливого или сухого климата в летние месяцы часты ожоги хвои и гибель растений (Славкина, 1968); этот вид может переносить низкую влажность воздуха при искусственном увлажнении почв (Тбилисский и Алма-Атинский ботанические сады, Ботанический сад АН Киргизской ССР). Это объясняет размещение ели и ее группировки в континентальных условиях с неустойчивой влажностью воздуха на участках с сильным проточным увлажнением.

В естественных условиях ель аянская отличается высокой гидрофильностью коллоидов протоплазмы, наименьшей (по сравнению с пихтой белокорой и кедром корейским) концентрацией клеточного сока, наибольшей способностью хвои насыщаться атмосферной влагой и низкой устойчивостью к обезвоживанию (Калиниченко, 1974). Все это, а также структурные особенности хвои (Несцярович, Дзяругина, 1978; Нестерович и др., 1986) характеризуют ель аянскую как гигромезофит.

О роли атмосферного и почвенного увлажнения в жизнедеятельности ели можно получить представление по результатам опыта с изоляцией корневой системы ели от поступления почвенных вод и атмосферных осадков. В полевом опыте удалось добиться значительного иссушения корнеобитаемого слоя почвы до величины тройной максимальной гигроскопичности (Калиниченко, 1973), но это на протяжении нескольких лет не привело к летальному исходу для ели, поскольку она компенсировала недостаток почвенной влаги за счет поглощения ее из атмосферы, так как абсолютная влажность воздуха во время опыта была постоянно высокой (Калиниченко, 1967).

Ель предпочитает дренированные свежие почвы, но растет и на заболоченных. Лучше всего она чувствует себя на хорошо дренированных аллювиальных почвах с постоянным проточным увлажнением и привносом питательных веществ. Кратковременное затопление паводковыми водами переносит удовлетворительно. Древостои ели и пихты растут на почвах, сформировавшихся на различных материнских горных породах. Сравнительно часто ель размещается на базальтовых покровах, которые характерны для Сихотэ-Алиня. Ее леса встречаются на почвах, мощность которых сильно варьирует. В горных условиях, особенно в подгольцовой полосе, развиты мелкие фрагментарные почвы, органогенный горизонт которых непосредственно размещен на крупных обломках горных пород. Ель поселяется на субстратах с кислой реакцией: в частности, на Хоккайдо она растет на почвах с кислотностью 4,17–5,21 (Kojima, 1995). Эта порода избегает высокой засоленности почв, хотя и способна переносить некоторое засоление субстрата, происходящее под воздействием морской воды, что характерно для низких береговых валов. В целом ель аянскую можно считать видом, не требовательным к почвам.

Ель аянская — типичный теневыносливый вид, превосходящий по степени теневыносливости все другие виды елей, распространенные в пределах ее ареала. Фотосинтетический аппарат ели приспособлен к относительно

низкой интенсивности ФАР, о чем свидетельствует высокая концентрация пигментов в хвое, возрастающая с понижением уровня освещенности (Усова, 1971; Чернышев, 1973). Наиболее фотосинтетически активна хвоя текущего года (Козина, 1977). Эта ель способна очень длительное время существовать под сомкнутым пологом в крайне неблагоприятных световых и в целом эколого-фитоценологических условиях.

Ель аянская, произрастающая в областях современного вулканизма, переносит загрязнение атмосферы вулканической пылью и газами. При извержении вулканов даже на значительном удалении от центра извержения в воздухе возрастает содержание углекислого и сернистого газов, хлористого водорода и других токсических соединений (Башарина, 1958), причем в ряде случаев концентрация их превосходит пороговые величины, после которых происходит повреждение деревьев, например ели европейской. Столь высокая концентрация токсических газообразных соединений кратковременна, однако на протяжении жизни одного поколения ели это может происходить неоднократно.

Ель аянская переносит загрязнение хвои и кроны тонкой пирокластикой, хотя это снижает продуктивность и продолжительность жизни хвои. Постоянная встречаемость этой ели на морских побережьях, в том числе и на супралиторали, свидетельствует о том, что ее листовая аппарат резистентен к загрязнению морскими солями.

Ель аянская сильно страдает от пожаров по причине тонкой коры у молодых экземпляров, поверхностной корневой системы, а также устойчивости пожаров вследствие мощной, нередко оторфованной подстилки; чаще всего в ельниках возникают верховые пожары, чему способствует низко опущенная крона. Для молодого поколения ели, формирующегося под вторичными мелколиственными древостоями, губительны даже беглые низовые пожары.

С елью аянской в Приморском крае связано более 70 видов вредных насекомых (Куренцов, 1950б). В числе ее первичных вредителей: типограф (*Ips typographus*), большой черный еловый дворовосек, еловый лубоед (*Blatophagus puellus*) и другие виды. В темнохвойных лесах отмечены вспышки сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus*), а также массовое размножение пихтовой листовертки (*Choristoneura murinana* Hb.), в число кормовых растений которой входит и ель аянская (Ивлиев, Кашеев, 1970; Ивлиев и др., 1970; Юрченко и др., 1996). В 1989–1991 гг. в пихтово-еловых лесах Сихотэ-Алиня впервые было отмечено массовое размножение пяденицы Якобсона (*Erannia jacobsoni* Djak.), повреждающей ель и пихту белокорую (Юрченко и др., 1996; Турова, Юрченко, 1996).

По классификации Л.В. Любарского (Любарский, Васильева, 1975), ель аянская относится к среднеустойчивым видам по отношению к дереворазрушающим грибам. Грибы вызывают стволые и напенные гнили и сильно снижают выход деловой древесины. Чаще всего ель повреждается напенной (корневой) гнилью, вызываемой трутовиком Швейница, опенком осенним (*Armillariella mellea* (Fr.) Karst.) и реже другими грибами. Стволую гниль наиболее часто вызывают сосновая губка и еловый трутовик (*Polystictus circinatus* (Fr.) Karst. var. *triqueter* Bres). Ель поражают также ржавчинные (*Thecop-*

sora areolata (Fr.) Magn., *Chrysomyxa woronini* Tranz., *Ch. ledi* (Alb. et Schw.) d By) и сумчатые грибы (*Lophodermium macrosporum* (Hart.) Rhem.) (Азбукина, 1974; Чельшева, 1966).

Для пихтово-еловых лесов характерно обилие микоризообразователей из родов паутинников и млечников (Назарова, 1967). По данным Е.М. Булах (1978), на Верхнеуссурийском стационаре (Приморский край) у ели аянской обнаружено 27 видов микоризообразователей, из них только с ней связано 12 видов.

Приведенные в конспективном виде основные черты биологии и экологии ели аянской характеризуют ее как влаголюбивую и умеренно теплолюбивую древесную породу. Она отличается относительным экологическим постоянством, что достигается путем избирательного отношения к топологическим условиям. В пределах климатического оптимума ель произрастает на всех подходящих для нее местообитаниях. При снижении теплообеспеченности ее группировки чаще встречаются на южных склонах и в долинах рек, где корнеобитаемая зона раньше освобождается от мерзлоты. При нарастании континентальности климата, что сопровождается неустойчивым режимом увлажнения, группировки ели отодвигаются в верхний пояс гор, на холодные местообитания с поверхностно-проточным увлажнением и относительно стабильной влажностью воздуха.

На территориях с высокой теплообеспеченностью, но с неустойчивым увлажнением, что характерно для пояса хвойно-широколиственных лесов, ель аянская образует группировки со своим преобладанием чаще всего по долинам горных водотоков и на северных склонах, на что обращал внимание еще Я.Я. Васильев (1938).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что основными физическими факторами, оказывающими преимущественное влияние на размещение ели в ареале, являются теплообеспеченность и влажность воздуха и почв; другие факторы (ветер, эдафические условия) играют определяющую роль на конкретных местообитаниях; более общее значение имеют лесные пожары, под влиянием которых находится растительность региона.

В современных климатических условиях ель аянская занимает в целом устойчивые позиции и, более того, проявляет отчетливые тенденции продвижения в ниже- и вышерасположенные пояса растительности (Ивашкевич, 1933; Васильев, 1938; Розенберг, 1955; Колесников, 1956; Пономаренко, 1961; Манько, Ворошилов, 1978; и др.). Однако под воздействием лесных пожаров в историческое время произошло значительное сокращение площади аянских темнохвойных лесов. При сохранности лесорастительных свойств эдафотопы и при наличии источников семян ель восстанавливается естественным путем на ранее утраченных ею местообитаниях, что наблюдается во всех частях ее ареала.

Если рассмотреть особенности экологии ели аянской с точки зрения устойчивости ее к флуктуациям погодно-климатических условий, антропогенным и пирогенным воздействиям, то можно обратить внимание на следующие обстоятельства. Высокое влаголюбие этого вида является его своеобразной «ахиллесовой пятой» при засушливых условиях, которые периоди-

чески проявляются в регионе, особенно в материковой его части. Высокая теневыносливость ели аянской, позволяющая ей успешно возобновляться естественным путем под материнским пологом, в то же время выступает главной причиной трудной адаптации предварительного подростка к условиям сплошных вырубок (замена теневой хвои на световую, повреждение солнечными ожогами, морозом, насекомыми и грибами). Поверхностная корневая система делает ель очень зависимой от влажности, воздушного режима и температуры верхних слоев почвы и способствует поражению ели пожарами, а также обуславливает ее высокую ветровальность, особенно на переувлажненных местообитаниях.

3.2. Пихта белокорая

Пихта белокорая — постоянный спутник ели аянской, совместно с ней она создает пихтово-еловые и елово-пихтовые леса, в которых лесообразующая роль древесных пород определяется почвенно-климатическими условиями, а на конкретных местообитаниях варьирует в процессе возрастной динамики древостоев (Манько, 1987).

Пихта белокорая встречается только в материковой части Дальнего Востока. Самые северные точки ее распространения отмечены в бассейне р. Уда (Гожев, 1934; Доронина, 1973), западные — в восточной части хр. Тукурингра (Кузенева, 1914), южные — на п-ове Корея, недалеко от его южной оконечности (Мащенко, 1964). В центральной части ареала высотные пределы распространения пихты белокорой примерно такие же, как и ели аянской, однако в северной и западной частях ареала она приурочена в основном к долинным местообитаниям. По типу распространения ареал пихты белокорой целесообразно именовать корейско-приамурским.

Эти породы весьма близки по своей экологии, на что обращали внимание Б.П. Колесников (1938), Н.В. Дылис и П.В. Виппер (1953) и другие авторы. А.И. Толмачев (1954) считал, что пихтово-еловые леса вследствие экологической близости основных лесообразователей приближаются по своей структуре к монодоминантным ценозам. Ель аянская и пихта белокорая имеют одинаковые амплитуды суммы активных температур и близкий оптимум по гидротермическому коэффициенту (Петропавловский, 1993).

Пихта белокорая достигает высоты 30 м и диаметра 60 см, доживает до 200–250 лет. В пихтово-еловых лесах она играет основную роль во втором пологе, единично участвуя в первом. На стадии распада старого поколения ели преобладание в древостое временно может перейти к пихте. Популяция пихты, как и ели, разновозрастная. Основное поколение пихты формируется под еловым пологом; за время жизни одного поколения ели в среднем сменяется два поколения пихты (Манько, 1967).

По сравнению с елью пихта более теплолюбива, она выпадает из растительного покрова или имеет неустойчивые позиции в местностях с суммой активных температур менее 1200°C. Она не встречается на территориях, где годовая суммарная солнечная радиация менее 90 ккал·см⁻². По наблюдению

на вырубке пихта позже ели трогается в рост и заканчивает рост в высоту на две с половиной недели позже (Калиниченко, Калиниченко, 1974).

По степени теневыносливости пихта превосходит ель аянскую, о чем свидетельствует более успешное естественное возобновление ее под сомкнутым пологом, а также данные о пороговом значении ФАР (Выгодская, Лебедева, 1977). Вместе с тем пихта обычно быстрее ели адаптируется к условиям сплошных вырубок, хотя она, как и ель, на вырубках и гарях повреждается поздними весенними заморозками и страдает от солнечных ожогов, насекомых и грибов.

Корневая система пихты поверхностная и размещается в тех же почвенных слоях, что и корни ели. Эти породы в равной степени испытывают колебания параметров верхних горизонтов почвы (влажности, воздушного режима и температуры).

Пихта требовательна к богатству почвы и отличается лучшим ростом на хорошо дренированных аллювиальных почвах. По мнению Б.П. Колесникова (1938), в Среднем Сихотэ-Алине пихта лучше, чем ель, переносит застойное увлажнение почвы, однако в бассейнах рек Амгунь и Бурей, по наблюдениям А.Я. Орлова (1955), она выдерживает только самые начальные стадии заболачивания почв. Это, скорее всего, связано не только со степенью заболаченности почв, но и с их температурой: пихта избегает почвы с длительным сохранением в корнеобитаемом слое мерзлоты. При недостаточной обеспеченности влагой почвы пихта белокорая, как и ель, связывает воду в повышенной степени за счет увеличения гидрофильности коллоидных веществ протоплазмы, но, в отличие от ели, и путем повышения концентрации осмотически активных веществ (Калиниченко, 1973). Для обеспечения нормальной жизнедеятельности пихте требуется несколько меньшая абсолютная влажность воздуха, чем ели аянской (Калиниченко, 1972; Калиниченко, Калиниченко, 1974). По структурным особенностям хвои она отнесена Н.Д. Нестеровичем с соавторами (1986) к мезофитам.

С пихтой белокорой связано 26 видов вредных насекомых (Куренцов, 19506), из них более половины (16) поражают и ель аянскую; с пихтой цельнолистной (*Abies holophylla* Max.), растущей на самом юге Приморского края, у нее общих видов 14. Только на пихте белокорой встречаются *Cryphalus kurenzovi* и *Boarmia atoenaria*.

По степени устойчивости к дереворазрушающим грибам Л.В. Любарский (Любарский, Васильева, 1975) относит пихту белокорую к малоустойчивым древесным породам. Она в сильной степени повреждается корневыми, нападками и стволовыми гнилями. Живые деревья пихты повреждают корневая губка, трутовики Гартига (*Phellinus hartigii* (Allesch. et Schnabl.) Bres., серножелтый (*Laetiporus sulphureus* (Fr.) Bond. et Sing.) и Швейница, опенок осенний и другие грибы. Ассимиляционный аппарат пихты поражают паразитные грибы (Азбукина, 1974).

Пихта — микотрофная древесная порода; по наблюдениям на Верхнеусурийском стационаре (Средний Сихотэ-Алинь) с пихтой связано 13 видов микоризообразующих грибов, из них только с ней растут 6 (Булах, 1978).

Естественное возобновление пихты белокорой в пихтово-еловых лесах осуществляется успешно; под пологом сомкнутых древостоев пихта обычно превалирует в крупном подросте и тонкомере, что позволяет ей занимать преобладающее положение в древостое при отмирании старых поколений ели.

В целом отличия в эколого-биологических характеристиках ели аянской и пихты белокорой, а также различное фитоценотическое положение этих пород в древостоях предполагают разную реакцию их на воздействия стрессовых факторов. Основная часть ценопопуляции пихты растет и развивается под пологом ели, благодаря чему влияние флуктуаций погодно-климатических факторов на пихту смягчено древесным пологом; с другой стороны, пихта испытывает своеобразный фитоценотический пресс в борьбе за свет, влагу и питательные вещества, который снижается по мере распада верхнего полога древостоя. Однако в целом пихтово-еловые древостои отличаются устойчивостью и в оптимальных условиях высокой производительностью.

3.3. Другие древесные породы

Кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold. et Zucc.), березы каменная (*Betula lanata* (Regel) V. Vassil.), желтая (*B. costata* Trautv.) и плосколистная (*B. platyphylla* Sukacz.), липа амурская (*Lilja amurensis* Rupr.) и другие виды играют различную роль в составе пихтово-еловых лесов. Вместе с кедром ель образует елово-кедровые леса, занимающие полосу разной ширины между кедрово-широколиственными и пихтово-еловыми лесами; в них принимают участие береза желтая, липа и другие породы. Береза каменная типична для темнохвойных древостоев, произрастающих в верхнем поясе гор.

Кедр корейский, по сравнению с елью аянской, более теплолюбив и менее требователен к влажности воздуха и местообитаний (Калиниченко, 1973; Калиниченко, Калиниченко, 1974); для него характерна глубокая корневая система (Колесников, 1956; Соловьев, 1958). Лиственные породы (кроме березы каменной) хорошо переносят колебания влажности воздуха; они имеют достаточно глубокую корневую систему; в сильные засушливые периоды некоторые из них (например, липа) могут досрочно сбрасывать листву, что позволяет им выжить в стрессовой ситуации.

ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ, НА КОТОРОЙ ПРОЯВЛЯЕТСЯ УСЫХАНИЕ ЛЕСОВ

4.1. Рельеф

Материковая часть ареала ели аянской располагается в пределах Приамурско-Приморской геоморфологической провинции (Воскресенский, 1968), большая часть которой занята горными сооружениями. Провинция включает в себя такие геоморфологические области: Становое нагорье и горная страна Джугджур, в пределах которых проходит северо-западная и северная границы распространения ели аянской (Тюлина, 1956; Манько, Ворошилов, 1971; Манько и др., 1977); Зейско-Удская равнина, северная часть которой не встречается в растительном покрове пихта белокорая (Манько, 1987); горная страна Тукурингра-Соктахан-Джагды, в которой темнохвойные леса образованы только елью; Амуро-Зейская возвышенная равнина, где имеется местная дизъюнкция в ареале ели аянской и пихты белокорой; Ям-Алинь-Буреинская горная страна, на территории которой пихта белокорая в составе темнохвойных лесов принимает участие только в нижней части горных сооружений (Манько, Ворошилов, 1974); система депрессий (Нижне-Амурская, Ханкайская и Эворон-Чукчагирская), где темнохвойные породы встречаются только по их окраинам на дренированных местообитаниях; горная страна Сихотэ-Алинь с преобладанием темнохвойных лесов в растительном покрове, которые на юге занимают верхний пояс гор, а в северной части спускаются к уровню моря; Нижне-Амурское низкогорье с темнохвойными лесами по дренированным территориям.

Большинству горных хребтов в ареале ели аянской (за исключением Станового, Тукурингра, Янкан) свойственно простирание, близкое к меридиональному. Это характерно для побережья Японского и Охотского морей, обрамленных Сихотэ-Алинем, Прибрежным, Джугджуром и другими хребтами. Меридиональная протяженность хребтов существенно влияет на проникновение влажных воздушных летних масс в глубь континента. Барьерная роль горных хребтов, вытянутых параллельно береговой линии, наглядно прослеживается по уровню континентальности климата, который быстро нарастает по мере удаления от берега моря. Вследствие малой мощности летнего муссона влияние его на природную обстановку ограничивается узкой прибрежной полосой. В то же время мощный поток сухого холодного воздуха, устремляющийся в зимний период с континента, свободно преодолевает невысокие горные хребты, средняя высота которых 800–1000 м, а

высшие точки колеблются от 2000 до 2640 м, и прорывается на побережье и морскую акваторию.

Пихтово-еловые леса произрастают в пределах низкогорных и среднегорных хребтов, а также на эффузивных плато, широко представленных на Сихотэ-Алине. Они занимают склоны различной экспозиции и крутизны, встречаются и в долинных местообитаниях; на Баджальском, Становом и некоторых других хребтах они растут на элементах рельефа, связанных с четвертичным горно-долинным оледенением. Наиболее обширное плато, покрытое в основном пихтово-еловыми лесами, расположено в истоках рек Бикин, Большая Пейя и Кабанья; в междуречье Дагды-Кабанья оно как бы прерывается горными хребтами, высота которых 1000–1200 м (высшая точка — г. Чудная — 1420 м).

Территория, на которой произрастают пихтово-еловые леса, разновозрастная по времени возникновения. Основная часть Дальнего Востока находится в зоне мезозойской, а восточная его окраина и острова — в зоне кайнозойской складчатости и вулканизма (Никольская, 1961). Наиболее древний участок, относящийся к докембрийским структурам, — Алданский щит, представляющий собой восточную оконечность Сибирской платформы. Сихотэ-Алиньская горная область относительно молода — она оформилась к позднему мелу.

Границы между сушей и морем в разные геологические периоды не были постоянными, в результате чего береговая линия имела различные очертания. К концу плиоцена — началу четвертичного периода береговая линия располагалась значительно восточнее; северный Сахалин, как и Шантарские острова были, по-видимому, соединены с материком; отделение Сахалина от материка состоялось в конце плейстоцена — голоцене (Кулаков, 1972).

Формирование горного рельефа происходило на раннем этапе возникновения суши, что обуславливало высотно-поясную дифференциацию природных явлений и, как следствие этого, растительного покрова. Оно происходило при сильном влиянии вулканизма, особенно интенсивные проявления которого были в позднем мелу в Сихотэ-Алине, в Джугджурском хребте и в других горных системах. И в более позднее время — в плиоцене — вулканизм проявлялся в виде мощных эффузивных излияний на восточных склонах и в южной части Сихотэ-Алиня. Проявления вулканизма в основном были характерны для окраины континента в зоне взаимодействия суши и океана, и в историческом аспекте они постепенно смещались к востоку.

Существенное влияние на рельефообразование оказали плейстоценовые оледенения, следы которых в виде скульптурных и аккумулятивных форм имеются в северной и северо-западной частях ареала ели, а также на наиболее высоких горных сооружениях в Сихотэ-Алине (Воскресенский, 1968; Короткий, 1976). Современное развитие рельефа, оказывающее существенное влияние на динамику растительности, происходит с неодинаковой интенсивностью в различных частях ареала ели, что является следствием неоднородности физико-географических условий, возраста и состава горных пород и других причин, определяющих степень динамичности рельефа. В континентальной части ареала ели оно происходит на фоне слабых вертикаль-

ных движений земной коры, тогда как в островной части и на Камчатке испытывает интенсивные тектонические движения и активные проявления вулканизма, последствия которых влияют на природу материковой части путем отложений аэральной пирокластики и изменения погодно-климатической обстановки (Манько, Сидельников, 1989).

Зональность современного рельефообразования проявляется в преобладании физического выветривания в северных территориях Дальнего Востока и в верхнем поясе гор, тогда как в южной части основное значение имеют эрозия и аккумуляция, делювиальные и другие процессы (Никольская, 1961). Рельфообразование по-разному идет в континентальном и муссонном климате. По мнению А.М. Короткого с соавторами (1976), на гольцах Буреинского хребта проходит граница между мерзлотным (к западу от хребта) и нивационным (к востоку) типами рельефообразования. В северной и северо-западной частях ареала ели в числе рельефообразующих факторов большую роль играет многолетняя мерзлота грунтов, с которой связаны солифлюкция, образование наледей в долинах рек, асимметрия долин и другие явления. Суровость и контрастность климата в большей части ареала ели вызывает глубокое промерзание грунтов и обуславливает интенсивное физическое выветривание.

Эрозионная и аккумулятивная деятельность рек определяется возрастом и характером рельефа, тектоническими движениями территории и зональными процессами. Большинство рек в ареале пихтово-еловых лесов имеют горный характер и отличаются значительной скоростью течения, высокими летними паводками, постоянным перемещением водотока в пределах поймы, сопровождающегося интенсивной размывающей деятельностью и возникновением отложений, пригодных для поселения лесной растительности. Для верхних частей рек, берущих начало на эффузивных плато (Кабанья, Дагды, Большая Пея и др.), характерны глубокий врез и каньонообразные долины.

Определенное влияние на рельефообразование оказывают лесные пожары, сопровождающиеся эрозией горных склонов, что приводит к обнажению подстилающих горных пород и образованию осыпей. На Сихотэ-Алине пирогенные осыпи наиболее распространены по южным склонам (Короткий и др., 1976). В целом территория, занимаемая пихтово-еловыми лесами, крайне неоднородна в геологическом и геоморфологическом отношении, в степени динамичности современных рельефообразующих процессов, определяемых комплексом факторов различной природы.

4.2. Климат

Пихтово-еловые леса занимают территорию, которая по климатическим условиям более сурова, чем другие районы, расположенные на близкой географической широте. Например, для западного побережья Северной Америки характерен относительно мягкий климат, который складывается под воздействием теплого течения и защищенности территории хребтами широтного простираения от влияния Северного Ледовитого океана. Климат

же в ареале ели аянской отличается высокой контрастностью и суровостью, он формируется под динамическим воздействием океанических и континентальных воздушных масс, на него оказывают влияние морские течения. Под большим влиянием летнего муссона находится зональная «маньчжурская» растительность региона, к которой В.Б. Сочава (1944) относил и «амурские темнохвойные леса». С постоянным проникновением влажных воздушных тихоокеанских масс в глубь континента связано наличие изолированных участков ели аянской в северо-западных районах Амурской области и в южной части Якутии (Васильев, 1956; Манько и др., 1977).

Солнечная суммарная радиация в южной половине ареала ели превышает 100, а вблизи северной границы составляет 80 ккал·см⁻² в год. Среднегодовая температура воздуха на большей части ареала ели ниже нуля, она снижается с продвижением к северу и с увеличением абсолютной высоты местности; вдоль морского побережья она изменяется менее резко, чем на континенте. Средняя температура самого теплого месяца (августа — в прибрежной части, июля — на континенте) в Приморье и Приамурье колеблется от 15 до 20°C, а самого холодного (января) — от -19 до -33°C и зависит от широты и абсолютной высоты местности, а также от расстояния до морского побережья. Зима суровая, с резкими холодными ветрами. В январе температура воздуха может опускаться до -50°C. Для весны характерны поздние заморозки. В августе—сентябре в Приморье и Приамурье проникают тайфуны, формирующиеся в южных широтах и приносящие обильные осадки.

Сумма средних температур выше 10°C вблизи северных пределов распространения ели составляет 715–866°C, а в остальной части ареала она может достигать 2000°C или несколько превышать эту величину.

Количество осадков в пределах ареала ели значительно колеблется — от 460 (Мариинск, Нижний Амур) до 1250 (южные Курильские острова), 1400–1850 (горные районы Хоккайдо) и даже до 3000–4000 мм (Хонсю). С увеличением абсолютной высоты местности количество осадков в континентальной части, как правило, возрастает: например, на вершине высоты Криничная (1280 м, Южный Сихотэ-Алинь) их выпадает 1000–1200 мм, что на 35–40% превышает их количество у подножия горы (Таранков, Пономаренко, 1967). Кроме того, в подгольцовой полосе происходит перехват горизонтальных осадков пологом пихтово-еловых лесов, что дает прибавку в 15–20% (100–150 мм) по сравнению с их количеством на открытом месте (Таранков, 1968, 1974). Для горных условий еще характерна разница в увлажнении наветренных и подветренных склонов; для побережья типично повышенное увлажнение склонов, ориентированных к морю, за счет местного переноса влаги. В летний период выпадает 85–90% годового количества осадков, наибольшее суточное количество осадков может достигать 150 мм.

Величины осадков испытывают большие колебания по отдельным годам, а также в распределении их в течение года. Например, в период 1970–1994 гг. годовое количество осадков на станции Сосуново варьировало в широчайших пределах — от 385 до 1162 мм. Для Приморья и Приамурья вообще характерно чередование влажных лет, нередко с большими наводнениями.

ми, с более сухими и даже засушливыми, которые, как правило, сопровождаются большими лесными пожарами. По данным Л.В. Любарского и К.П. Соловьева (1965), в бассейне Среднего Амура засушливые годы повторяются в среднем через 6 лет, а в Южном Приморье — через 8 лет. Катастрофические наводнения в бассейне Среднего Амура бывают в среднем через 10 лет, а в Приморье — через 5. Периоды засушливых и избыточно влажных сопровождаемых наводнениями годов, по предположению Любарского и Соловьева (1965), связаны с ритмами солнечной активности, влияющими на атмосферную циркуляцию.

В последние 30 лет в Приамурье засушливыми были 1954, 1962 и 1980 гг. Особенно сильная засуха была в 1954 г. (Витвицкий, 1969), которая охватила обширную территорию и вызвала понижение уровня Амура и многочисленных озер (Кизи, Кади и др.), связанных с ним протоками. Засуха, при которой длительное время не выпадали осадки и возрастал дефицит влажности воздуха до 140–150% к величине его среднего многолетнего значения, послужила основной причиной массового усыхания пихтово-еловых лесов на обширной территории Приамурья (Манько, 1962, 1965; Цуранов, 1965, 1975).

Высота снежного покрова неодинакова в разных частях ареала ели: она увеличивается при движении от западной границы ареала ели к восточной, а также с подъемом в горы. На Становом хребте высота снега около 50 см, а в осевой части Сихотэ-Алиня она в отдельные годы (например, в 1988 г.) достигает 300 см. Наибольшее накопление снега происходит вблизи верхней границы леса. Снежный покров при высоте более 100 см, по-видимому, может отрицательно влиять на ель (Kaji, 1982; Tsukada, 1983), хотя ель растет и при глубине снега 300–400 см. Позднее образование устойчивого снежного покрова в континентальной части ареала ели способствует глубокому промерзанию почвогрунтов.

На значительной площади под лесами из аянской ели формируются холодные криогенные почвы (в понимании Макеева, 1977), в которых сезонно мерзлый горизонт сохраняется до полугода, но с многолетнемерзлыми породами не смыкается. Сезонная мерзлота присутствует в почве ельников даже вблизи южной границы их распространения (Зонн, 1978). Сроки её исчезновения из корнеобитаемого слоя почвы зависят от широты и абсолютной высоты местности, экспозиции и крутизны склонов, характера их увлажнения, погодных условий осени, зимы и весны, и других факторов. Например, в Центральном Сихотэ-Алине полное оттаивание почвенного профиля происходит в конце мая, а в Северном на отдельных участках мерзлота может сохраняться в почвах до конца вегетационного периода. В зависимости от погодных условий сроки ухода мерзлоты из корнеобитаемой зоны могут варьировать; в отдельных случаях мерзлота находится в верхних слоях почвы в разгар вегетации растительности, что может вызвать физиологический стресс у темнохвойных пород.

Относительная влажность воздуха в ареале ели аянской в течение всего года не опускается ниже 60%, однако в сезонном цикле этот показатель варьирует. В континентальных районах она имеет наименьшие значения в начале вегетационного периода. Продолжительность вегетационного перио-

да колеблется от 180–190 дней в южной части ареала ели аянской до 112–114 — в северной и зависит от абсолютной высоты местообитаний. В Южном Сихотэ-Алине для высоты 1200 м она равна 141–147 дней, в Среднем — для высоты 700–900 м — 133–137 дней.

Таковы основные особенности климата в зоне распространения ели аянской. В целом климат характеризуется умеренной теплообеспеченностью, высокой относительной влажностью воздуха в течение года, положительным балансом между приходом влаги и ее испарением, наличием устойчивого снежного покрова. Однако погодно-климатическая обстановка в ареале ели отличается нестабильностью, что проявляется в значительных колебаниях количества осадков по годам и по сезонам года, в неодинаковости суровости зим, в сроках оттаивания мерзлоты в почвах, в повторяемости засушливой погоды в начале вегетационного периода и т.п. При различных сочетаниях климатических параметров и различных комбинациях почвенно-климатических и фитоценологических факторов могут возникать стрессовые ситуации различной напряженности для пихтово-еловых лесов.

4.3. Почвы

Область распространения пихтово-еловых лесов неоднородна в почвенном отношении, поскольку соотношение между элементарными почвенными процессами в разных частях ареала ели неодинаково вследствие неоднородности климатических, гидрологических и геоморфологических условий, материнских горных пород, региональных особенностей состава древостоев и нижних ярусов растительности. Большое влияние на почвенно-биологические процессы и водно-физические свойства почв оказывает их сезонное промерзание и длительность сохранения мерзлоты в почвенном профиле, возрастающая с продвижением к северным границам распространения ели. С удалением от морского побережья увеличивается контрастность климатических условий, и режим атмосферного увлажнения становится менее устойчивым. Это оказывает влияние на состав растительности, условия разложения опада и в целом на почвообразование.

Строение почвенного профиля под пихтово-еловыми лесами зависит от высотного положения участка, формы рельефа, крутизны склона, водного режима и степени дренированности местообитания, состава и структуры растительности и других причин. В подгольцовых лесах почвенный профиль, как правило, развит неполно, почвы формируются на крупнообломочном материале, имеют грубогумусовую оторфованную подстилку и нередко фрагментарны. В горных лесах почвы также не отличаются глубиной, для них характерны сильная каменистость и хороший дренаж, способствующий быстрому оттоку влаги из корнеобитаемой зоны. Полные почвенные профили развиваются в нижних частях горных склонов, на платообразных участках и в долинах рек на надпойменных террасах. На выровненных участках плато создаются предпосылки для периодического переувлажнения почв, особенно в периоды интенсивного снеготаяния, когда почвенный

профиль еще не освободился от сезонной мерзлоты, выступающей в качестве водоупора. На участках затрудненного водообмена, которые характерны для понижений на плато и которые постоянно чередуются с более дренированными участками, проявляются признаки оглеения. Глеевые процессы максимально выражены на постоянно переувлажненных местообитаниях, обычно занятых елово-лиственничными лесами.

Состав и мощность подстилки сильно изменяются при движении к северным пределам распространения пихтово-еловых лесов — снижается степень ее минерализации, возрастают оторфованность и коэффициент консервации. При средней мощности подстилки в пихтово-еловых лесах, равной 6,7 см (Сапожников, 1987), она значительно варьирует в различных типах леса, наибольшую величину имеет вблизи северных пределов распространения ели — 9,5 см (Сапожников, 1982).

В верхней части почвенного профиля большинства разрезов, заложенных под пихтово-еловыми лесами в различных частях их ареала, имеются древесные угли, которые нередко располагаются под подстилкой. Это свидетельствует о том, что формирование и динамика темнохвойных лесов осуществляются при периодическом воздействии лесных пожаров, а почвенный профиль постоянно «омолаживается» за счет сгорания подстилки, а иногда и аккумулятивного горизонта. Пожары интенсифицируют круговорот веществ, и при воздействии только на опадо-подстилочный горизонт их роль может оцениваться положительно.

Номенклатура почв, формирующихся под пихтово-еловыми лесами Приморья и Приамурья, и проблемы диагностики ведущих процессов в них до настоящего времени являются предметом дискуссий. Наряду с признанием широкого развития буроземообразования (Ливеровский, 1969; Иванов, 1976; Сапожников и др., 1979а; Зонн, 1966; Ершов, Ивлев, 1981; и др.), по мнению многих авторов (Пшеничников, 1976, 1978; Пшеничникова, 1989а; Махинова, 1989; и др.), под пихтово-еловыми лесами Приморья и Приамурья формируются подзолистые иллювиально-гумусовые почвы.

Г.И. Иванов (1961, 1967а; Иванов, Хавкина, 1968) считал, что под пихтово-еловыми лесами Сихотэ-Алиня развиты бурые таежные почвы, среди которых он различал горно-таежные кислые и горно-таежные кислые иллювиально-гумусовые. Позже он (Иванов, 1976) отнес почвы темнохвойных лесов к горным буротаежным иллювиально-гумусовым, для которых характерны полуразложившаяся подстилка, гумусовый горизонт мощностью до 8–10 см с содержанием гумуса до 10–11%, высокая кислотность (рН водной суспензии 4,1–4,8). Эти почвы формируются в сильнокислой среде и отличаются хорошо выраженным иллювиальным горизонтом коричневого или буро-коричневого цвета. Гранулометрический состав их суглинистый, для верхней части профиля характерно оглинивание.

Гумусообразование под пихтово-еловыми лесами осуществляется с резким преобладанием фульвокислот, хотя отношение гуминовых и фульвокислот зависит, как показали исследования Н.В. Хавкиной (1968, 1972), от состава растительного опада — при увеличении в нем остатков травянистых растений возрастает роль гуминовых кислот. Это свидетельствует о том, что

формирование почв под различными группами типов леса (например, под зеленомошными и папоротниковыми пихтово-еловыми лесами) существенно отличается.

Почвам свойственна высокая биологическая активность. В корнеоби-таемой зоне в них хорошо развит грибной мицелий. Г.И. Иванов (1961) в почвах пихтово-еловых лесов бассейна оз. Кизи впервые описал своеобразный грибной горизонт, располагающийся под слоем мхов и представляющий собой пористую органическую массу пепельного цвета мощностью 4–5 (10) см. Аналогичные «грибные» горизонты обнаружены под усыхающими пихтово-еловыми лесами в левобережном Приамурье (Манько, 1965), на о-ве Феклистов С.Д. Лыковой (Еловые леса ..., 1984) и в Центральном Сихотэ-Алине (Гладкова, 1997).

Изучение почв в очагах усыхания пихтово-еловых лесов верхней части бассейна р. Большая Уссурка (Пшеничникова, 1989а) позволило установить два типа почв, на которых происходит деградация лесов: подзолистые иллювиально-гумусовые и буротаежные иллювиально-гумусовые оподзоленные. Первые обладают большой величиной обменной кислотности за счет высокого содержания алюминия и водорода, сильнокислой реакцией среды, обуславливающей высокую подвижность органо-минеральных соединений и иллювиирование гумуса, повышенным содержанием аморфных полуторных окислов, фульватным составом гумуса с преобладанием агрессивной фракции. Буротаежные иллювиально-гумусовые оподзоленные почвы отличаются повышенным содержанием поглощенных оснований, более высокой гумусированностью оподзоленного горизонта, меньшей подвижностью гумуса, меньшим содержанием полуторных окислов по Тамму, меньшей контрастностью распределения полуторных окислов, выявляемого валовым анализом. В целом они занимают промежуточное положение между подзолистыми иллювиально-гумусовыми (Пшеничников, 1976) и буротаежными иллювиально-гумусовыми почвами (Иванов, 1976).

В целом почвообразование под пихтово-еловыми лесами осуществляется в кислых и сильнокислых условиях при достаточном (иногда избыточном), но неравномерном увлажнении в сезонном цикле и при постоянном накоплении неразложившейся органики. Степень оподзоленности почв проявляется по-разному в зависимости от местообитания и состава растительности.

4.4. Растительность

Темнохвойные леса являются зональной лесной формацией. Они располагаются в основном в пределах Южно-Охотской подобласти темнохвойных лесов Евразийской хвойно-лесной области (Колесников, 1955). Состав и другие особенности этих лесов обусловлены высотно-зональными факторами, а также конкретными условиями произрастания. Очаги массового усыхания древостоев отмечены в основном в субформации пихтово-еловых лесов, которая на материке представлена приамурско-сихотэ-алинской и маньчжурско-южносихотэ-алинской географическими фациями (Манько,

1987). Последняя в южной части Приморского края выражена как высотный пояс растительности, нижние пределы которого располагаются на высоте 600–650 м. Она отличается повышенным участием в древостоях пихты белокорой и лиственных пород, наличием сложных лесов с участием граба (*Carpinus cordata* Blume), преобладанием травяных (преимущественно папоротниковых) типов леса, а также присутствием типов леса с эндемичными растениями и видами, распространенными в основном на п-ове Корея. Участие темнохвойных пород, как правило, не превышает 60–70%, поэтому усыхание ели и пихты не вызывает здесь столь драматических последствий, как в более северных лесах.

Приамурско-сихотэ-алинская географическая фация аянских темнохвойных лесов занимает обширную территорию и неоднородна в лесотипологическом отношении. Преобладают зеленомошные пихтово-еловые леса с высокой долей темнохвойных пород (до 90 % и более). Участие других видов в составе древостоев зависит от высотно-зональных условий. В южной части этой географической фации в древостоях встречаются кедр корейский, липа, обычны желтая и белая березы. Эти породы характерны и для нижней части пояса пихтово-еловых лесов, который контактирует с хвойно-широколиственными лесами. В северной части и в верхнем поясе гор субформация пихтово-еловых лесов сменяется субформацией еловых лесов. Пихтово-еловые леса на верхнем пределе своего распространения взаимодействуют с каменно-березовыми древостоями, а нередко с зарослями кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel. На обширных пространствах пихтово-еловые леса контактируют с лиственничниками, образуемыми несколькими видами лиственниц, среди которых преобладает *Larix cajanderi* Mayr.

Взаимоотношения еловых и лиственничных лесов в ненарушенных растительных сообществах определяются почвенно-гидрологическими условиями — лиственничники занимают застойно-переувлажненные, а также холодные и сухие каменистые местообитания. В результате воздействия пожаров лиственница значительно расширила площади со своим преобладанием в большинстве случаев за счет сокращения пихтово-еловых лесов. При сохранении ведущих параметров местообитания и при наличии источников семян ель успешно восстанавливается под пологом лиственничных лесов и со временем возвращает утраченные позиции главного лесообразователя. Так же успешно этот процесс протекает под пологом вторичных белоберезовых лесов, где преобладание ели обычно восстанавливается за период жизни одного поколения березы.

Наибольшие площади пихтово-еловые леса занимают на Сихотэ-Алине, в северной части которого они спускаются к уровню моря. Западнее Амура — на Буреинском и Баджальском хребтах — площадь под пихтово-еловыми лесами заметно сократилась под частым влиянием пожаров (Манько, Розенберг, 1967); там на многих местообитаниях темнохвойных пород произрастают послепожарные лиственничные леса.

Природные условия в районах деградации и массового усыхания пихтово-еловых лесов в Приморье и Приамурье отличаются следующими неблагоприятными

для основных лесообразующих пород характеристиками, которые могут приводить к стрессовым ситуациям:

- нестабильность увлажнения, что проявляется не только в чередовании засушливых и очень влажных лет, но и в распределении осадков в течение вегетационного периода;

- глубокое промерзание почв и возможность задержки оттаивания мерзлоты в пределах корнеобитаемого слоя в период вегетации растительности;

- суровые морозные ветреные зимы;

- наличие местообитаний с неустойчивым режимом увлажнения (мелкие сильнокаменистые почвы), а также местообитаний, потенциально склонных к периодическому переувлажнению (обширные платообразные территории).

Сочетание этих факторов может усиливать негативное воздействие каждого из них на пихтово-еловые леса, а может вызвать глубокую стрессовую ситуацию, приводящую к деградации и усыханию лесов.

МЕТОДИКА РАБОТ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1. Методика работ

В Западной Европе, где ухудшение состояния лесов породило множество экологических и хозяйственных проблем, в короткий срок был развернут мониторинг их состояния, основанный на системе постоянных пробных площадей, располагаемых по регулярной сетке, например 8×8 км в Германии, 4×4 км в Австрии и Литве или иных размеров в других странах (Schmidt-Vogt, 1989; Мониторинг ..., 1991; Neumann, 1993; и др.). На пробных площадях производятся ежегодные наблюдения за модельными деревьями, и на основе массовых материалов делаются ежегодные выводы о здоровье лесов страны. В ряде случаев пробные площади размещались по высотному профилю (Glattes et al., 1989).

В Канаде с 1984 г. действует система раннего выявления влияния кислотных дождей, а мониторинг состояния лесов проводится почти 50 лет, при котором на специальных участках ежегодно учитывают состояние деревьев, их отпад, а каждые 5 лет определяют прирост по высоте и диаметру, состояние крон, делают почвенный и листовой анализы (Addison, 1989). В связи с массовым усыханием ели красной в Северной Америке в различных частях ареала этой породы были развернуты междисциплинарные исследования, в которых принимали участие лесные экологи, почвоведы, лесные физиологи, лесопатологи и исследователи атмосферы (Eagar, Adams, 1992). Специальное внимание было обращено на роль кислотных осадков (Adams, 1999).

При изучении состояния лесов из ели обыкновенной в 3-х горных районах Швейцарии в программу входили такие блоки: 1) жизнеспособность дерева и древостоя, 2) метеорология и химический состав воздуха, 3) физиология и биохимия деревьев под влиянием поллютантов, 4) экология почвы (Haemmerli et al., 1992).

В Японии с 1990 г. лесным агентством развернуты мониторинговые исследования загрязнения окружающей среды, которые предусматривают изучение почвы и растительности на 1200 участках, размещенных по всей стране (Takahasi et al., 1992).

Существует множество и других программ и методик, в том числе и узкоспециализированных, с помощью которых делались попытки выявить реакцию основных лесообразователей на стрессовые факторы, причины деградации и усыхания лесов, а также оценить их масштабы и наметить пути прогнозирования этого феномена. Многие проекты имели международный

характер: например, под патронажем Европейского сообщества в 1980-х годах развернуты исследования по проектам «NITREX» (эксперименты с азотом; участвуют 7 стран) и «EXMAN» (эксперименты над лесными экосистемами с воздействием кислотных дождей, известкования, засухи; участвуют 4 страны); по этим проектам получены интересные результаты (Wright, Rasmussen, 1998). Большинство проектов, связанных с деградацией лесов, обязательно включали блоки: состояние древостоя и образующих его видов; характеристика экотопа, в том числе и эдафотопа; выявление факторов стресса и их влияния на естественные экосистемы.

В основу наших работ были положены маршрутно-детальные исследования, а также постоянные пробные площади, закладываемые в наиболее распространенных типах леса в древостоях, находящихся на разных стадиях усыхания. Вследствие слабой освоенности территории Приморского края и в целом российского Дальнего Востока дорожной сетью и по причине малочисленности работников лесного хозяйства не представлялось возможным организовать мониторинг усыхания пихтово-еловых лесов путем массовой закладки постоянных пробных площадей с регулярным размещением их даже в пределах одного бассейна.

На основе рекогносцировочного обследования состояния наиболее крупных массивов пихтово-еловых лесов, включая аэровизуальное обследование, намечались пункты маршрутно-детальных работ с закладкой пробных площадей в наиболее распространенных типах леса, древостои которых в разной степени затронуты усыханием. Такой порядок работ обычен при мониторинговых исследованиях, в том числе и при изучении деградации лесов даже в хорошо освоенных районах (Schade, Zöhner, 1983). Поскольку процесс деградации и усыхания пихтово-еловых лесов в Приморском крае к началу наших работ был уже четко выражен, особенно в бассейнах рек Большая Пея и Кабанья, где усохшие древостои занимали обширные площади, была предпринята попытка проследить динамику усыхания по материалам космической съемки. Эту часть работы осуществил сотрудник Японского технологического центра дистанционных исследований (г. Токио) Норикиза Камибаяси, который на основе дешифрирования космических материалов, полученных с американского спутника LANDSAT/MSS, установил динамику усыхания на примере наиболее крупных очагов в районах наших исследований (Kamibayashi et al., 1994; Камибаяси, 1996).

Совместно с Н. Камибаяси в 1993 г. было совершено рекогносцировочное авиаобследование лесов бассейна р. Анжуй (Хабаровский край), в 1994 г. — верхней части бассейна р. Зева (бассейн р. Бикин) и бассейнов рек Большая Пея, Кабанья и Единка, а в 1996 г. — еловых лесов Центральной Камчатской депрессии. До этого, в 1991 г., подобным аэровизуальным обследованием нами была охвачена южная часть Приморского края (Шкотовское плато, северные склоны Ливадийского хребта).

При маршрутно-детальных исследованиях закладывались обычные пробные площади, а иногда профильные диаграммы. Постоянные пробные площади (Рысин, 1995) служили основой мониторинга состояния лесов в очагах усыхания. На них перечет древостоя осуществлялся со ступени тол-

щины 4 см. Все деревья нумеровались. Описывалось состояние каждого дерева (здоровое, больное, сухое, валежник); для живых деревьев указывались пороки — наличие морозобоин, ошмыгов, плодовых тел дереворазрушающих грибов, бурой хвои, потоков смолы по стволу, связанных с поселением насекомых, отмечалась также деформация ствола (искривление или облом); для сухих деревьев указывалось состояние коры (в коре, частично с корой, без коры) и кроны (с наличием мелких ветвей, без мелких ветвей, с частью ветвей, с единичными сучьями, с отсутствием сучьев); валежные деревья подвергались учету при высокой сохранности их и при возможности определения древесной породы. При повторных ревизиях пробных площадей состояние деревьев оценивалось по тем же параметрам.

На 5 пробных площадях каждое дерево и крупный подрост были нанесены на план, что позволяло выявить пространственную структуру размещения усохших и живых деревьев, а также подроста. Для характеристики возраста и других таксационных параметров древостоя отбирались модельные и учетные деревья. Состояние естественного возобновления древесных пород оценивалось визуально, а также путем учета всходов и подроста на площадках и лентах; возрастная структура подроста и особенности его роста изучались на модельных экземплярах, отбираемых по высоте.

По высоте подрост подразделялся на мелкий (до 50 см), средний (51–150 см) и крупный (более 150 см и до достижения диаметра на высоте груди 2 см); при пересчете древостоя со ступени толщины 8 см к крупному подросту относились особи с диаметром на высоте груди до 6 см. Всходы учитывались отдельно и в общую оценку состояния естественного лесовозобновления не включались. По состоянию подрост подразделялся на здоровый, больной и сухой; в ряде случаев особи с наличием желтой хвои или сухих ветвей учитывались отдельно. В значительном числе случаев подрост, растущий на трухлявых валежинах, также учитывался отдельно. Учет подроста производился преимущественно на лентах, площадь которых колебалась от 100 до 350 м².

На каждую пробную площадь заполнялось геоботаническое описание, содержание и структура которого в общем соответствовали методическим рекомендациям В.Н. Сукачева и С.В. Зонна (1961).

Для характеристики почв закладывались разрезы с отбором образцов из каждого генетического горизонта для последующих химических анализов. Вариабельность морфологического строения почв устанавливалась путем прикопок. Индексация почвенных горизонтов и номенклатура почв даны с использованием «Классификации почв России» (1997). При аналитической обработке почвенных образцов в мелкозем определяли: гранулометрический состав методом Качинского; гумус по Тюрину; групповой фракционный состав гумуса в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (1975); общий азот по Кьельдалю; вытеснение обменных катионов $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с окончанием на атомно-абсорбционном спектрофотометре; обменный Al в 1 н KCl при отношении почвы к раствору 1:50; обменный водород по Гедройцу; суммарное определение несиликатных форм Fe по методу Мера-Джексона; соединений Fe по Баскомбу; аморфных соединений

Al , Fe по Тамму (Зонн, Рукака, 1978); валовой химический состав — общепринятыми методами с применением трилонометрии, фотоколориметрии и атомно-абсорбционной спектроскопии; микроэлементы — атомно-абсорбционным методом; металлы, связанные с FK , по схеме В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (1980); подвижные соединения P и K по Кирсанову.

Отбор и определение химического состава растений и подстилки проводили согласно Л.А. Гришиной и Е.М. Самойловой (1971) с применением атомно-абсорбционной спектроскопии.

Анализ гляцевых пленок с обломков горной породы выполнен эмиссионно-спектральным полукачественным методом в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН.

На предмет определения грибных заболеваний собирались образцы хвои и ветвей, а также зеленовато-серая хвоя, в массе опавшая с деревьев в 1990 г.

Для изучения возрастной структуры древостоя, подвергшегося усыханию, на одном участке размером 0,25 га (пробная площадь 3-1988) все деревья были спилены.

С целью оценки возможного загрязнения местообитаний пихтово-еловых лесов аэрополлютантами в различных пунктах Приморского края (в том числе и в районе очагов усыхания) в течение 3 лет (1989–1991 гг.) отбирались образцы снега в период максимального его накопления для последующего анализа.

Отбор снега проводили согласно «Унифицированным методам...» (1978). Пробы собирались в полиэтиленовые пакеты по всей вертикальной толще снега. В растаявшем снеге путем фильтрации отделялась пылевая составляющая. В снеговой воде определялись растворимые формы элементов-загрязнителей. Макро- и микроэлементы концентрировали путем выпаривания, а затем переводили в соляно-кислый раствор. Дальнейшие определения проводились на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Анионы, сухой остаток, pH определяли согласно «Унифицированным методам...» (1978).

Бассейны рек, где размещены постоянные пробные площади, ежегодно (до 1998 г.) подвергались аэровизуальному обследованию.

Лесопатологическая обстановка в районе объектов постоянного наблюдения была оценена Московским специализированным лесоустроительным предприятием, проводившим в 1990–1992 гг. лесопатологическое обследование этой территории (Отчет..., 1990–1991; Отчет..., 1991–1992); данные этих обследований учтены в настоящей работе.

Состояние погодно-климатической обстановки в районе мониторинга за период 1970–1994 гг. оценивалось по результатам наблюдений на метеостанции Сосуново, расположенной на морском побережье в районе устья р. Светлая (высота над ур. м. 55 м); метеостанций, находящихся непосредственно в изучаемых очагах усыхания пихтово-еловых лесов, к сожалению, нет. Использование данных метеостанции Сосуново, находящейся на берегу моря и испытывающей постоянное влияние воздушных морских масс, позволяет уверенно делать выводы о флуктуациях увлажнения в районе мониторинга.

Развернуть более широкие комплексные междисциплинарные исследования нам не удалось по причине недостаточного финансирования. В последние годы мониторинг усыхания пихтово-еловых лесов осуществлялся только благодаря помощи со стороны заинтересованных организаций.

В целом основные направления мониторинга за состоянием лесов, предусмотренные модифицированной методикой Европейской экономической комиссии (Лесное хозяйство..., 1991) и включающие обследование лесов и оценку их состояния, детальные исследования на пробных площадях, отбор и анализ листы, а также анализ почв, при работах на Сихотэ-Алине были выполнены.

5.2. Объекты исследования

Изучение усыхающих лесов началось с маршрутно-детального обследования пихтово-еловых древостоев в бассейнах рек Светлая и Большая Пея (1988 г.), где было заложено 5 пробных площадей (табл. 1) и 2 профильные диаграммы. В 1989 г. работа в этих бассейнах продолжалась на 4-х постоянных пробных площадях, которые в 1992 г. дополнились еще одной. В 1990 г. в верхней части бассейна р. Единка были заложены 3 постоянные пробные площади, а в 1992 г. еще одна. В целом периодические наблюдения за состоянием древостоев осуществлялись на 9 участках; кроме того, еще на 2-х пробных площадях в бассейне р. Большая Пея были проведены повторные перечеты древостоев.

В верхней части бассейна р. Большая Уссурка пихтово-еловые леса преобладают в растительном покрове, произрастая на склонах различной крутизны и экспозиции. Среди них наибольшие площади занимают зелено-мощные пихтово-еловые леса, но широко распространены и папоротниковые. Производительность этих лесов оценивается в среднем 3–4-м бонитетом. В древостоях преобладает ель аянская; в числе сопутствующих пород пихта белокорая, единично береза и кедр. Усыхание в этой части бассейна носило диффузно-групповой характер и началось в конце 1950-х годов (Кошкарев и др., 1982). Усыхающие древостои нами охарактеризованы в 1989 г. двумя пробными площадями (табл. 1), заложенными на горных склонах в бассейне руч. Еловый, и тремя профильными диаграммами.

Одна из пробных площадей (1-1989-3) была заложена С.М. Захаровым в елово-широколиственном лесу Уссурийского заповедника на южной границе местной дизъюнкции в ареале ели аянской. Ель и пихта белокорая распространены здесь по северным склонам и долинам водотоков, что связано с температурной инверсией (Васильев, 1938).

Объекты постоянных наблюдений за динамикой усыхания пихтово-еловых лесов в верхней части бассейна р. Единка расположены на плато в районе Елисеевских озер на абсолютной высоте 840 м, а в бассейнах рек Светлая и Большая Пея — на 660–880 м (табл. 2). Плато представляет собой постепенно повышающуюся к центральной водораздельной части Сихотэ-Алиня относительно ровную местность, расчлененную глубоко врезающимися

Таксационная характеристика пробных площадей

№ пробной площади	Географическое положение, высота над ур. м.	Тип леса	Состав	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число стволов, экз. га ⁻¹	Сумма площадей сечения, м ² га ⁻¹	Запас, м ³ га ⁻¹	Класс бонитета
1-1988	Бассейн р. Большая Пея, верхняя часть плато в междуречье Большая Пея–Дунья, рельеф равнинный, 840 м	Мелко-травно-зелено-мощный пихтово-еловый лес	Живые: 82 Еа 18 Пб Отпад: 82 Еа 18 Пб	60–120 60–100 120–200 80–150	12,8 10,7 17,4 13,5	18,3 15,3 28,3 19,2	204 60 591 315	5,389 1,106 37,249 8,630	39 9 342 74	IV–III
			Живые: 83 Еа 17 Пб Отпад: 82 Еа 18 Пб		12,8 10,6 17,4 13,2	18,1 15,2 28,3 18,8	204 54 624 321	5,250 0,984 37,548 8,934	39 8 342 74	
2-1988	Бассейн р. Большая Пея, верхняя часть плато в междуречье Большая Пея–Дунья, рельеф равнинный, 840 м	Мелко-травно-зелено-мощный пихтово-еловый лес	Живые: 89 Еа 11 Пб Отпад: 76 Еа 24 Пб	120–220 80–160 120–220 80–160	16,6 13,7 14,6 13,9	26,3 19,8 21,5 20,2	648 162 264 111	35,173 4,991 9,581 3,056	325 42 80 25	IV–III
			Живые: 68 Еа 32 Пб Отпад: 92 Еа 8 Пб		12,2 13,7 17,6 13,2	18,9 20,1 28,5 18,7	381 150 531 123	10,723 4,774 33,921 3,369	86 41 317 29	
	Ревизия 1989 г.		Живые: 39 Еа 61 Пб Отпад: 92 Еа 8 Пб		9,4 13,5 17,8 13,2	13,3 19,7 28,7 18,9	285 141 627 132	3,9 4,3 40,7 3,7	23 36 382 32	
3-1988	Платообразный водораздел между реками Большая Пея–Светлая, истоки руч. Каменистый, юго-западный склон, 2–3°, 740–760 м	Папоротниково-зелено-мощный пихтово-еловый лес	Живые: 69 Еа 31 Пб ед Бер Отпад: 87 Еа 13 Пб	45–180 45–150 — 80–200 60–100	15,8 12,9 — 21,6 14,9	20,0 15,8 23,5 29,6 19,5	236 204 4 496 224	7,420 4,017 0,507 34,188 6,720	69 31 4,6 392 57	IV–III

№ пробной площади	Географическое положение, высота над ур. м.	Тип леса	Состав	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число стволов, экз. га ⁻¹	Сумма площадей сечения, м ² га ⁻¹	Запас, м ³ га ⁻¹	Класс бонитета
4-1988	Платообразный водораздел между реками Большая Пея—Светлая, северный склон к реке Большая Пея, 8—9°, 760 м	Зелено-мошный пихтово-еловый лес	Живые: 57Пб 43Еа Отпад: 84Еа 16 Пб	130 125—180 125—180 130	15,2 14,4 19,5 15,4	19,7 18,4 28,4 20,2	126 111 609 261	3,852 2,944 38,466 8,322	33 25 384 71	IV—III
5-1988	Платообразный водораздел между реками Большая Пея—Светлая, северный склон к реке Большая Пея, 3—4°, 750 м	Зелено-мошный пихтово-еловый лес	Живые: 94Еа 4Пб 2Бер Отпад: 55Еа 45 Пб	120—180 130 — 120—160 130	18,5 13,0 — 17,5 —	26,1 16,1 44,0 18,9 24,2	700 105 5 415 315	37,488 2,140 0,760 11,640 9,880	369 17 7 98 83	IV—III
1-1989	Бассейн р. Большая Уссурка, верхняя часть ключа Еловый, западный склон, 10—15°, 850 м	Мелкотравно-зелено-мошный пихтово-еловый лес	Живые: 60 Пб 30 Еа 10Бер ед Кк Отпад: 92Еа 5 Пб 3Бер	130—180 100—150 — — 150—320 130—180 —	13,0 12,3 — — 19,2 11,8 —	14,3 15,7 28,8 8 29,1 13,1 36,1	720 284 24 4 316 116 8	11,626 5,535 1,568 0,020 20,912 1,564 0,820	104 52 17 251 14 3	IV
2-1989	Бассейн р. Большая Уссурка, верхняя часть ключа Еловый, западный склон, 10—15°, 850—900 м	Зелено-мошно-папоротниковый пихтово-еловый лес	Живые: 44Еа 39Пб 16Кк 1Бер Отпад: 80Еа 15Пб 5Кк	130—200 100—130 — — 160—280 130—150 —	17,6 15,8 — — 21,2 14,5 —	15,9 17,3 37,3 16,0 23,2 15,5 68,0	320 240 16 4 644 316 4	6,379 5,654 1,750 0,080 27,319 5,963 1,450	60 54 22 1 306 55 20	III—IV
1-1989-3	Уссурийский заповедник, надпойменная терраса р. Каменка, рельеф равнинный, 230 м	Широколиственно-еловый кустарниково-разнотравный лес	Живые: 16Кк 16Пб 11Еа 57Лп, Ид и др. Отпад: 83 Еа 13Кк 4 др.	220—250 — 60—100 — 80—100 —	23,9 13,0 15,0 — 31,8 —	33,9 14,5 19,9 — 62,6 —	28 268 76 316 156 8 64	2,526 4,441 2,357 12,235 17,192 2,466 1,284	33 34 24 122 218 35 11	III

Примечание. Принятые сокращения: Еа — ель аянская, Пб — пихта белокорая, Кк — кедр корейский, Бер — береза (каменная, белая), Лц — лиственница, Ид — ильм долинный, Лп — липа. Таксационные показатели здесь и в табл. 2 приведены начиная со ступени толщины 8 см. Здесь и в табл. 2 прочерк означает отсутствие данных.

Таксационная характеристика постоянных пробных площадей

№ пробной площади	Географическое положение, высота над ур. м.	Тип леса	Состав	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число стволов, шт.	Сумма площадей сечения, м ²	Запас, м ³	Класс бонитета
3-1989	Бассейн р. Большая Пея, верхняя часть, восточный склон 6—7° к руч. Перевальный, 880 м	Папоротниково-зелено-мошный пихтово-еловый лес	Живые: 80Еа 20Пб Отпад: 82Пб 18Еа	100—160 80—120	17,2 17,0 16,1 11,4	21,9 21,4 20,3 13,5	765 225 590 365	28,888 8,089 19,149 5,202	284 71 166 36	III—IV
4-1989	Плато в междуречье Светлая—Большая Пея, рельеф равнинный, 680 м	Травянисто-зелено-мошный пихтово-еловый лес	Жив. 76Еа 23Пб 1Бер Отп. 86Еа 14Пб	100—160 60—100	17,0 9,8 — 20,8 17,2	21,6 12,2 10,9 27,6 22,8	236 296 12 520 132	8,694 3,437 0,1 31,190 5,401	84 26 1 347 50	IV
5-1989	Бассейн р. Большая Пея, верхняя часть, северная окраина плато в междуречье Большая Пея—Каменистый, северный склон, 5—6°, 800 м	Мелкотравно-зелено-мошный пихтово-еловый лес	Жив. 96Еа 4Пб 54Еа 46Пб	100—160 40—120	19,1 13,7 13,8 15,2	27,4 17,4 17,7 20,1	698 90 283 187	41,329 2,138 6,925 5,196	415 17 57 48	IV—III
6-1989	Бассейн р. Большая Пея, верхняя часть, северная окраина плато в междуречье Большая Пея—Каменистый, северный склон, 5—6°, 800 м	Мелкотравно-зелено-мошный пихтово-еловый лес	Жив. 79Еа 21Пб ед.Кк, Бер Отп. 77Еа 23Пб	100—160 40—120 — — —	14,2 14,7 — — 19,7 16,2	18,1 19,3 20,0 20,6 29,1 22,3	320 80 5 10 480 295	8,220 2,343 0,157 0,333 31,911 11,539	70 19 1 3 330 99	IV—III
2-1992	Плато в междуречье Светлая—Большая Пея, рельеф равнинный, 660 м	Зелено-мошный пихтово-еловый лес	Жив. 88Еа 11Пб 1Лц Отп. 88Еа 12Пб	50—60 40—60 60	11,5 11,5 12,0 8,0 8,0	12,2 12,2 16,4 8,0 8,0	3280 460 20 270 40	38,477 5,370 0,421 1,351 0,200	253 36 3 6 1	IV
1-1990	Бассейн р. Единка, правый берег реки, плато в истоках р. Елисеев ключ, 840 м	Смилациново-моховой пихтово-еловый лес	Жив. 84Еа 16Пб Отп. 70Еа 30Пб	120—260 100—150	12,4 9,3 15,6 12,1	17,7 12,6 22,9 16,6	815 345 565 515	20,075 4,335 23,292 11,167	151 28 201 87	V

№ пробной площади	Географическое положение, высота над ур. м.	Тип леса	Состав	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число стволов, шт.	Сумма площадей сечения, м ²	Запас, м ³	Класс бонитета
2-1990	Бассейн р.Единка, правый берег реки, плато в истоках р.Елисеев ключ, 840 м	Смилациново-зеленомошный пихтово-еловый лес	Жив. 87Еа 13Пб Отп. 78Еа 22Пб	120-210 100-150	13,6 9,4 12,9 9,0	19,6 12,7 17,8 12,3	1115 470 500 405	33,821 5,959 12,426 4,791	272 40 101 28	IV-V
3-1990	Бассейн р. Единка, правый берег реки, плато в истоках р. Елисеев ключ, 840 м	Мелкотравно-зеленомошный пихтово-еловый лес	Жив. 72Еа 28Пб Отп. 85Еа 15Пб	140-300 120-160	13,9 9,1 20,3 18,4	18,3 12,2 27,0 19,5	272 268 676 372	7,186 3,186 38,651 11,113	60 23 423 76	IV
1-1992	Бассейн р. Единка, правый берег реки, плато в истоках р. Елисеев ключ, 840 м	Пихтово-еловый лес с подлеском из рододендрона золотистого	Жив. 80Еа 20Пб + Кк, Лц Отп. 56Еа 44Пб	120-300 120-150 —	15,9 9,4 — 14,3 11,0	22,1 12,2 — 19,5 15,5	507 610 15 282 405	19,523 7,017 1,182 8,426 7,725	179 45 11 74 59	V

долинами водотоков; оно служит водоразделом рек, впадающих в р. Усури, и рек, относящихся к бассейну Японского моря. Леса и почвы на этой территории почти не изучены. Все опубликованные сведения о растительности исчерпываются небольшой статьей А.А. Бабурина (1976) и несколькими статьями В.А. Глаголева (1976, 1984), посвященным лиственным лесам бассейна р. Бикин. Известно, что на плато в бассейне р. Кабанья работали сотрудники Приморской лесной опытной станции под руководством А.Г. Шавнина, изучавшие возрастное строение пихтово-еловых лесов; материалы этих работ вошли в «Таблицы хода роста...» (Шавнин, 1966).

Господствуют на плато пихтово-еловые леса, в которых доминирующее положение занимает ель, а пихта подчиненное. В составе их иногда встречается береза каменная, крайне редко кедр, единичные особи которого поднимаются до высоты 920–950 м. В истоках р. Большая Пея растет лиственница, встречаясь единично по берегам реки; по притокам, впадающим в р. Зева (бассейн р. Бикин), широко распространены лиственные леса, коренные группировки которых обычно занимают переувлажненные участки. В бассейне р. Единка лиственничники обычны по заболоченным понижениям и около озер; кроме того, здесь широко представлены вторичные леса с преобладанием лиственницы. В бассейнах рек Светлая и Большая Пея также имеются вторичные лиственные леса; здесь же и в нижней

части бассейна р. Единка распространены белоберезовые леса (нередко с примесью лиственницы) послепожарного происхождения.

Облик пихтово-еловых фитоценозов на плато определяется почвенно-гидрологическими условиями. На дренированных местообитаниях произрастают леса, относящиеся к зеленомошной группе типов леса; при ухудшении дренированности почв они замещаются моховыми пихтово-еловыми группировками; по более теплым и дренированным местам редко встречаются папоротниковые пихтово-еловые леса. Условия увлажнения и степень дренированности почв в условиях выровненного рельефа плато очень мозаичны, что проявляется в мозаичности растительного покрова, в чередовании микрогруппировок, отражающих разную степень и характер увлажнения местообитаний; малейшие слабозаметные изменения в микрорельефе могут вызывать изменения в нижних ярусах растительности и сопровождаться существенными отличиями параметров водно-физических свойств почв. Производительность пихтово-еловых лесов на плато определяется условиями увлажнения и дренажа — на дренированных местообитаниях произрастают древостои 3–4-го бонитета, со снижением дренированности снижается и бонитет до 4–5-го класса.

Верхняя граница леса проходит примерно на высоте 1200 м над ур. м. В течение голоцена по данным спорово-пыльцевого и диатомового анализа озерных и болотных отложений из верховьев р. Зева (Алешинская и др., 1980) положение верхней границы леса и высотных поясов растительности на плато неоднократно изменялось. В атлантический период смешанные хвойно-широколиственные леса поднимались до 1000–1100 м; в бореальном периоде они располагались значительно ниже, а верхняя граница пихтово-еловых лесов проходила на 200–300 м ниже современной. Таким образом, наиболее молодые в историческом плане темнохвойные древостои располагаются в верхней части пояса пихтово-еловых лесов.

В прошлом леса плато неоднократно повреждались пожарами, о чем свидетельствуют постоянное присутствие древесных углей в почвенном профиле, а также широкое распространение вторичных лесов по окраинам плато. В частности, В.К. Арсеньев, путешествовавший в 1907 г. по восточным склонам Сихотэ-Алиня, отмечал широкое распространение гарей в бассейнах рек Светлая, Пея и Дагды. Сейчас на многих местообитаниях произрастает первое послепожарное поколение ели, в связи с чем оно характеризуется относительной одновозрастностью.

Усыхание пихтово-еловых лесов, по свидетельству работников лесной охраны и летчиков-наблюдателей, в бассейнах рек Светлая, Большая Пея и Кабанья началось в 1970-х годах, а в бассейне р. Единка — в 1980-х. Оно в общем виде развивалось так. Сначала появились отдельные сухие ели и небольшие их группы. Возможно, это произошло после 1972 г., весенне-летний период которого был отчетливо засушливым. После 1978 г. (в этот год засушливые условия проявились в июне) площадь усохших пятен увеличилась, а очаги усыхания в ряде случаев слились. К началу наших исследований в массивах темнохвойных лесов, произрастающих на

ХАРАКТЕРИСТИКА ПИХТОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ В ОЧАГАХ УСЫХАНИЯ

плато, выделялись разного размера пятна усохших древостоев, появившиеся в разное время, о чем свидетельствовало неодинаковое состояние усохших деревьев и особенности роста молодых. По материалам лесоустройства Светлинского комплексного леспромхоза, проведенного в 1991 г., общий запас сухостойной древесины составлял 2520 тыс. м³ (площадь около 41 тыс. га), валежной древесины — 1456 тыс. м³ (площадь свыше 38 тыс. га). На 15% сырьевой базы запас сухостойных деревьев колебался от 50 до 120 м³ на 1 га.

В бассейне р. Единка усыхание пихтово-еловых лесов имело диффузный и очаговый характер и не захватило к началу наших исследований столь обширную территорию, как в более южных бассейнах. Но во всех осмотренных массивах темнохвойных лесов этой территории имелись разной величины участки с усохшими деревьями.

6.1. Состояние древостоев

Пробные площади (ПП) и профильные диаграммы (ПРД) обычно закладывались в древостоях, затронутых в разной степени усыханием. В верхней части бассейна р. Большая Уссурка обследованы древостои, в которых доля отпада (усохшие деревья и свежие валежные экземпляры) составляла по числу стволов от 30 (ПП 1-1989) до 62,4% (ПП 2-1989), а по запасу соответственно 60,8 и 73,6 %; наиболее интенсивно на обоих участках усохла ель (83–84% по запасу); пихта пострадала неравномерно (от 12 до 55% по запасу). После усыхания верхнего полога древостоя в оставшейся живой части возросла роль пихты, вплоть до ее преобладания на одном участке (табл. 1). Профильные диаграммы характеризуют древостои, более пострадавшие от усыхания (рис. 9–11). Наиболее затронута усыханием еловая часть древостоя, в которой интенсивно отмирают более крупные особи (рис. 12).

В бассейнах рек Светлая и Большая Пея пробные площади и профильные диаграммы (рис. 13, 14) характеризуют наиболее распространенный на плато мелкотравно-зеленомошный и близкий к нему папоротниково-зеленомошный пихтово-еловый лес (табл. 1), находящийся на различных стадиях усыхания. Доля отпавших стволов колебалась от 31,6 (ПП 2-1988) до 78% (ПП 1-, 4-1988), а по запасу от 22 (ПП 2-1988) и до 80–90% (ПП 1-, 3-, 4-1988). На трех участках наиболее сильно пострадала от усыхания ель, доля отпавших экземпляров которой составляла от 67,8 до 84,6% по числу стволов, а по запасу от 85 до 94% (ПП 1-, 3-, 4-1988; табл. 1). Как и в предыдущем случае, среди усохших деревьев преобладали крупные экземпляры ели (рис. 15).

На большинстве участков (кроме пробной площади 2-1988) в значительной степени усохла и пихта (ее более крупные экземпляры); хотя она в отпаде и не преобладает ни по числу стволов, ни по запасу, степень ее отмирания составляет от 52,3 до 84% особей (от 64 и почти до 90% ее запаса). В живой части древостоя на двух участках пихта стала преобладающей породой.

На постоянных пробных площадях (ППП), заложенных в этих бассейнах, доля усохших деревьев на момент их закладки колебалась от 37 до 65%, составляя по запасу 20–82% (табл. 2). Степень отмирания ели варьировала от 29 до 70% по числу стволов и от 11 до 82% по запасу. Пихта была затро-

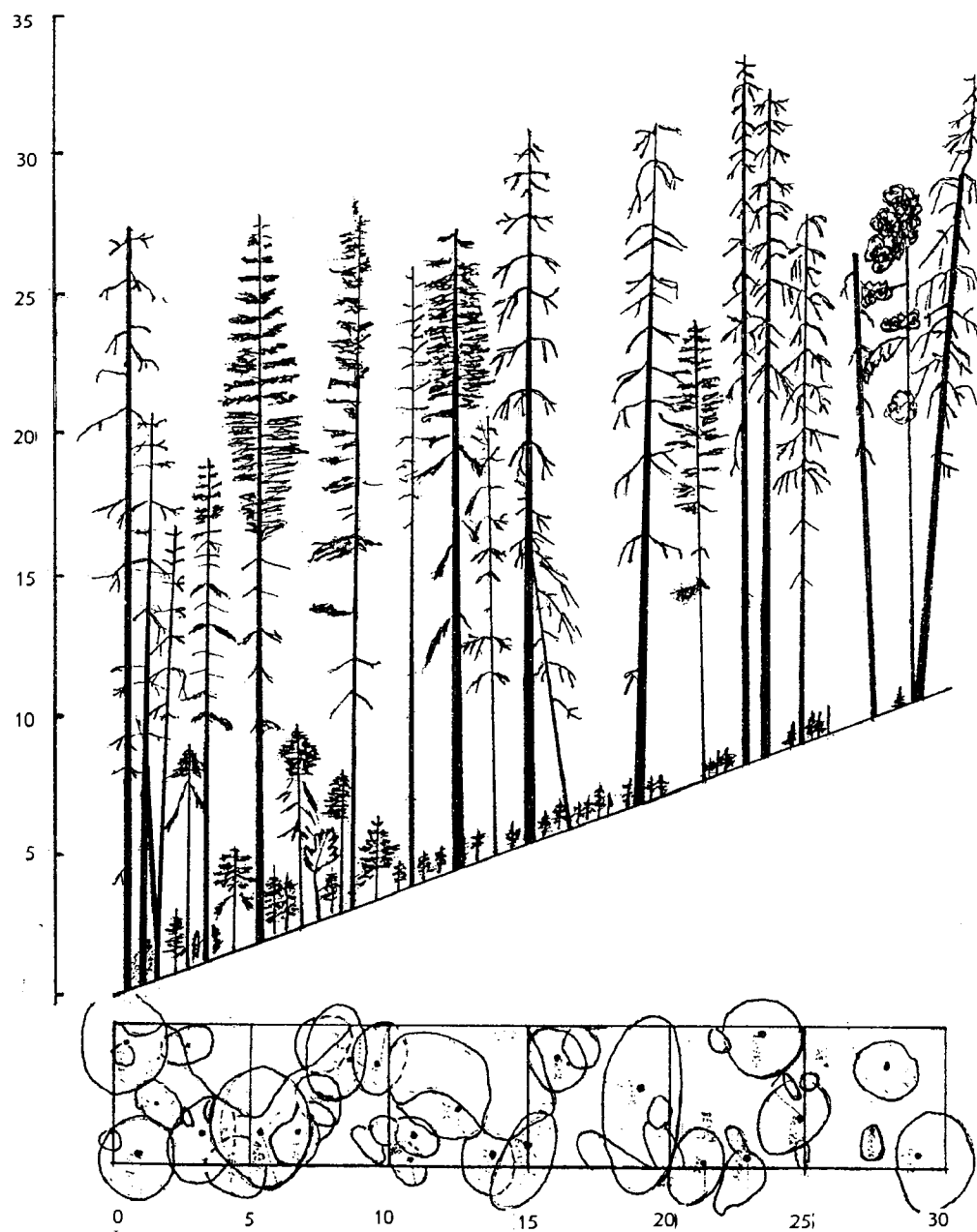


Рис. 9. Профильная диаграмма 2-1989. Бассейн р. Большая Уссурка. Фрагмент пихтово-елового леса из группы зеленомошных. Состав древостоя: 87 Еа13П6 ед.К. Усыхание ели: по запасу – 99,5 %, по числу стволов – 86,7 %, средний диаметр сухой ели – 27,1 см, сухой+живой – 25,4 см. Усыхание пихты: по запасу – 19,7 %, по числу стволов – 42,8 %, средний диаметр сухой пихты – 12,3 см, сухой + живой – 16,8 см

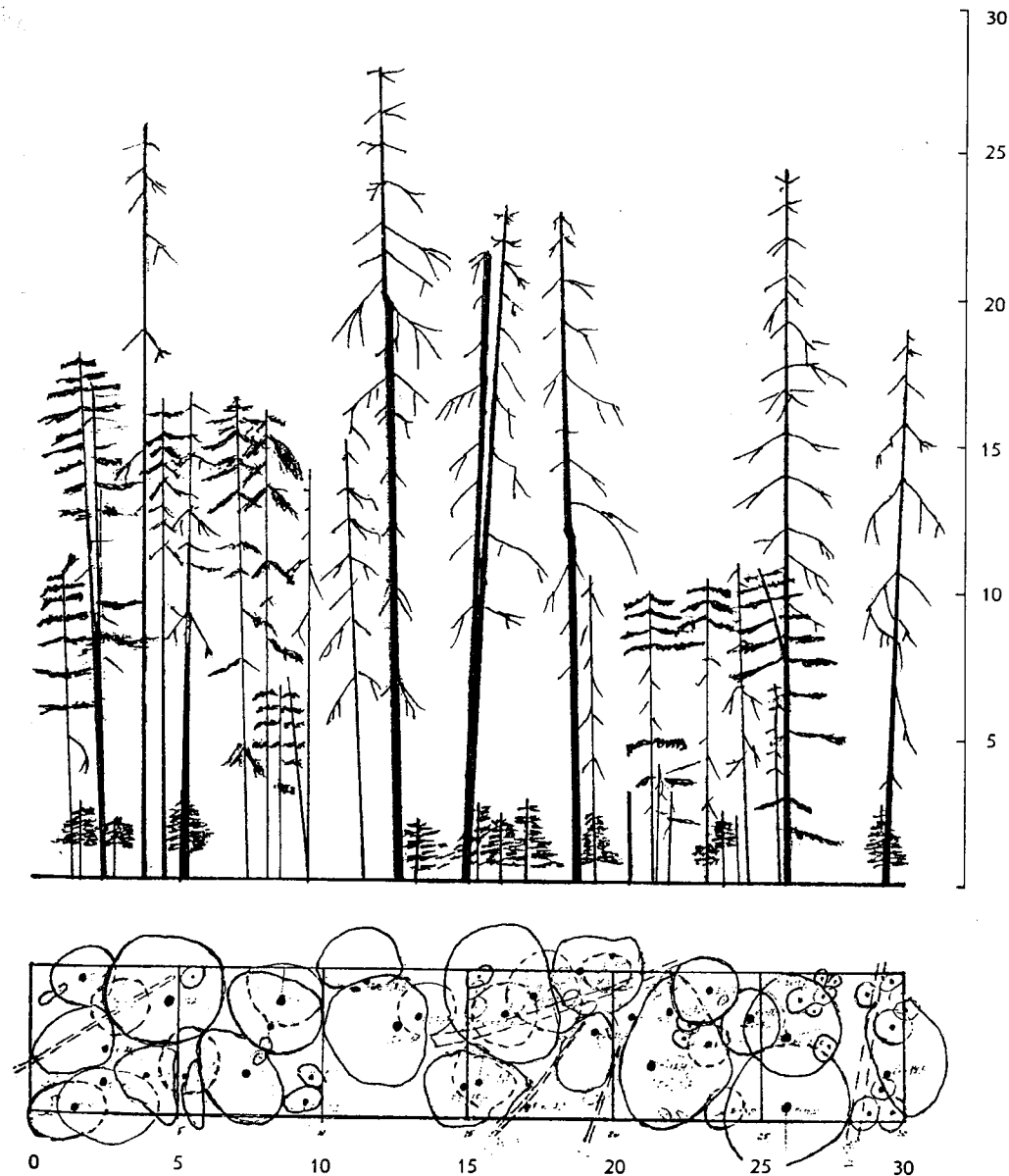


Рис. 10. Профильная диаграмма 3-1989. Бассейн р. Большая Уссурка. Фрагмент пихтово-елового леса из группы зеленомошных. Состав древостоя: 92Еа18 П6. Усыхание ели: по запасу – 90,8 %, по числу стволов – 80 %, средний диаметр сухой ели – 20,7 см, сухой + живой – 19,7 см. Усыхание пихты: усохших стволов нет

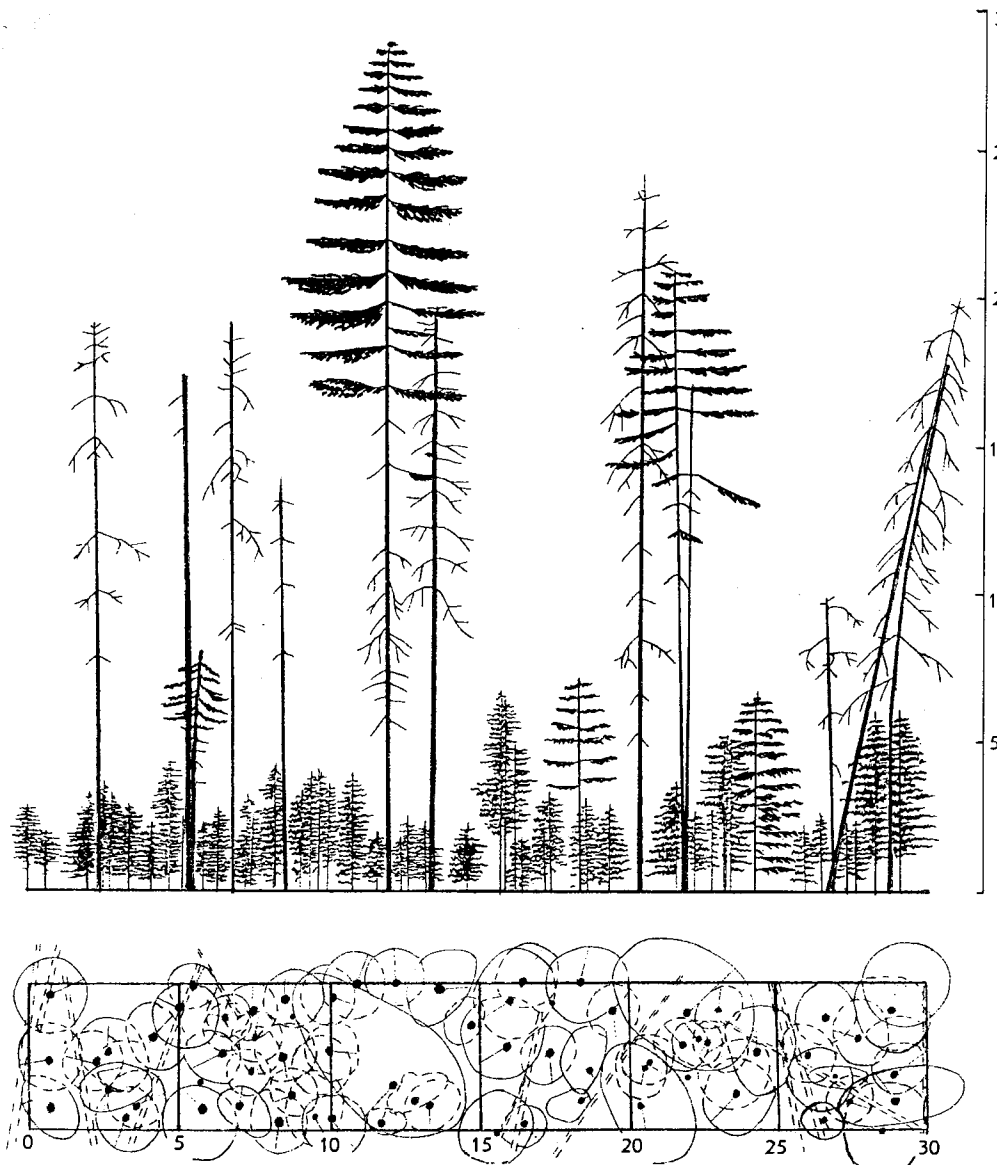


Рис. 11. Профильная диаграмма 4-1989. Бассейн р. Большая Уссурка. Фрагмент папоротниково-зеленомошного пихтово-елового леса. Состав древостоя: 59 Еа 41 Пб. Усыхание ели: по запасу – 99 %, по числу стволов – 84,6 %, средний диаметр сухой ели – 20,7 см, сухой + живой – 19,2 см. Усыхание пихты: по запасу – 37,3 %, по числу стволов – 27,2 %, средний диаметр сухой пихты – 19,9 см, сухой + живой – 16,3 см

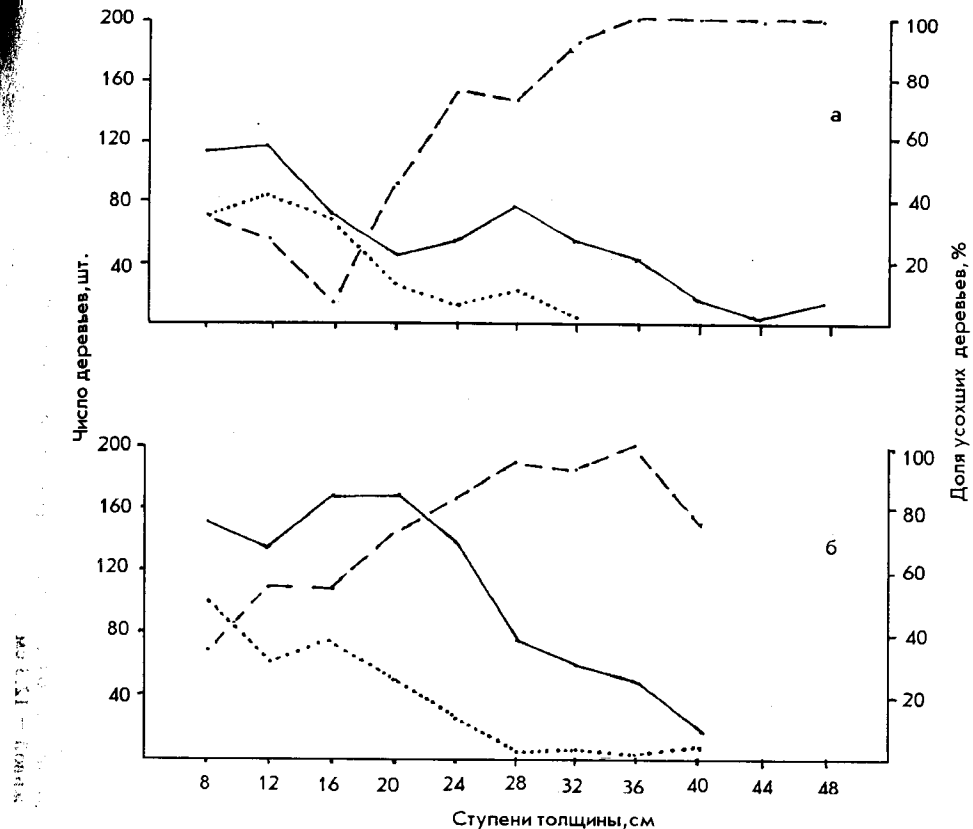


Рис. 12. Распределение ели по толщине в усыхающих древостоях бассейна р. Большая Уссурка (а – ПП 1-1989; б – ПП 2-1989); сплошная линия – живые + сухие + валеж, шт.·га⁻¹, пунктирная линия – живые, шт.·га⁻¹; прерывистая линия – сухие + свежий валеж, %

нута усыханием несколько сильнее (по числу стволов от 31 до 79%, а по запасу от 66 до 84%). Усыхали в основном наиболее крупные стволы ели (рис. 15) и пихты (рис. 16).

В молодых древостоях (50–60 лет) с господством темнохвойных пород усыхание деревьев в верхнем пологе практически не происходит (ППП 2-1992; табл. 2); отпад здесь формируется из отставших в росте деревьев. В то же время в молодых послепожарных массивах с господством и участием ели и пихты иногда встречались единично, реже группами из 2–3 деревьев усохшие темнохвойные породы; как правило, они были хорошо развиты и входили в основной полог.

Постоянные пробные площади в бассейне р. Единка характеризуют усыхание наиболее типичных зеленомошных и моховых пихтово-еловых лесов, произрастающих на плато. Среди них описан пихтово-еловый лес с подлеском из рододендрона золотистого (ППП 1-1992; табл. 2), который встречается редко и распространен на ограниченных площадях по границе

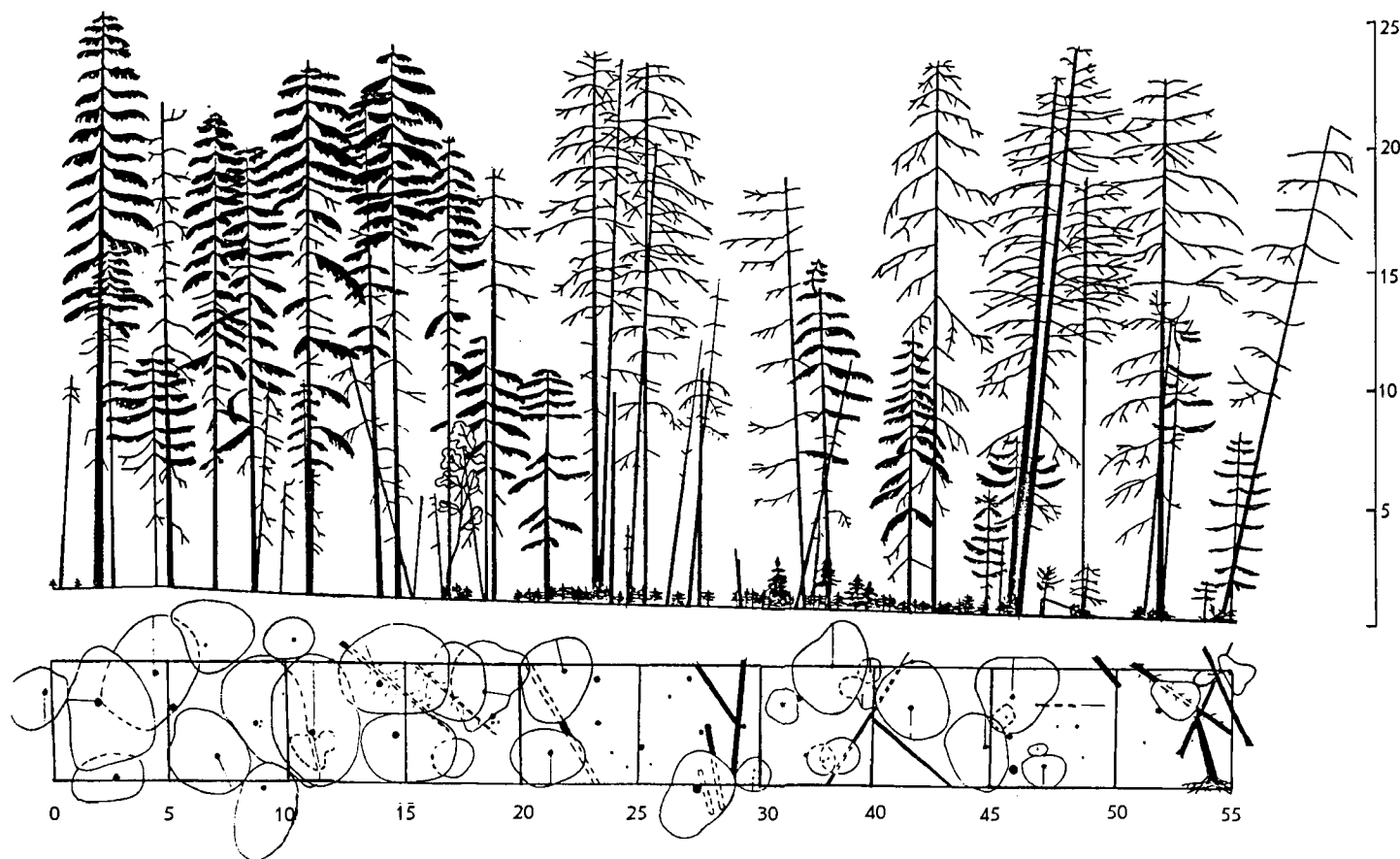


Рис. 13. Профильная диаграмма 1-1988. Бассейн р. Большая Пяя. Фрагмент мелкотравно-зеленомошного пихтово-елового леса. Состав древостоя: 95Еа5Пб ед. Бер. Усыхание ели: по запасу – 60,4 %, по числу стволов – 63,2 %, средний диаметр сухой ели – 23,1 см, сухой + живой – 23,8 см. Усыхание пихты: по запасу – 67,6 %, по числу стволов – 58,3 %, средний диаметр сухой пихты – 12,9 см, сухой + живой – 12,3 см

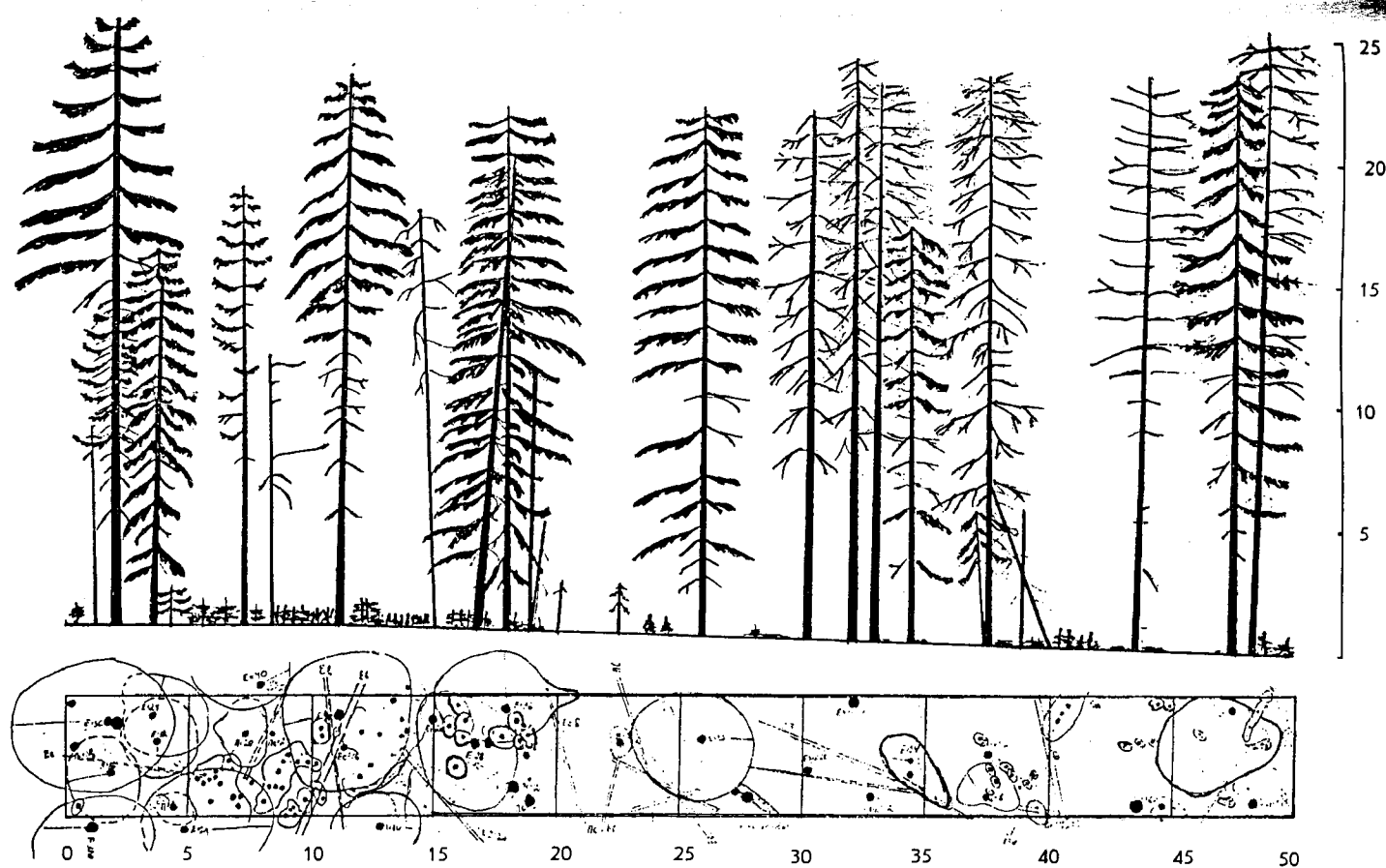


Рис. 14. Профильная диаграмма 2-1988. Платообразный водораздел между реками Большая Пяя–Светлая. Фрагмент зеленомошного пихтово-елового леса. Состав древостоя: 78Еа22Пб. Усыхание ели: по запасу – 42 %, по числу стволов – 52,7 %, средний диаметр сухой ели – 26,7 см, сухой + живой – 29,3 см. Усыхание пихты: по запасу – 68,2 %, по числу стволов – 77,7 %, средний диаметр сухой пихты – 22,7 см, сухой + живой – 24,9 см

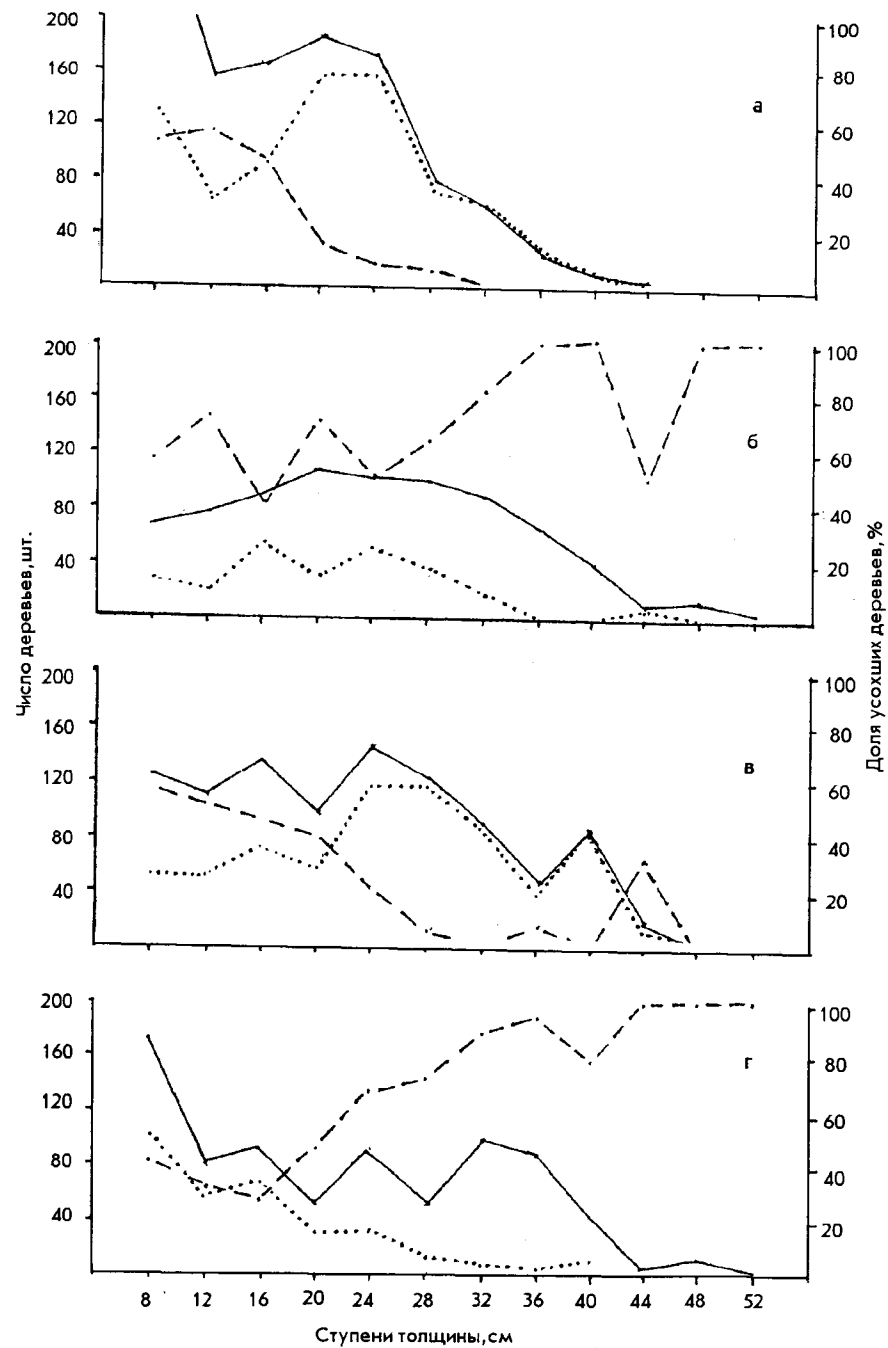


Рис. 15. Распределение ели по толщине в усыхающих древостоях бассейнов рек Большая Пейя и Светлая (а – ППП 3-1989; б – ППП 4-1989; в – ППП 5-1989; г – ППП 6-1989).
Обозначения те же, что и на рис. 12

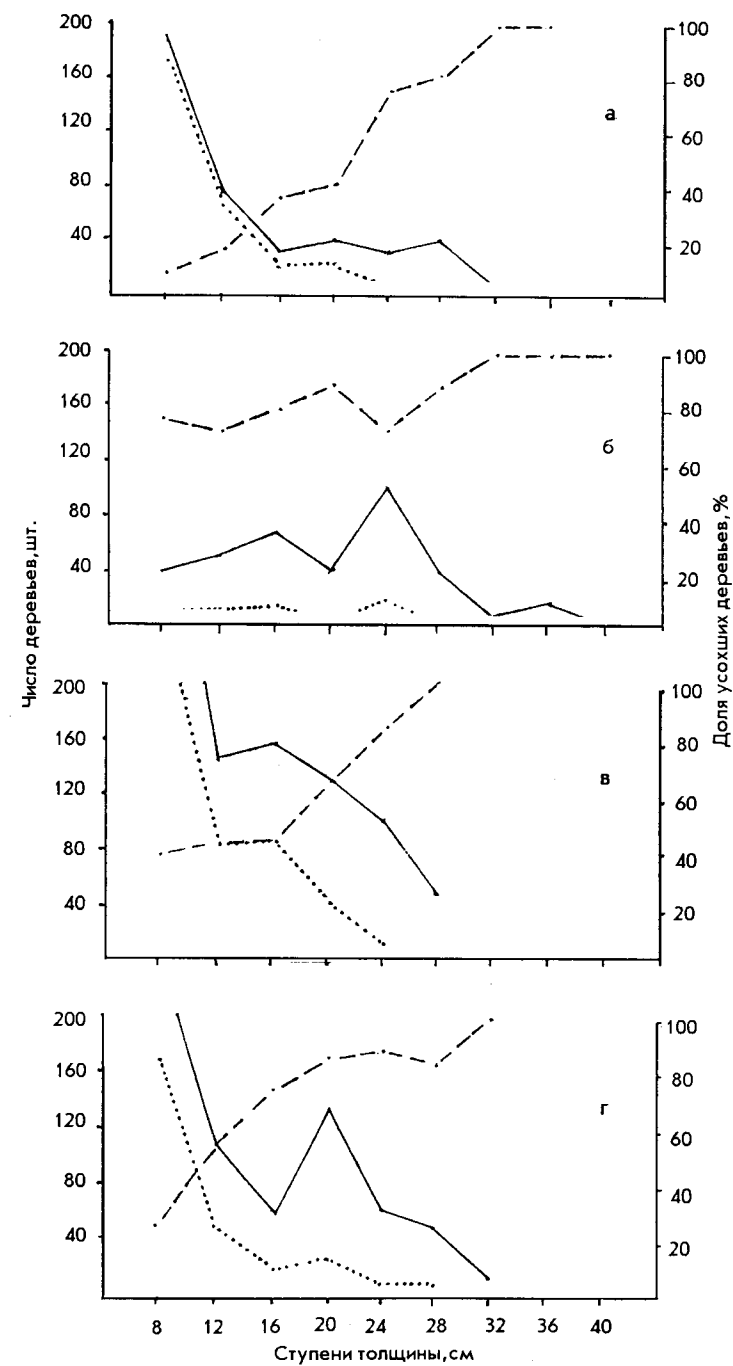


Рис. 16. Распределение пихты по толщине в усыхающих древостоях (а – ППП 4-1989; б – ППП 6-1989; в – ППП 2-1990; г – ППП 3-1990). Обозначения те же, что и на рис. 12

пихтово-еловых лесов с заболоченными пространствами, примыкающими к небольшим озерам, которые нередко встречаются на плато. Этот тип леса представляет большой интерес, поскольку он возник путем постепенного внедрения темнохвойных пород на заболоченные пространства и занимает местообитания, которые не менее 500 лет (если судить по возрасту наиболее старых лиственниц) не подвергались влиянию пожаров, а если принять во внимание наличие довольно мощного торфянистого горизонта, то этот участок не горел значительно дольше.

Доля отпавших стволов на постоянных пробных площадях колебалась от 36 до 66%, составляя по запасу 29–86% (табл. 2). В отмершей части древостоя по абсолютным показателям преобладала ель, хотя на долю сухих и валежных стволов пихты приходилось 40–60% от ее особей (41–77% от запаса этой породы). В большинстве случаев наиболее пострадала от усыхания ель из основного полога древостоя (рис. 17).

Живые деревья ели и пихты имеют высокий возраст, для них характерен медленный рост (рис. 18, 19); относительно молодые деревья в последнее десятилетие несколько увеличили прирост по диаметру после усыхания древостоя.

В целом по материалам всех пробных площадей можно сделать заключение, что наиболее сильно усыхают ель и пихта в основном пологом древостоя; сохранность их в тонкомерной части древостоя значительно выше, что в последующем способствует восстановлению лесной обстановки в очаге усыхания.

В общем виде проявляется тенденция увеличения доли сухих стволов ели и пихты по мере возрастания их толщины (рис. 12, 15, 16, 17). Средний диаметр у отмерших елей, как правило, был выше, чем у живых; в сильно усохших древостоях он превышал средний диаметр живых в 2 раза (а иногда и более). Лишь в ранней стадии деградации древостоев средний диаметр отмерших деревьев может быть ниже, чем у живых (ПП 2-, 5-1988; табл. 1, 3, 5-1989, 2-1990, 1-1992, табл. 2); в это время усыханием в большей степени может быть затронута пихта (ППП 3-1989; табл. 2).

6.2. Возрастная структура древостоев

Возрастная структура пихтово-еловых лесов отличается в большинстве случаев разновозрастностью. Исключение представляют сомкнутые относительно молодые послепожарные одновозрастные леса. Под их пологом пока отсутствуют необходимые условия для роста и развития более молодого поколения темнохвойных пород. Например, возраст учетных деревьев ели, отобранных на пробной площади 2-1992, колебался от 52 до 56 лет, диаметр на высоте груди от 5 до 23,5 см. На втором участке (лесосека проходных рубок во вторичном мелкотравно-зеленомошном пихтово-еловом лесу) число годовичных слоев на пнях ели имело амплитуду от 70 до 83, а диаметр пней от 38 до 72 см.

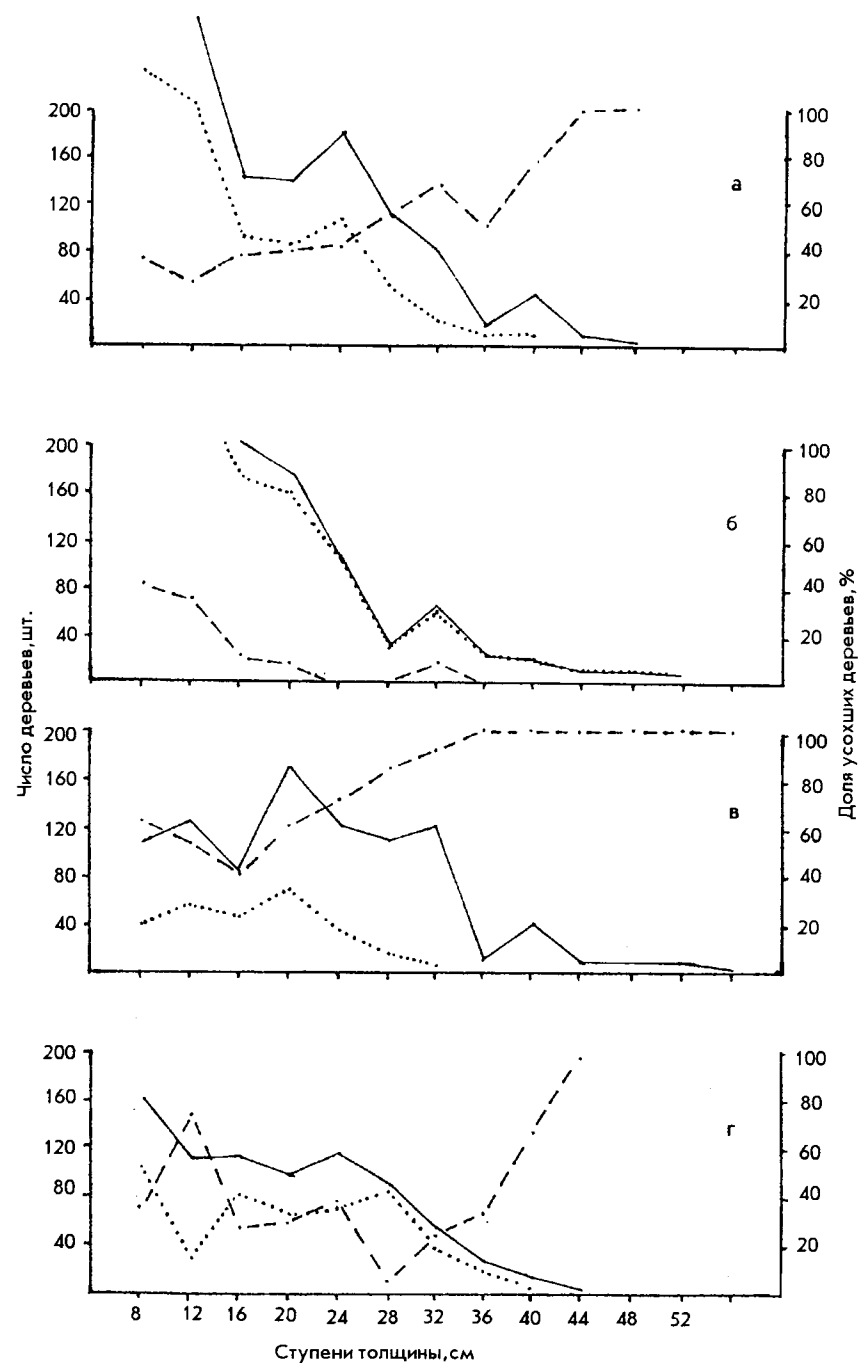


Рис. 17. Распределение ели по толщине в усыхающих древостоях в бассейне р. Единка (а – ППП 1-1990; б – ППП 2-1990; в – ППП 3-1990; г – ППП 1-1992). Обозначения те же, что и на рис. 12

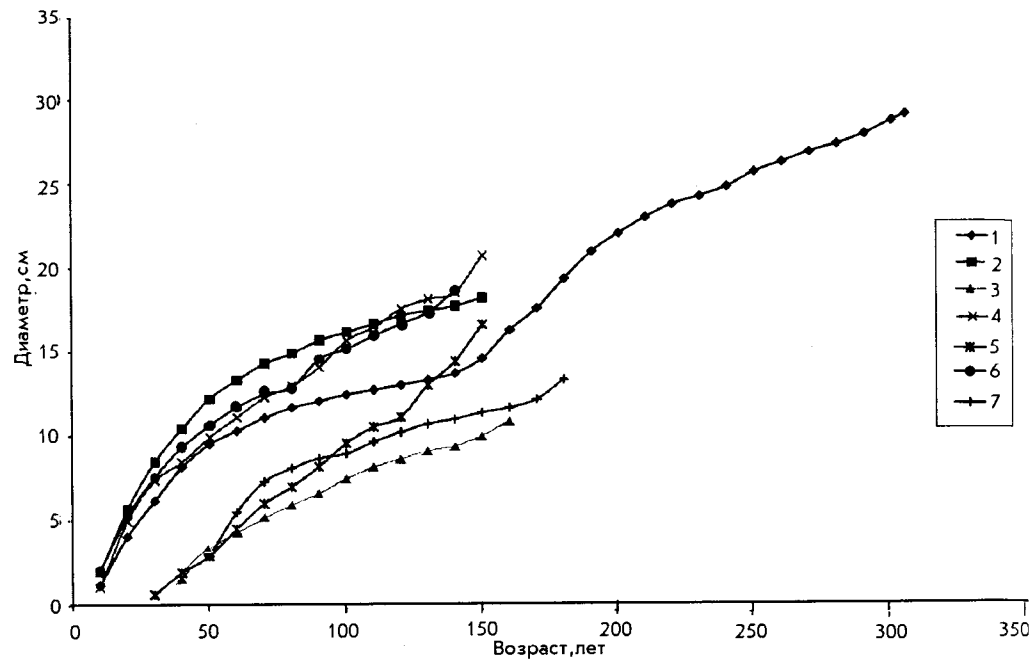


Рис. 18. Ход роста живых экземпляров ели аянской и пихты белокорой по диаметру в мелкотравно-зеленомошном пихтово-еловом лесу (ППП 3-1990). 1 — ель, возраст 305 лет, высота 21,2 м; 2 — ель, возраст 146 лет, высота 18,1 м; 3 — пихта, возраст 163 года, высота 19,7 м; 4 — ель, возраст 157 лет, высота 21,4 м; 5 — ель, возраст 151 год, высота 12,1 м; 6 — пихта, возраст 150 лет, высота 16,0 м; 7 — ель, возраст 181 год, высота 10,6 м

Обычно преобладают два типа разновозрастных древостоев. На многих местообитаниях, нередко характеризующихся ослабленным дренажом, представлены пихтово-еловые древостои, возрастная структура которых приближается к абсолютной разновозрастности.

В то же время широко распространены древостои, в которых основное поколение ели относительно одновозрастное, но в них представлены и более молодые поколения темнохвойных пород, преобладающие по числу стволов в нижних пологах. По возрастной структуре они близки к насаждениям «нормального» строения А.Г. Шавнина (1966), но отличаются от них нередко хорошо выраженной тонкомерной частью, которая придает рядам распределения деревьев по толщине левую асимметрию. Эти древостои возникли на месте пожарищ, о чем свидетельствует наличие под подстилкой древесных углей. В них основной полог образован первым послепожарным поколением темнохвойных пород.

По материалам В.И. Будзана (1980, 1989) для горизонтальной структуры пихтово-еловых лесов Сихотэ-Алиня характерно куртинное строение, связанное с возрастом деревьев. В пределах выделов, установленных при 3-м разряде лесоустройства, на спелые и перестойные куртины деревьев приходится 66% площади, на приспевающие — 29%, на средневозрастные — 5%.

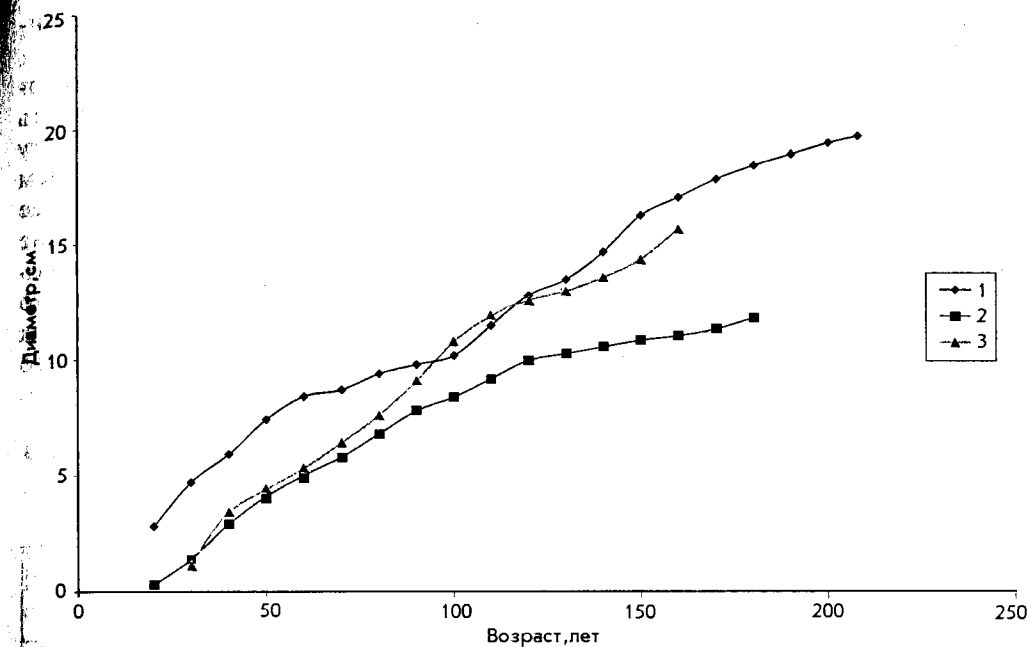


Рис. 19. Ход роста живых экземпляров ели аянской и пихты белокорой в смилациново-моховом пихтово-еловом лесу (ППП 1-1990). 1 — ель, возраст 208 лет, высота 16,6 м; 2 — пихта, возраст 180 лет, высота 10 м; 3 — ель, возраст 162 года, высота 14,0 м

Площадь куртин зависит от возраста и состава древостоев: при доле участия ели свыше 70% в 120–150-летних древостоях она колеблется от 0,77 до 1,1 га. Эти закономерности позволяют понять куртинность в размещении погибших деревьев в очагах усыхания.

О возрастной структуре пихтово-еловых лесов верхней части бассейна р. Большая Уссурка могут дать представление учетные деревья, которые отбирались на пробных площадях. В мелкотравно-зеленомошном пихтово-еловом лесу (ПП 1-1989) число годовичных слоев на живых учетных деревьях ели было 96, 131, 143 и 216, а на сухих — 108, 128, 160, 192, 213, 255 и 319; живые пихты имели 129, 167 и 172 годовичных кольца. В зеленомошно-папоротниковом пихтово-еловом лесу (ПП 2-1989) на живых елях насчитано 146, 212 и 223 годовичных слоя, а на сухих — 134, 167, 168, 236, 245, 246, 250, 257 и 281; на живой пихте было 126 годовичных колец. Эти данные не подтверждают высказанное Б.С. Петропавловским (1987) мнение о невысоком возрасте усыхающих темнохвойных лесов в бассейне р. Большая Уссурка.

В бассейнах рек Светлая и Большая Пея в зеленомошных пихтово-еловых лесах живые учетные деревья ели имели такое количество годовичных колец: 116, 122, 124, 125, 127, 128, 148, 153, 154, 159, 170, 174, 176, 200, 204 и 205, а сухие — 145, 147 и 162. Основное поколение ели в этих лесах имеет возраст, близкий к возрасту физической спелости, который, по мнению

А.Г. Шавнина (1966, 1968), в наиболее распространенных типах леса Приморского края наступает в 180–200 лет.

Относительно полное представление о возрастной структуре усыхающего папоротниково-зеленомошного пихтово-елового леса можно получить на примере сплошного перечета древостоя и крупного подроста по возрасту (табл. 3). Древостой разновозрастный; преобладающее поколение ели в нем имело возраст 100–160 лет (на деревья этого возраста приходится более 40%), а пихта была значительно моложе. Возраст наиболее старых елей не превышал 200 лет. Отсутствие более старых деревьев ели и наличие древесных углей в верхней части почвенного профиля свидетельствуют о том, что на участке произрастает первое послепожарное поколение темнохвойных пород, под которое продолжали поселяться ель и пихта; в результате этого наибольшее количество деревьев этих пород имело возраст 20–60 лет.

Таблица 3

Распределение ели аянской и пихты белокорой по классам возраста (междуречье Светлая–Большая Пяя), пт., площадь 0,25 га

Порода, состояние		Классы возраста										Возраст не установлен	Всего
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ель	живая	—	17	61	11	9	24	12	9	1	—	2	146
	сухая	—	—	1	3	6	14	21	32	12	3	34	126
	всего	—	17	62	14	15	38	33	41	13	3	36	272
Пихта	живая	2	127	114	15	21	10	3	1	—	—	10	303
	сухая	—	—	1	2	2	—	—	—	—	—	57	62
	всего	2	127	115	17	23	10	3	1	—	—	67	365
Всего	живых	2	144	175	26	30	34	15	10	1	—	12	449
	сухих	—	—	2	5	8	14	21	32	12	3	91	188
	итого	2	144	177	31	38	48	36	42	13	3	103	637

Примечание. Прочерк означает отсутствие деревьев этого класса возраста.

В еловой части древостоя с увеличением возраста ели повышалось количество ее отмерших деревьев, более молодые особи ее менее пострадали от усыхания; для пихты это не было характерно, хотя у подавляющего числа сухих пихт (91,9%) возраст установить не удалось.

Обращает на себя внимание значительная поврежденность деревьев гнилями; по этой причине у 13,2% деревьев ели и у 18,3% пихты число годичных колец на пне посчитать не удалось; 2/3 особей ели, у которых не установлен возраст, имели диаметр менее 22 см; доля такого размера стволов пихты составляла около 63%; все это свидетельствует о том, что тонкомерные с гнилью деревья ели и пихты не могли быть очень старыми.

Рост усохших деревьев ели по диаметру отличался следующими особенностями, выявленными по величине прироста на пне: у 23% деревьев при-

рост перед усыханием был заметно ослаблен, 2% деревьев имели крайне низкий прирост в течение всей жизни, у 5% наблюдалось усиление прироста перед гибелью, в 70% случаев сухие деревья имели хороший рост. Это позволило нам считать, что в таком случае дендрохронологические методы, которые широко используются в ряде стран для прогнозирования деградации и усыхания лесов, малопригодны в наших условиях. Это заключение подтверждается и более ранними материалами, полученными в очагах усыхания пихтово-еловых лесов в левобережном Приамурье (Манько, 1965), где около 50% сухих деревьев не снижали прироста по диаметру перед гибелью. Если принять за аксиому, что древесные растения мгновенно откликаются на изменение погодных и других условий размерами прироста (Комин, 1996), то на основе наших материалов можно говорить о внезапной гибели основной части деревьев в очагах усыхания.

В бассейне р. Единка древостой на всех пробных площадях характеризуется хорошо выраженной разновозрастностью; возраст наиболее старых деревьев ели превышал 300 лет. Например, учетные деревья ели в пихтово-еловом лесу с подлеском из рододендрона золотистого имели 108, 111, 135, 153, 190, 194, 203, 242 и 308 годичных колец, пихты — 99, 106, 123, 160 и 250. В мелкотравно-зеленомошном пихтово-еловом лесу этот показатель у ели колебался от 146 до 305, а у пихты в пределах 140–160. В смилациново-моховом и смилациново-зеленомошном пихтово-еловом лесу возраст учетных деревьев ели имел размах от 120 до 260 лет; пихта достигала возраста 150–160 лет.

Приведенные материалы свидетельствуют о том, что преобладающее поколение ели в усыхающих древостоях, как правило, имеет большой возраст. Однако усыхают не только старые особи, но и более молодые, что связано с их морфометрическими и биологическими особенностями, с их положением в фитоценозе, а также с быстрым изменением биогеоценотической обстановки в результате деградации древостоя. В частности, отмирают почти все относительно молодые деревья ели и пихты, входившие в основной полог древостоя. Среди тонкомерных стволов наибольшая доля усохших особей приходится на сильно угнетенные экземпляры, не способные приспособиться к резкой смене эколого-фитоценотических условий, наступающей в результате гибели верхнего полога древостоя.

Усыхание основного полога древостоя сопровождается усилением прироста в высоту и по диаметру основной массы уцелевших тонкомерных деревьев и подроста. Так, на участке, где обмерены все деревья по возрасту и морфометрическим показателям, 96,8% живых пихт (из 285) увеличили прирост в высоту, 2,8% не изменили его и 0,4% сократили; из 118 живых деревьев ели усилили прирост 85,6%, не изменили и уменьшили его соответственно 12,7 и 1,6%. Сокращение прироста в высоту у части живых особей связано с механическими повреждениями их при распаде усохшей части древостоя.

Все материалы, полученные на других пробных площадях, подтверждают факты интенсивного роста основной массы сохранившихся тонкомерных деревьев и подроста темнохвойных пород после усыхания основного полога древостоя. Это прежде всего свидетельствует о том, что в целом экологиче-

ские условия (в том числе и эдафические) в очагах усыхания пихтово-еловых лесов не меняются в неблагоприятную сторону для темнохвойных пород.

Размеры прироста в высоту определяются реакцией каждого дерева на новые условия, но в целом зависят от его возраста (рис. 20). После распада основного полога древостоя у части тонкомерных экземпляров усохли вер-

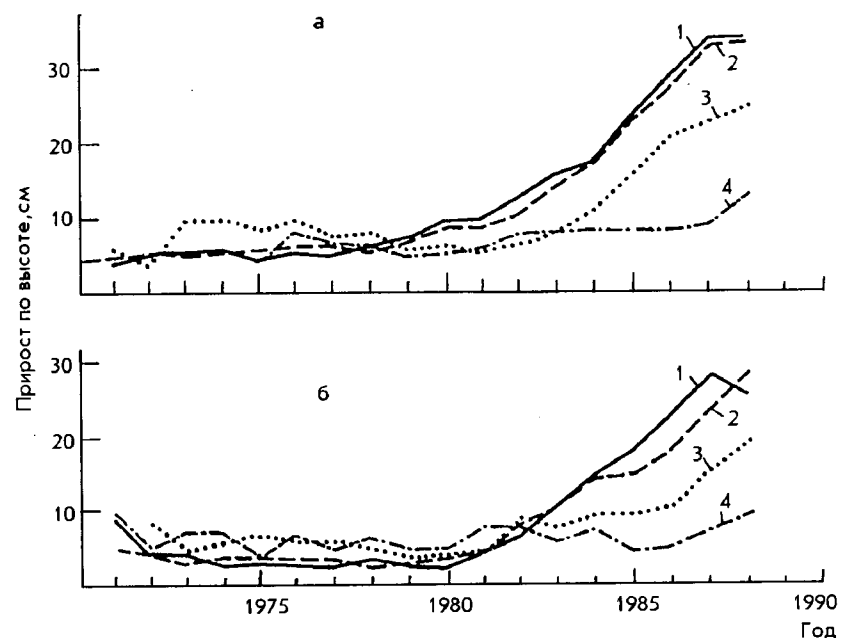


Рис. 20. Прирост по высоте пихты белокорой (а) и ели аянской (б). Поколение деревьев пихты, лет: 18-40 (131 шт.), 41-80 (130 шт.), 81-120 (21 шт.), 121-147 (5 шт.); ели: 1-31-40 (17 шт.), 2-41-80 (70 шт.), 3-81-120 (19 шт.), 4-121-160 (12 шт.)

шины; все суховершинные ели имели возраст более 80 лет; у пихты в этом возрасте было более 85% деревьев с сухой вершиной. Пихта в очагах усыхания растет более интенсивно, наибольший размер прироста у нее в 1988 г. достигал 53,8 см (высота 2,9 м, возраст 41 год); у ели максимальный прирост за этот год был равен 44 см (высота 2,9 м, возраст 49 лет). По материалам пробной площади в междуречье Светлая-Большая Пея наибольшее число живых деревьев (59,8%) увеличило прирост в высоту в 1980-1983 гг. (рис. 20). На основе этого можно сделать вывод о времени усыхания древостоя, начало которого, возможно, связано с засушливыми условиями 1978 г.

6.3. Естественное лесовозобновление в очагах усыхания

Естественное возобновление основных лесобразователей в очагах усыхания проходит, как правило, удовлетворительно и обеспечивает смену от-

мирающих поколений. Это хорошо видно при авиаобследовании лесов — на месте старых очагов усыхания с разрушившимся древостоем формируются молодняки неравномерной сомкнутости с преобладанием темнохвойных пород. Ярким примером успешного лесовосстановления в очагах усыхания может служить профильная диаграмма (см. рис. 11).

Усыхание древостоя не сопровождается массовым усыханием подроста ели и пихты. Обычно встречаются единичные сухие экземпляры подроста темнохвойных пород. Лишь в отдельных случаях имеются куртины подроста с сухими ветвями и желтой хвоей; возможно, что это результат повреждения ассимиляционного аппарата грибными болезнями. В частности, в смирновом-моховом пихтово-еловом лесу (ППП 1-1990) на долю больной ели с желтой хвоей и сухими нижними ветвями приходилось 16,8%, пихты — 18,5% от количества живых экземпляров; часть подроста с наличием желтой хвои была отнесена к здоровым особям. На этой площади имелись единичные небольшие группы усохшего подроста.

По данным пробных площадей общее количество подроста колебалось в широких пределах и зависело от типа леса и степени распада древостоя (табл. 4, 5).

Таблица 4

Распределение живого подроста древесных пород по высоте в усыхающих пихтово-еловых лесах, тыс. шт. га⁻¹

Высота подроста	ПП-1-1988		ПП-2-1988		ПП-4-1988			ПП-5-1988			ПП-1-1989			ПП-2-1989		
	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Бер	Еа	Пб	Кк	Еа	Пб	Кк	Еа	Пб	Кк
До 50 см	13,8	2,0	7,0	4,2	22,7	5,0	0,2	0,34	0,2	0,03	4,8	11,7	0,47	21,0	13,7	0,7
51-150 см	5,2	1,8	5,0	1,5	2,5	2,0	0,2	0,04	0,05	—	0,3	0,2	—	12,7	7,7	0,3
Более 150 см	0,8	0,5	0,17	0,17	—	0,7	0,2	0,02	0,01	—	0,2	—	—	0,67	1,0	—
Более 150 см*	0,17	0,13	0,45	0,14	0,12	0,1	—	0,06	0,04	—	0,14	0,33	Ед	0,42	0,92	Ед
Всего	19,97	4,43	12,62	6,01	25,32	7,8	0,6	0,46	0,3	0,03	5,44	12,23	0,47	34,79	23,3	1,0

* С диаметром на высоте груди 2,1-6,0 м. Здесь и в табл. 5 прочерк означает отсутствие особей этого размера.

Наименьшее его количество 0,8 (ПП 5-1988) — 1,7 тыс. шт. га⁻¹ (ППП 5-1989) было под спелым сомкнутым зеленомошным ельником, быстрому усыханию которого способствовала вырубка окружающих древостоев. Наибольшее количество подроста превышало 30 и даже 50 тыс. шт. га⁻¹ (табл. 4).

В верхней части бассейна р. Уссурка в подросте под пологом пихтово-еловых лесов рассеянно встречается кедр, который весьма редок в лесах бассейнов рек Большая Пея и Единка.

Подрост ели и пихты разновысотный. В большинстве случаев в нем преобладают мелкие экземпляры ели, размещенные по трухлявым пням и гниющему валежнику; на ряде участков превалирует пихта, удельный вес которой в крупном подросте нередко более значителен, чем ели. На постоянных пробных площадях в ступени толщины 4 см насчитывается 170—

Распределение живого подроста древесных пород по высоте на постоянных пробных площадях, тыс. экз. га⁻¹

Высота подроста	3-1989				4-1989				5-1989				6-1989			
	На валеже		Вне валежа		На валеже		Вне валежа		На валеже		Вне валежа		На валеже		Вне валежа	
	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб
До 50 см	8,4	4,2	4,1	2,3	0,9	0,2	0,2	—	1,3	—	—	—	17,0	0,8	0,6	0,7
51–150 см	4,1	1,6	1,6	0,9	1,7	0,1	0,8	0,6	—	—	0,1	0,1	1,9	0,4	0,5	0,1
Более 150 см	0,12	—	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	—	—	0,2	—	—	0,1	—	—
Всего	12,62	5,8	5,8	3,3	2,8	0,5	1,2	1,0	1,3	—	0,3	0,1	18,9	1,3	1,1	0,8

Высота подроста	1-1990				2-1990				3-1990				1-1992			
	На валеже		Вне валежа		На валеже		Вне валежа		На валеже		Вне валежа		На валеже		Вне валежа	
	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб	Еа	Пб
До 50 см	14,0	4,2	6,0	5,8	6,8	6,4	9,2	15,0	2,2	0,1	1,1	0,1	0,6	1,1	0,3	2,0
51–150 см	1,0	1,5	5,9	6,2	1,4	1,2	1,8	2,2	0,9	0,7	2,6	1,5	0,1	0,4	0,1	1,1
Более 150 см	0,6	0,2	1,7	1,0	0,4	0,3	0,5	0,2	0,4	0,6	1,2	1,8	ед.	0,1	ед.	0,5
Всего	15,6	5,9	13,6	13,0	8,6	7,9	11,5	17,4	3,5	1,4	4,9	3,4	0,7	1,6	0,4	3,6

370 шт. га⁻¹ ели и пихты; лишь в одном случае количество таких стволиков превышало 1100 шт. (ППП 4-1989).

Под пологом более интенсивно усохших древостоев возрастает роль среднего и крупного подроста, для которого нередко характерно групповое размещение; чем старше очаги усыхания, тем выше роль крупного подроста и тонкомера в составе молодого поколения леса. В молодняках, формирующихся на месте усыхающих древостоев в бассейне р. Большая Уссурка, постоянно участвует кедр корейский, представленный единичными экземплярами.

Подрост ели и пихты разновозрастный и в основной массе задержан в росте. Его облик свидетельствует о сильном угнетении на протяжении длительного времени (слабая охвоенность, плохо сформированная крона, крайне незначительный прирост в высоту, частая смена главного осевого побега). Об этом также наглядно свидетельствует график зависимости высоты подроста ели и пихты от возраста в зеленомошных пихтово-еловых лесах (рис. 21). Например, высота у ели в возрасте 30–40 лет колебалась от 29 до 375 см, у пихты — от 65 до 337 см. Наиболее старые особи подроста ели и пихты в этой группе типов леса достигали возраста 80–90 лет. Все это характерно и для молодого поколения, развивающегося в других типах леса.

Подрост во всех типах леса размещен неравномерно — его группы чаще приурочены к окнам и разреженным местам в древостое; особенно это характерно для участков с куртинным распадом древостоя (см. рис. 10, 13).

Размещение основной массы подроста на гниющих валежинах в значительной степени «выравнивает» роль эдафических условий в течение периода, пока корневая система особей размещается в пределах гниющей древесины. Поэтому параметры размеров подроста на этом этапе близки во

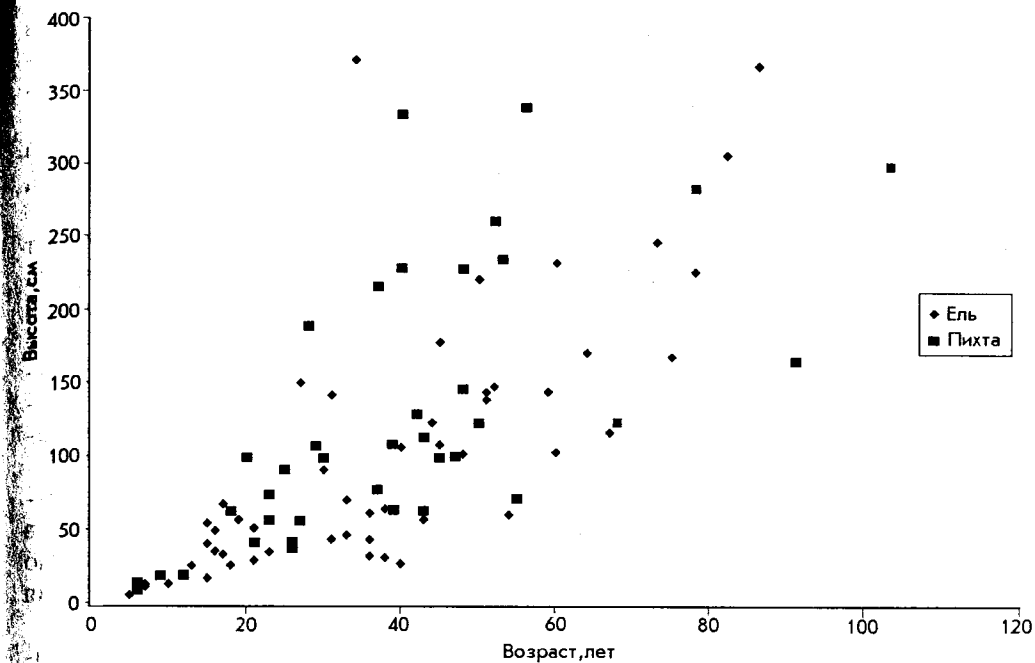


Рис. 21. Зависимость высоты от возраста подроста ели аянской (1) и пихты белокорой (2) в усыхающих зеленомошных пихтово-еловых лесах

многих типах леса и, по-видимому, более всего зависят от условий освещения, определяемых сомкнутостью древесного полога.

В какой-то мере исключением из этого правила могут быть условия для появления и роста подроста в пихтово-еловом лесу с подлеском из рододендрона золотистого, где влияние кустарников испытывает и подрост, растущий на валеже. Возраст наиболее старых особей подроста в этом типе леса превышал 100 лет (например, ель в 108 лет имела высоту 166 см, в 111 лет — 240, в 135 лет — 329 см, пихта в 99 лет — 267 см, в 106 лет — 187). Кстати, и в типах леса с более благоприятными эдафическими условиями крупный подрост, сформировавшийся под сомкнутым древостоем, отличается крайне медленным ростом. Так, в папоротниково-зеленомошном пихтово-еловом лесу ель в возрасте 105 лет имела высоту 256 см, в смилациново-зеленомошном пихта в 133 года — 240 см, в 110 лет — 210, ель в 103 года — 310 см.

Размеры прироста подроста в высоту значительно варьируют и зависят от давности и степени усыхания древостоя, а также от конкретных условий размещения. Так, особи ели и пихты, растущие в сомкнутых куртинах молодняка, характеризуются незначительным приростом даже при высокой степени усыхания древостоя. Напротив, крупные особи, господствующие в куртинах, отличаются хорошим приростом в высоту, иногда достигающим 30–40 см. В целом молодое поколение ели и пихты реагирует на усыхание

верхнего полога древостоя увеличением прироста в высоту. Например, ель в травянисто-зеленомошном пихтово-еловом лесу в возрасте 52 лет при высоте 280 см имела прирост по высоте за последние 12 лет, равный 207 см; пихта (возраст 51 год, высота 315 см) прирост за это время на 237,2 см; в мелкотравно-зеленомошном пихтово-еловом лесу 34-летняя ель (высота 375 см) имела прирост за последние 12 лет 304 см, а 40-летняя пихта (высота 540 см) — 375 см.

Начало усиления прироста подроста в высоту и по диаметру может служить основанием для установления времени начала усыхания древостоя. При этом надо лишь иметь в виду, что крупные старые особи подроста при интенсивном усыхании древостоя могут, напротив, сокращать прирост в высоту в первые 2—3 года или сменять центральный осевой побег за счет отмирания или повреждения верхушечной почки. Мелкие и средние экземпляры, растущие относительно свободно, увеличивают прирост в высоту сразу после усыхания древостоя.

Обычно время усиления прироста в высоту и по диаметру у большинства особей подроста ели и пихты не совпадает; чаще увеличение прироста в высоту происходит на 2—3 года позже увеличения размеров прироста по диаметру. Это надо учитывать при установлении времени начала усыхания древостоя.

Подрост в очагах усыхания при распаде усохших древостоев в значительной степени механически повреждается крупными сучьями и большими кусками коры, вершинами и стволами деревьев (деформация и повреждение стволика и кроны, облом стволика и т.п.).

Последующее возобновление темнохвойных и других пород затруднено вследствие разрастания под усохшими древостоями вейника, малины, осок и других травянистых и кустарничковых растений, часть из которых образует дернину, а также кустарников. Поселение древесных пород, среди которых чаще всего преобладают лиственные, происходит на участках с нарушенным почвенным покровом, преимущественно по местам вывала деревьев. Однако таких «очагов» для последующего возобновления в усохших древостоях мало, поскольку массовый вывал деревьев с корнями возможен лишь в начале усыхания, когда на дереве еще имеется крона. В последующем сухие деревья подгнивают в комлевой части и падают, почти не повреждая поверхности почвы. На плато в верхней части бассейнов рек Большая Пея и Единка роль лиственных пород в формирующихся древостоях на месте усохших ограничена.

В целом естественное лесовосстановление в очагах усыхания осуществляется с преобладанием ели и пихты, возникших еще под пологом древостоев. Соотношение между этими породами значительно варьирует, но отчетливо выражена тенденция усиления позиций пихты практически на всех местообитаниях в очагах усыхания пихтово-еловых лесов. Полученные материалы свидетельствуют также о том, что в усыхающие пихтово-еловые леса не происходит внедрение кедра, о чем писал В.М. Урусов (1991, 1996), связывая этот процесс с глобальным потеплением климата.

6.4. Состав подлеска и нижних ярусов растительности на постоянных пробных площадях

В зеленомошных и мелкотравно-зеленомошных пихтово-еловых лесах подлесок, как правило, слабо развит и не образует сомкнутого полога (табл. 6). В его составе единично смородина (*Ribes horridum*, *R. triste*, очень редко *R. maximowiczianum*), жимолость (*Lonicera schamisoi*, *L. caerulea*), спирея (*Spiraea betulifolia*), рябина (*Sorbus aucuparia*, *S. sambucifolia*), бузина (*Sambucus racemosa*), участие которой возрастает на участках с усохшим древостоем, очень редко встречается клен (*Acer ucrunduense*).

В кустарничково-травяном ярусе основную роль играет мелкотравье (*Linnaea borealis*, *Maianthemum bifolium*, *Lycopodium annotinum*, *Listera pinetorum*, *Carex xypium*, *Leptorumohra amurensis*, нередко *Oxalis acetosella*, *Goodyera repens*), виды которого встречаются единично и рассеянно. По мере усыхания древостоя в кустарничково-травяном ярусе увеличивается участие *Calamagrostis langsdorffii* s.l., *Rubus matsumuranus* и других видов, роль которых под пологом леса была крайне ограниченной. В сильно усохших древостоях фон нередко создает *Calamagrostis langsdorffii*, а около приствольных повышений *Rubus matsumuranus*.

Ярус мхов обычно хорошо развит и практически сплошь покрывает почву. Мощность живого слоя мхов в среднем составляет 5 см. Основу его создают *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum majus* и реже другие виды. По понижениям, для которых характерно повышенное увлажнение, встречаются пятна *Sphagnum girgensohnii*, нередко *Ptilium crista castrensis*. Под усохшими древостоями мхи деградируют вследствие изменения экологической обстановки (погребение опадом, изменение влажности и освещенности).

В моховых пихтово-еловых лесах, занимающих на плато более увлажненные и менее дренированные участки, в подлеске, помимо видов, которые обычны для зеленомошных группировок, постоянно встречается *Ledum hypoleucum*, размещенный группами. Сомкнутых зарослей не создает, проективно покрывает 20—40% площади.

Кустарничково-травяной ярус (табл. 6) неоднороден: на дренированных участках преобладают виды таежного мелкотравья, развитие которых зависит от степени усыхания древостоя, а на пониженных переувлажненных участках выделяются группы *Smilacina dahurica*, *Equisetum sylvaticum*, единичные особи и небольшие группки *Rubus saxatilis*, иногда *R. chamaemorus*, редко *Veratrum lobelianum*. Проективное покрытие неравномерно и колеблется от 0,3 до 0,6. Мхи образуют сомкнутый покров с толщиной живого слоя 5—10 см. Более 50% площади занимают зеленые мхи, среди которых чаще преобладают *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*, до 30—40% приходится на сфагновые мхи (*Sphagnum girgensohnii*, *Sp. russowii*).

В пихтово-еловом лесу с подлеском из рододендрона золотистого, занимающего переувлажненные местообитания, среди кустарников господствует *Rhododendron aureum*, образующий сплошные заросли высотой до 0,9 м, где единично встречаются *Sorbus aucuparia*, *Pinus pumila*, а под пологом

Состав подлеска и нижних ярусов растительности на постоянных пробных площадях

Растение	Обилие на пробных площадях								
	3-1989	4-1989	5-1989	6-1989	2-1992	1-1990	2-1990	3-1990	1-1992
<i>Acer tegmentosum</i> Maxim.	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>A. ucureduense</i> Trutv. et Mey.	—	Sol	—	Sol	—	Sol	—	—	—
<i>Betula ovalifolia</i> Rupr.	—	—	—	—	—	—	—	—	Sol
<i>Juniperus davurica</i> Pall.	—	—	—	—	Sol	—	—	—	—
<i>Ledum hypoleucum</i> Kom.	Sol	—	—	—	—	Sp _{gr}	Sp _{gr}	Sol	Sp _{gr}
<i>Lonicera caerulea</i> L.	Sol	—	Sol	—	—	Sol	—	Sol	—
<i>L. schamisoi</i> Bunge ex P. Kir.	Sol	Sol-Sp	—	Sol	Sol	—	—	—	—
<i>Philadelphus tenuifolius</i> Rupr. et Maxim.	—	—	—	—	Sol	—	—	—	—
<i>Pinus pumila</i> (Pall.) Regel	—	—	—	—	—	—	Sol	Sol	Sol
<i>Rhododendron aureum</i> Georgi	—	—	—	—	—	—	—	—	Soc
<i>Ribes horridum</i> Rupr.	Sol	Sol-Sp	—	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol	—
<i>R. triste</i> Pall.	Sol	Sol	—	—	—	Sol	—	—	—
<i>Salix</i> sp.	—	—	—	—	—	—	—	Sol	—
<i>Sambucus racemosa</i> L.	—	Sol	Sol	Sol-Sp	Sol	Sol	—	Sol	—
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	Sol	—	—	Sol	—	Sol	Sol	Sol-Sp	Sol-Sp _{gr}
<i>Spiraea betulifolia</i> Pall.	Sp	Sp	Sol	Sol	Sp	Sol	—	—	Sol
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	—	—	—	—	—	—	—	—	Sol
<i>Aconitum tanguticum</i> (Maxim.) Stapf	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Actaea erythrocarpa</i> Fisch.	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Aegopodium alpestre</i> Ledeb.	—	—	—	—	Sol	—	—	—	—
<i>Angelica maximowiczii</i> (Fr. Schmidt) Benth. ex Maxim.	—	Sol	—	Sol	—	—	—	—	—
<i>Athyrium sinense</i> Rupr.	—	—	—	—	—	Sol	—	—	—
<i>Atragene ochotensis</i> Pall.	—	Sol	—	—	Sol	—	—	—	—
<i>Cacalia auriculata</i> DC.	—	Sol-Sp	—	—	—	—	—	—	—
<i>C. hastata</i> L.	—	Sol _{gr} -Sp	—	—	—	—	—	—	—
<i>Chamaepericlymenum canadense</i> (L.) Aschers. & Graebn.	Sol-Sp	Sp	—	—	—	Sp	Cop ¹ -Sp	—	Sp
<i>Chamerion angustifolium</i> (L.) Scop.	—	Sol	—	Sol	—	Sol	—	Sol	Sol
<i>Calamagrostis langsdorffii</i> (Link) Trin.	Sol _{gr}	Cop ² -Cop ³	Sol _{gr}	Sp _{gr} -Cop ¹	Sol	Sol _{gr}	Sol	Sol-Sp _{gr}	Sol
<i>Caltha palustris</i> L.	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Carex caespitosa</i> L.	—	Sol-Sp	—	—	—	—	—	—	—
<i>C. globularis</i> L.	—	—	—	—	—	Sol-Sp	Sol-Sp	—	Sp
<i>C. pseudololiacea</i> Fr. Schmidt	—	Sol-Sp	—	—	—	—	—	—	—
<i>C. xypophum</i> Kom.	Sol	Sol-Sp	Sol _{gr}	Sp	Sol-Sp	Sol-Sp	Sol	Sp _{gr}	Sol
<i>Cimicifuga dahurica</i> (Turz.) Maxim.	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—

Растение	Обилие на пробных площадях								
	3-1989	4-1989	5-1989	6-1989	2-1992	1-1990	2-1990	3-1990	1-1992
<i>Cirsium schantarense</i> Trautv. & C.A. Mey	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Circaea alpina</i> L.	—	Sp	—	—	—	—	—	—	—
<i>Clintonia udensis</i> Trautv. & C.A. Mey.	Sol	Sol-Sp	—	Sol	Sol-Sp	—	—	—	—
<i>Convallaria keiskei</i> Miq.	—	—	—	—	Sol	—	—	—	—
<i>Dryopteris crassirhizoma</i> Nakai	—	Sol-Sp	—	—	—	—	—	Sol	—
<i>D. dilatata</i> (Hoffm.) A. Gray	Sp-Sp _{gr}	—	—	—	—	—	—	Sol	—
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	—	Sol-Sp	—	—	—	Sol-Sp	Sol-Sp	—	Sol-Sp
<i>Philipendula palmata</i> (Pall.) Maxim	—	Sol-Sp	—	—	—	Sol	—	—	—
<i>Galium boreale</i> L.	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Geranium</i> sp.	—	—	—	—	Sol	—	—	—	—
<i>Goodyera repens</i> (L.) R.Br.	Sol-Sp	—	—	—	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newm.	—	—	—	—	—	Sol	—	Sol	—
<i>Impatiens noli-tangere</i> L.	—	Sol _{gr}	—	—	—	—	—	—	—
<i>Leptorumohra amurensis</i> (Christ.) Tzvel.	Sol	Sol-Sol _{gr}	Sol _{gr}	Sol	Sol	Sol	—	Sol	Sol
<i>Lycopodium annotinum</i> L.	Sol	—	Sp	Sp	Sol	Sol	Sol	—	Sol
<i>L. clavatum</i> L.	—	—	—	—	Sol	—	—	Sol _{gr} -Sp _{gr}	—
<i>L. juniperoideum</i> Sw.	—	Sol	—	—	Sol	—	—	—	—
<i>Ligularia fischeri</i> (Ledeb.) Turcz.	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Lilium distichum</i> Nakai	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Linnaea borealis</i> L.	Sp-Cop ¹	Sp	Sp	Sp _{gr}	Sp	Sp-Cop ¹	Sp	Sp _{gr} -Soc	Sp
<i>Listera pinetorum</i> Lindl.	Sol-Sp	—	—	—	—	Sol	Sol	Sol	Sol
<i>Luzula rufescens</i> Fisch ex Mey.	—	—	—	Sol	—	—	—	Sol	—
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W. Smidt	Sp	Sol-Sp	Sol	Sp	Sol-Sp	Sol	Sol	Sol-Sp	Sol
<i>Matteuccia struthiopteris</i> (L.) Tod.	—	Sol-Sp	—	—	—	—	—	—	—
<i>Milium effusum</i> L.	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Mitella nuda</i> L.	Sol	Sol	—	Sol	—	Sol	—	—	—
<i>Moehringia lateriflora</i> (L.) Fenzl.	—	—	—	—	—	—	—	Sol-Sp	—
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House	—	—	—	Sol-Sp	—	Sol-Sp	Sol-Sp	Sol	Sol
<i>Oxalis acetosella</i> L.	Sp	Sol-Sp	Sol _{gr}	—	—	Sol	Sol	Sol-Sp	—
<i>Paenonia</i> sp.	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Pedicularis kuznetzovii</i> Kom.	Sp-Cop ¹	—	—	—	—	Sol _{gr}	Sol-Sp _{gr}	Sp-Cop ¹	Sol
<i>Phegopteris connectilis</i> (Michx.) Watt	—	Sol-Sol _{gr}	—	—	—	Sol	—	Sol	—

Растение	Обилие на пробных площадях								
	3-1989	4-1989	5-1989	6-1989	2-1992	1-1990	2-1990	3-1990	1-1992
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	—	—	—	—	Sol	—	—	—	—
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	—	—	—	—	—	—	—	—	Sol-Sp
<i>R. matsumuranus</i> Levl. & Vaitot.	—	Sp	—	Sol-Sp	—	Sp _{gr}	—	Sp _{gr}	Sol
<i>R. saxatilis</i> L.	—	—	—	—	—	Sol	Sol	—	Sol
<i>Saussurea neoserrata</i> Nakai	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Senecio nemorensis</i> L.	—	Sp-Sol _{gr}	—	—	—	—	—	—	—
<i>Smilacina davurica</i> Fisch. & C.A. Mey.	—	Sol	—	—	—	Sp _{gr}	Sp _{gr}	—	Sol
<i>S. trifolia</i> (L.) Desf.	—	—	—	—	—	Sol	—	—	—
<i>Solidago dahurica</i> Kitag.	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol	—	—	—	—
<i>Streptopus streptopoides</i> (Ledeb.) Frye	Sol	—	—	Sol	Sol	—	—	—	—
<i>Thalictrum contortum</i> L.	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Trientalis europaea</i> L.	Sp	Sol	—	Sol	—	—	—	—	—
<i>Urtica angustifolia</i> Fisch. Ex Hornem.	—	Sol _{gr}	—	—	—	—	—	—	—
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	—	—	—	—	—	Sp	Sp	Sp	Sp
<i>Valeriana</i> sp.	—	Sol	—	—	—	—	—	—	—
<i>Veratrum lobelianum</i> Bernh.	—	—	—	—	—	Sol	—	—	—
<i>Waldsteinia ternata</i> (Steph.) Fritsch.	—	—	—	—	—	Sol-Sp	Sol	Sol	—
<i>Bryochenea sachalinensis</i> (Lindb.) Gaoet Chang	—	—	—	—	Sol _{gr}	—	—	—	—
<i>Dicranum majus</i> Sm.	Sp _{gr}	—	Sol _{gr}	Sol _{gr}	Sp _{gr}	—	—	Sol _{gr}	—
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) B.S.G.	Sp _{gr}	—	Sp _{gr} -Cop ¹	Sp _{gr}	Sp _{gr}	Sp _{gr}	Cop ¹ -Sp	Cop ¹ -Cop ²	Sp _{gr}
<i>Pleurosiopsis ruthenica</i> (Weinm.) Kindb. ex Brid.	—	—	—	—	Sol	—	—	—	—
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	Sp	Sp	Sp	Sp	Cop ¹ -Cop ²	Sp _{gr}	Cop ² -Cop ³	Sp	Sp _{gr}
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	Sol	Sol	—	—	Sol	—	—	Sol _{gr}	Sol _{gr}
<i>Prilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not.	Sol	Sol _{gr}	—	—	Sp _{gr}	—	—	—	Sol-Sp
<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst.	Sp _{gr}	Sp	Sp _{gr}	Sp _{gr}	Sol	Sol _{gr}	Sp	Sp	Sol
<i>Sphagnum girgensohnii</i> Russ.	Sol _{gr}	—	Sol _{gr}	—	Sol _{gr}	Sp _{gr}	Sp _{gr}	Sol _{gr}	Sp _{gr}
<i>Sp. russowii</i> Warnst.	—	—	—	—	—	Sol	Sol _{gr}	—	Sol
<i>Cladonia</i> spp.	—	—	—	—	Sol	—	—	—	—
<i>Peltigera</i> spp.	Sp	—	Sol	—	Sol _{gr}	—	Sp	Sp	—

Примечание. Название древесных и кустарниковых растений дано по В.А. Недолужко (1995), остальных сосудистых растений по С.К. Черепанову (1995), мхов по М.С. Ignatov, О.М. Afonina (1992). Прочерк означает отсутствие вида.

их рассеянно и пятнами *Ledum hypoleucum*, единично *Vaccinium uliginosum* и реже другие виды. Кустарничково-травяной ярус неоднороден; виды, слагающие его, размещены под пологом рододендрона и лишь группы *Vaccinium vitis-idaea* растут открыто в прикомлевой части деревьев. В составе его *Equisetum sylvatica*, *Carex globularis*, *Chamaeperyclimenum canadense*, *Smilacina dahurica*, *Rubus chamaemorus* и другие виды.

Мхи, среди которых преобладают широко распространенные в темнохвойных лесах виды, покрывают почву почти сплошь; сфагновые мхи (*Sphagnum girgensohnii*, *Sp. russowii*) занимают около 30% площади, предпочитая пониженные части. Мхи под опадом, в котором преобладают листья рододендрона, угнетены.

Пихтово-еловые леса, под пологом которых играют существенную роль папоротники, на плато распространены нешироко, предпочитая «теплые» местообитания. В верхней части плато типичные папоротниковые группировки темнохвойных лесов встречаются редко и фрагментами. Относительно чаще представлены пихтово-еловые леса, под пологом которых папоротники не создают сплошного покрова, а единично и группами размещены по ковру из зеленых мхов.

В подлеске представлены те же виды, что и в зеленомошных и моховых пихтово-еловых лесах. В нижней части пояса пихтово-еловых лесов подлесок обогащен кленами. Основу кустарничково-травяного яруса составляют виды, типичные для темнохвойных лесов (*Linnaea borealis*, *Maianthemum bifolium*, *Trientalis europaea*, *Oxalis acetosella* и другие). Рассеянно и группами по площади встречается *Dryopteris dilatata*, достигающий почти метровой высоты, единично представлен *Leptorumohra amurensis*.

Мхи (*Rhytidiadelphus triquetrus*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum majus*) покрывают почву почти сплошным ковром толщиной до 5 см; в составе их по понижениям участвует также *Spagnum girgensohnii*.

С началом усыхания древостоя изменяется фитоценотическая и экологическая обстановка в сообществе, что сопровождается перестройками в его нижних ярусах. Трансформация нижних ярусов зависит от степени усыхания древостоя, размещения усохших особей и их групп, от количества и дислокации сохранившихся живых деревьев и крупного подроста. Под пологом куртин живого древостоя и тонкомера состав и облик кустарничково-травяного яруса изменяется незначительно. В зеленомошных пихтово-еловых лесах под изреженными группами древостоя аспект создают плауны и линнея, размещенные по ковру из зеленых мхов; линнея нередко образует плотные пятна различного размера, создавая своеобразное задернение поверхности почвы. На сильно освещенных участках вследствие усыхания древостоя на смену тенелюбивым видам, составлявшим основу нижних ярусов растительности, разрастаются светолюбые, в числе которых основную роль играют *Calamagrostis langsdorffii*, *Rubus matsumuranus* и реже другие виды (единично и группами *Chamerion angustifolium*, пятнами *Carex*). В подлеске появляется бузина, обычно размещенная группами. Зеленые мхи отмирают, чему способствует не только резкая смена экологических условий, но также залповое поступление опада.

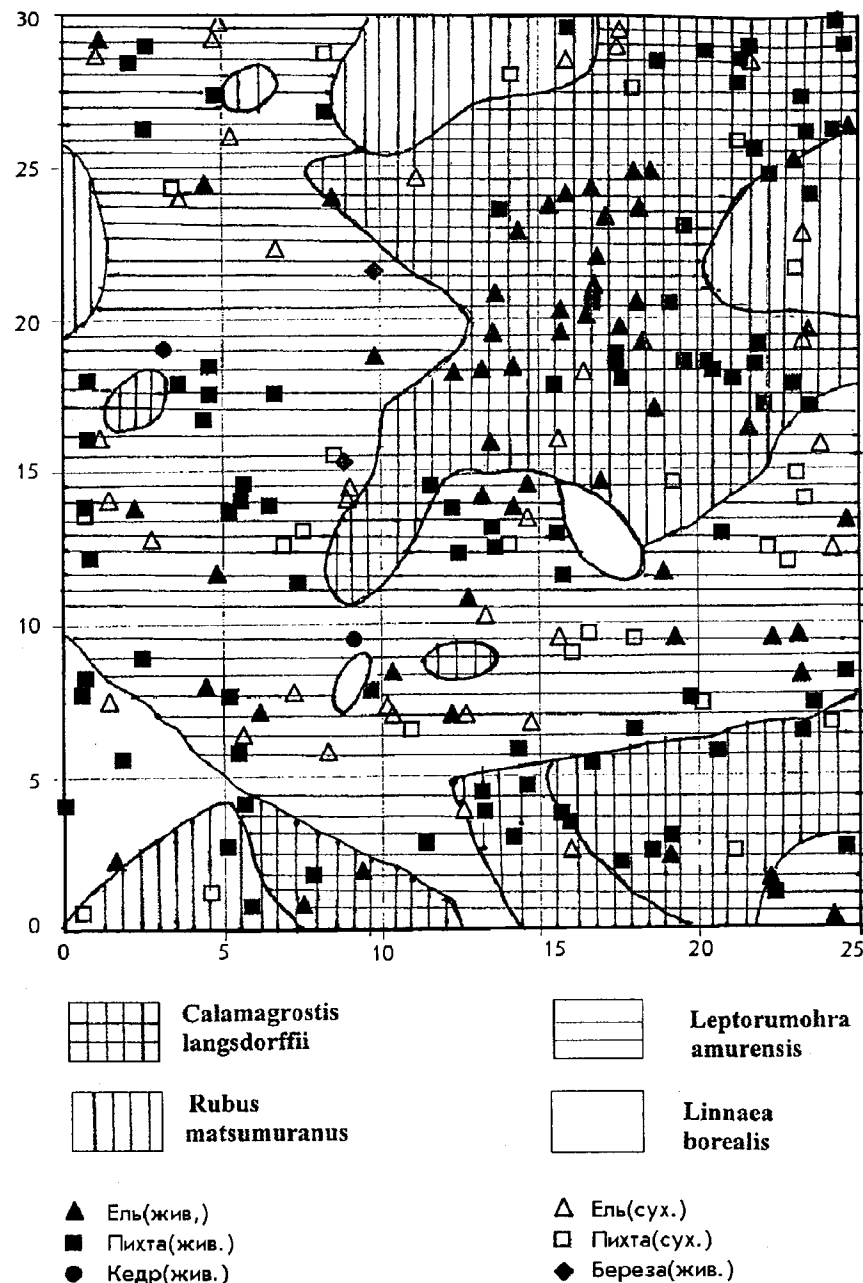


Рис. 22. Состояние напочвенного покрова в связи с усыханием древостоя (фрагмент пробной площади 3-1988)

На проточно увлажненных участках появляются группы гигромезофильного и мезогигрофильного разнотравья (*Cacalia hastata*, *Filipendula palmata*, *Veratrum lobelianum*, *Impatiens noli-tangere*), однако и на этих местообитаниях основную роль в напочвенном покрове играет веерник. Изменения в кустарничково-травяном ярусе приводят к задернению поверхности почвы, что сказывается неблагоприятно на последующем естественном лесовозобновлении.

Состояние кустарничково-травяного яруса на одной из пробных площадей, характеризующих усыхающий древостой в зеленомошном пихтово-еловом лесу, приведено на рис. 22. По мере увеличения сомкнутости сохранившегося тонкомера и подроста роль светлюбивых видов в кустарничково-травяном ярусе усохших ельников становится менее значительной, в связи с чем улучшаются условия для возобновления темнохвойных пород.

ПОЧВЫ ПОД УСЫХАЮЩИМИ ПИХТОВО-ЕЛОВЫМИ ЛЕСАМИ

7.1. Почвообразующие породы

Наиболее распространенными почвообразующими породами под пихтово-еловыми лесами являются базальтоиды и гранитоиды. В бассейнах рек Светлая и Пея в основании разреза, как правило, имеется толща осадочных и вулканогенно осадочных пород, сменяющихся горизонтами агломератовых туфов, на которых залегают многочисленные потоки лав андезитов, андезито-базальтов и оливиновых базальтов. В междуречье рек Светлая и Кабанья развиты широкие лавовые поля, состоящие из базальтов (Попов, 1986).

Андезито-базальты являются доминирующей почвообразующей породой в районе наших исследований. Им свойственно высокое содержание Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO и TiO_2 (табл. 7). В составе почвообразующих минералов преобладают: плагиоклаз, оливин, клино- и ортопироксен, магнетит, титаномагнетит, ильменит, кварц.

В бассейне р. Большая Уссурка преобладают породы кислого и среднего состава: граниты и гранодиориты, андезито-дациты, туфы, липариты и пр.

7.2. Морфологическая характеристика подстилок

Строение почвенного профиля под усыхающими и живыми древостоями аналогично. Отличия проявляются лишь в его верхней части, где вследствие деградации яруса мхов и разрастания вейника, а иногда и осок развивается дерновый процесс. Почвенный профиль имеет строение: О-(АТ)-А1-(АВ)-В1-(В2)-(В3)-ВС (бассейны рек Единка, Светлая и Большая Пея, Большая Уссурка); О-ОА-ЕЛ-ВНФ-В2, О-ОА-АЕЛ-В1-В2 (Большая Уссурка) и О-А1-В1-В2-ВС (Уссурийский заповедник).

Характеристика подстилок дается с учетом разработок А.П. Сапожникова (1982, 1984, 1987; и др.) и Л.О. Карпачевского (1982). Подстилки зеленомошных и моховых пихтово-еловых лесов бассейнов рек Единка, Малая Светлая и Большая Пея можно отнести к полноразвитым или фрагментарно полноразвитым. Для них характерна пестрота в строении в зависимости от состава и парцеллярного сложения древостоя.

Средний валовой химический состав почвообразующих пород (% на прокаленную навеску)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.П.П.*	Минералогический состав
Базальт, р. Светлая, среднее течение**												
50,43	1,44	19,06	4,13	3,98	0,13	6,72	9,53	3,08	0,79	0,47	2,40	Ol, Pl, Срх, Орх, Tmt
Оливиновый базальт, р. Пея, устье**												
55,03	1,03	17,93	1,12	6,23	0,12	5,43	7,61	3,19	1,66	0,30	0,66	Ol, Pl, Срх, Mt, Ilm
Плагиобазальт, р. Светлая, верховья**												
55,31	2,36	15,04	2,65	7,01	0,16	4,89	7,83	3,64	0,64	н.а.	0,30	Oi, Pl, Срх, Mt, Tmt, Ilm
Андезито-базальт, р. Пещерка**												
54,22	1,39	17,78	4,24	4,23	0,14	3,20	8,20	3,48	1,54	0,77	2,81	Ol, Pi, Орх, Срх, Mt, Ilm
Андезит, южнее устья р. Пея**												
58,77	0,93	16,90	1,34	5,35	0,11	4,31	6,46	3,40	2,12	0,32	0,75	Pl, Срх, Орх, Hb, Mt, Ilm
Андезито-базальт слабо выветрелый, ППП 1-1990, бассейн р. Единка												
50,69	2,20	15,35	6,60	5,68	0,19	7,55	6,65	3,38	1,10	0,41	1,90	н.а.
Андезито-базальт более выветрелый, ППП 3-1990, бассейн р. Единка												
49,29	2,33	16,87	9,92	3,63	0,20	6,72	7,37	3,19	0,35	0,37	3,42	н.а.
Андезито-базальт, ППП 3-1989, бассейн р. Большая Пея												
47,45	3,14	22,05	12,99	2,36	0,18	4,80	2,07	2,62	1,90	0,70	7,64	н.а.
Гранит, Средний Сихотэ-Алинь, Тернейский район***												
77,30	0,20	14,30	1,90	н.а.	0,05	0,04	0,30	н.а.	н.а.	0,09	2,48	Kp, Pl, Si, Bi

Примечание: Под* — потеря при прокаливании, ** данные (Попов, 1986), *** (Колосеев, 1987а). Здесь и далее: н.а. — не анализировалось. Условные обозначения, используемые в таблице: Bi — биотит, Срх — клинопироксен, Hb — роговая обманка, Ilm — ильменит, Mt — магнетит, Ol — оливин, Орх — ортопироксен, Pl — плагиоклаз, Tmt — титаномагнетит, Kp — калиевый полевой шпат, Si — кварц.

В начале лета (середина июня) подгоризонты выделяются большей частью как переходные. К осени обычно встречается среднеразложенная подстилка с хорошо выраженными подгоризонтами О1- О2-О3.

О1 — представлен живым или отмершим очесом мха, переслоен хвоей, шишками, веточками и пронизан мицелием;

О2 — бурый, полуразложившиеся растительные остатки, влажный, корни, мицелий;

О3 — бурый, разложившийся, мажущийся, более уплотнен, влажный, пронизан корнями, мицелий; переход ясный;

АТ — грубогумусовый; буро-черный, темно-бурый, темно-серый, преимущественно бесструктурный, слабоотторфованный.

Присутствие хорошо выраженного подгоризонта О3 (до 6 см), с одной стороны, свидетельствует о замедленном разложении опада и подстилки

(Карпачевский, 1982), а с другой, говорит о достаточно интенсивной деструкции органического материала (Методические указания..., 1988).

Под зеленомошными и моховыми пихтово-еловыми лесами выделены следующие типы подстилок: среднеразложенные, грубо-разложенные, грубо-разложивно-оторфованные, оторфованные, дернинные и торфянистые. Мощность подстилок варьирует от 5 до 23 см.

Величина подстилки в бассейне р. Единка колеблется в пределах $12,28 \pm 2,02$ см, а в бассейне рек Малая Светлая и Большая Пея — $9,13 \pm 0,76$. По мощности подстилки представляют три класса: средние, мощные и очень мощные. С продвижением на север мощность подстилок увеличивается, что отмечалось ранее (Сапожников, 1987). По мнению Е.В. Прокопович (1995), на основных породах происходит более высокое накопление массы подстилки вследствие их худшей дренированности (по сравнению с кислыми породами). Дополнительным фактором, тормозящим разложение подстилки, наряду с её низкой зольностью и высоким содержанием лигнина является интенсивное выщелачивание азота из хвои, что ведет к возрастанию кислотности (Богатырев, 1996). Консервация растительных остатков может быть связана и с энергетическим потенциалом подстилок, определяемых их составом (Сапожников, Сибгатуллина, 1979; Сапожников и др., 1979). Коэффициент консервации $O:A1$ в среднем по формации пихтово-еловых лесов равен $1,30 \pm 0,13$ (Сапожников, 1987). В бассейнах рек Единка, Малая Светлая—Большая Пея он достигает соответственно $0,90 \pm 0,15$ и $1,25 \pm 0,19$, что говорит о довольно интенсивной гумификации, мощнейшим фактором которой выступает почвенная биота.

Морфология, состав и мощность подстилок в очагах усыхания варьируют и зависят от степени усыхания древостоя и расположения усохших деревьев; под сухими деревьями в верхней части подстилки возрастает роль хвои, кусочков коры и веточек, нередко покрывающих и угнетающих слой мхов.

Все подгоризонты подстилки (исключая ельник с рододендроном золотистым, ППП 1-1992) густо пронизаны разноцветным мицелием: желтым, золотисто-желтым, белым, грязно-серым, кремовым. Нами наблюдалось развитие пепельно-серого слоисто-творожистого, мокрого слоя мицелия, залегающего под слоем мха. Внутри этого «пожирающего подстилку» грибного слоя можно было рассмотреть еще не переработанные остатки органического материала и минеральные частицы. В районе корней хвойных мощность горизонта увеличивается и может достигать 10 см и более. Наиболее ярко это явление было выражено в районе свежей вырубki (1995 г.) в зеленомошном пихтово-еловом лесу в бассейне р. Малая Светлая и на ППП 3-1989. По определению д-ра биол. наук. Л.Н. Егоровой, данный горизонт образуют представители класса *Basidiomycetes* (среди которых могут быть любой микоризообразующий гриб, а также возбудитель усыхания деревьев типа корневой гнили, опенка или любого другого гриба) и *Phycomycetes* из порядка *Mucorales*.

В нижней части подстилки и в горизонте $A1$ часто встречаются углстые сферические образования (диаметр около 1–3 мм). Присутствие сферул

лесных почвах Приморья отмечалось Г.М. Миньковским и С.А. Шоба (1994). Под подстилкой и в гумусо-аккумулятивном горизонте почти во всех разрезах имеются древесные угли, свидетельствующие о послепожарных сменах растительности.

7.3. Морфологические особенности почв

Мощность гумусового горизонта $A1$ в бассейнах рек Единка, Малая Светлая—Большая Пея соответственно равна $13,33 \pm 1,43$ см и $5,13 \pm 1,33$ см при диапазоне значений 11–20 см и 3–20 см. В среднем по елово-пихтовой формации она составляет $7,04 \pm 0,46$ см (Сапожников, 1987). Отличия в мощности гумусового горизонта связаны с типами леса. Гумусовый горизонт $A1$ большей частью черно-коричневого или буро-черного цвета, пронизан корнями, слабоуплотнен, может быть бесструктурным, порошисто-мелкокомковатым, порошистым, легко- или среднесуглинистым. Как правило, имеется переходный коричнево-бурый горизонт AB , мощность которого в среднем равна 5 см. С глубиной интенсивность окраски ослабевает и становится грязно-желтой, серовато-бурой, палевой, буро-коричневой. Для почвенных горизонтов бассейна р. Единка характерно окрашивание иллювиальной толщи в охристые тона, а о сезонном оглеении (ППП 1-1992) говорит пятнистая окраска горизонта ABg . Средняя глубина разрезов составляет 90–100 см; горизонт BC обычно сильнокаменистый. Для некоторых разрезов (ППП 2-1990, 1-1992) характерно наличие зеркала грунтовых вод на глубине 21 см (начало июля) или 48 см (сентябрь). Ниже приведены морфологические описания разрезов, заложенных на постоянных пробных площадях в бассейнах рек Единка, Большая Пея и Малая Светлая.

Разрез 1-1990. (18. 09. 1991 г.). Бассейн р. Единка. Смилаиново-моховой пихтово-еловый лес. Напочвенный покров представлен зелеными мхами. На глубине 48 см отмечено зеркало грунтовых вод. Близко к поверхности находится большое количество валунов округлой формы, покрытых рыхлыми органо-железистыми пленками. Основная масса корней на глубине 27 см; отдельные корни встречаются на глубине 48 см и ниже. Живой обес мха — 5 см.

$O1$ 0–3 см. Неразложившиеся хвоинки, веточки, остатки мха, пронизан желтым и белым мицелием, слабоуплотнен.

$O2$ 3–8 см. Бурый, рыхлый, среднеразложившийся, желтый и белый мицелий, полуразложившиеся растительные остатки; переход ясный.

$O3$ 8–14 см. Бурый, сильноразложившийся, мажущийся, более уплотнен, пронизан корнями, белый и желтый мицелий; переход ясный.

$A1g$ 14 см и ниже. Серовато-бурый, суглинистый, бесструктурный, слабоуплотненный, корни единично, угли, сферулы; прерывистый за счет высокой каменистости, затеки органики (уходят в воду); мажущийся, липкий; обломки породы покрыты рыхлыми черно-бурыми пленками; на глубине 13–17 см (на соседней стенке) остатки разложившейся валежины. Каменистость ~ 90%.

Почва — бурозем грубогумусовый глееватый.

Разрез 2-1990. (18. 09. 1991 г.). Бассейн р. Единка. Смилаиново-зеленомошный пихтово-еловый лес. Напочвенный покров представлен в основном зелеными мхами. Единично майник, брусника.

O1 0-3 см. Остатки зеленых мхов, хвоя, веточки, шишки, рыхлый.

O2 3-9 см. Бурый, среднеразложившийся, пронизан корнями, мицелий белый, рыхлый.

O3 9-13 см. Буро-серый из-за хлопьевидного мицелия, корни, слабоуплотнен; переход ясный.

AT 13-33 см. Буро-черный, слабоотторфованный, бесструктурный, слабоуплотнен, мелкие сферулы, корни, густо прокрашен органикой, мокрый; переход ясный.

AB 33-38 см. Буро-коричневый, тяжелосуглинистый, порошистый, слабоуплотнен, свежий, корни, отдельные включения породы округлой формы, легко рассыпающиеся; переход ясный.

B1 38-50 см. Охристо-коричневый, глинистый, слабокомковатый, липкий, уплотнен, мокрый, редко корни, мелкие обломки материнской породы, имеются затеки органики по ходам корней; переход ясный.

B2 50-72 см. Буровато-коричневый, глинистый, комковатый, слабослоистый, Mn-Fe стяжения, липкий, уплотнен, корней нет, отдельные сильноветрелые обломки, покрытые железистыми пленками, свежий; переход постепенный.

B3 72-90 см. Коричнево-бурый, глинистый, орехово-икрянистый, уплотнен, липкий, мокрый, редко железистые стяжения, корней нет, глянцевый блеск на структурных отдельностях, редко небольшие обломки сильноветрелой породы, на глубине 90 см появляется вода; переход ясный.

Почва — бурозем грубогумусовый.

Разрез 3-1990. (19.09. 1991 г.). Бассейн р. Единка. Мелкотравно-зеленомошный пихтово-еловый лес. Напочвенный покров представлен зелеными мхами и лишайниками, единично линнея, мытник. Микрорельеф типичный для ельников — приствольные повышения, полуразложившиеся валежины, покрытые зелеными мхами.

O1-2 0-5 см. Полуразложившийся очес мха, хвоинки, веточки, рыхлый, слоистый, пронизан корнями, мицелий белый и золотисто-желтый.

O3 5-7 см. Бурый, рыхлый, сильноразложившийся, пронизан корнями, белый мицелий, свежий; переход ясный.

На глубине 7-11 см разложившаяся валежина.

A1^I 11-17 см. Коричнево-серый, среднесуглинистый, слабоуплотнен, слабopорошистый, сферулы, корни, мелкие поры, свежий.

A1^{II} 17-24 см. Буро-коричневый, порошистый, слабоуплотнен, корни, единично угольки, мелкие сферулы, свежий; переход ясный.

B1 24-52 см. Ярко-охристый, среднесуглинистый, комковато-слоисто-порошистый, уплотнен, корни, мелкая дресва, поры, липкий, на глубине 50 см по ходу корней желтый мицелий, редко обломки породы; переход ясный.

B2 52-90 см. Охристый, тяжелосуглинистый, икрянистой структуры, более уплотнен, свежий, единично корни, поры. Обломки пород разных размеров, покрытые железистыми пленками.

Почва — бурозем грубогумусовый лессивированный.

Разрез 1-1992. (27.08. 1992 г.). Бассейн р. Единка. Пихтово-еловый лес с подлеском из рододендрона золотистого. Рельеф равнинный, слабый наклон к мари. Понижения со сфагнумом. Дренаж ослаблен.

O1 0-5 см. Рыхлый покров из зеленых мхов, прикрытый опавшими листьями рододендрона.

O2 5-15 см. Неоднородной окраски, серый, где сохранились остатки сфагновых мхов, оторфован, полуразложившийся, густо переплетен корнями.

AT 15-23 см. Темный с бурым оттенком, суглинистый, оторфованный, рыхлый, корни, растительные остатки; переход постепенный.



Рис.2. Усыхание ели в Южной Германии. Шварцвальд. 1984 г.

Рис.3. Дефолиация усыхающей ели. Шварцвальд. 1984 г.



темнохвойных лесов в
национальном лесе Тон-
гас (Аляска). 1997 г.



Рис. 6. Усыхание темнохвойных лесов на п-ове Кеннай (Аляска). 1997 г.



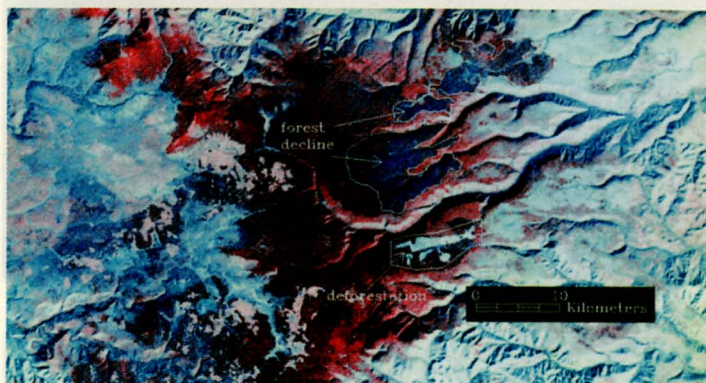
Рис. 28. Массивы усохших пихтово-еловых лесов в бассейне р. Большая Пея



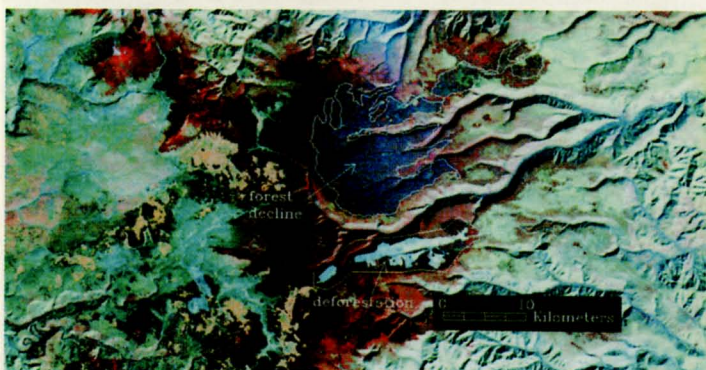
Рис. 29. Усыхание пихтово-еловых лесов в бассейне р. Единка



а— 21.10.1983 г., 122 км²



б— 13.10.1986 г., 144 км²



в— 13.10.1989 г., 189 км²



г— 17.09.1991 г., 222 км²

космического мониторинга усыхания пихтово-еловых лесов в бассейне р. Большая Пея (по данным Norihisa Kamibayahi)

А1 23–37 см. Черный, суглинистый, плитчато-комковатый, плотный, встречаются крупные окатанные камни, угли; переход постепенный.

ABg 37–48 см. Окраска пятнистая: охристо-бурых и ржаво-бурых тонов с сизоватым оттенком, тяжелосуглинистый, угли; переход постепенный.

B1g 48–56 см. Ярко-палевый, тяжелосуглинистый, ореховато-пороховидный, плотный, влажный, угли, редко обломки горных пород. По верхней границе прерывистая ржаво-кирпичная полоса шириной 1–4 см.

B2 56–79 см. Палево-бурый, тяжелосуглинистый, мелко-ореховатый, влажный, обломки горной породы; переход постепенный.

BC 79–101 см. Палево-бурый, суглинистый, влажный, сильнокаменистый.

Почва — бурозем грубогумусовый глееватый.

Разрез 3-1989. (24.09.1991 г.). Бассейн р. Большая Пея. Папоротниково-зеленомошный пихтово-еловый лес. Напочвенный покров составляют зеленые мхи.

O1 0–5 см. Мох, хвоинки, веточки, рыхлый, корни, белый мицелий.

O2-3 5–9 см. Темнее предыдущего, рыхлый, желтый и белый мицелий; с глубины 6–9 см мицелий грязно-серого цвета, творожистый, в нем встречаются угли, мокрый, пронизан корнями.

A1 9–17 см. Черно-коричневый, среднесуглинистый, бесструктурный, слабоуплотнен, свежий, поры, угли, сферулы; переход постепенный.

AB 17–22 см. Коричнево-бурый, среднесуглинистый, порошистый, пористый, свежий, обломки породы, корни; переход постепенный.

B1 22–36 см. Грязно-желтый, комковатый, дресвянистый, уплотнен, свежий, корни, крупные обломки породы; переход постепенный.

B2 36–94 см. Грязно-бурый, сильнокаменистый, крупнокомковатый, плотный, обломки серого андезито-базальта разной величины; переход постепенный.

BC 94–100 см. Грязно-бурый, сильнокаменистый, комковатый, прерывистый на обломках пород.

Почва — бурозем грубогумусовый сильнокислый.

Разрез 5-1989. (23.09.1991 г.). Бассейн р. Большая Пея. Мелкотравно-зеленомошный пихтово-еловый лес. Напочвенный покров представлен зелеными мхами; единично осока, вейник. Рельеф, характерный для ельников, — повышения на месте трухлявого валежника и около оснований стволов. Дренаж ослаблен в весенне-летнее время из-за наличия сезонной мерзлоты. Образцы взяты после дождей.

O1 0–5 см. Неразложившийся очес зеленых мхов, хвоинки, веточки, шишки, рыхлый, влажный; переход ясный.

O2 5–9 см. Бурый, полуразложившийся, рыхлый, влажный, пронизан белым и желтым мицелием; переход ясный.

O3 9–13 см. Бурый, мажущийся, оторфован, более уплотнен, сильно пронизан гифами грибов, корни, много сферул, внизу угли.

AT 13–21 см. Буро-черный, легкий суглинок, оторфован, бесструктурный, слабокаменистый, мелкая дресва, мицелий, сферулы; переход ясный. Встречаются крупные обломки базальтов, сильновыветрелые с поверхности, покрытые глинистыми и глянцевыми буро-черными пленками.

AB 21–27 см. Коричнево-бурый, среднесуглинистый, пылевато-порошистый, слабоуплотнен, свежий, корни, угли, крупные и мелкие обломки породы, покрытые черно-бурыми пленками; переход постепенный.

B1 27–65 см. Палево-коричневый, тяжелосуглинистый, слоисто-мелкокомковатый, сильно-дресвянистый, плотный, крупные обломки породы, покрытые черно-бурыми пленками, корни единичны, затеки органики; переход ясный.

B2 65–90 см. Серо-коричневый, среднесуглинистый, комковатый, сильнокаменистый, влажный, корни единичны.

Почва — бурозем грубогумусовый.

Разрез 2-1992. (11.09. 1992 г.). Плато в междуречье рек Малая Светлая—Большая Пея. Зеленомошный пихтово-еловый лес. Рельеф ровный со слабым уклоном на север. Редкие повышения на месте старого валежа. Дренаж удовлетворительный.

O1 0—5 см. Мох, мелкие веточки, хвоя.

O2-3 5—8 см. Плохо разложившиеся остатки мхов, хвои, мелких веточек. Книзу разложимость более сильная и масса переплетена мелкими корнями и мицелием. Под подстилкой древесные угли.

AT 8—11(13) см. Темно-серый с бурым оттенком, легкосуглинистый, пороховидный, плотный, оторфован, густо переплетен корнями, слоем залегают древесные угли; переход постепенный.

AB 11(13)—21 см. Буровато-коричневый, среднесуглинистый, пороховидный, свежий, кремовый мицелий, угольки, затеки органики, корни; переход постепенный.

B1 21—55 см. Темно-палевый, тяжелосуглинистый, бесструктурный, корни, обломки пород, единично угольки, белый и желтый мицелий; переход постепенный.

B2 55—90 см. Коричневый с красным оттенком, среднесуглинистый, мелкокомковатый, плотный, свежий, по стенкам палевые карманы более тяжелого состава, редко корни, обломки пород, сильнокаменистый.

Почва — бурозем грубогумусовый.

Разрез 2-1988. (2.10.1990 г.). Бассейн р. Большая Пея. Мелкотравно-зеленомошный пихтово-еловый лес. Разрез сделан под усохшим в 1989 году древостоем. На почве преобладают зеленые мхи.

O1 0—11 см. Бурые, слаборазложившиеся остатки мхов, хвои, мелкие веточки, шишки, белый мицелий, сырой.

O2 11—12 см. Темно-бурые растительные остатки, полуразложившиеся, влажные, мелкие корни.

O2-3 12—14 см. Черный с бурым оттенком, слабоминерализованный, влажный, густо пронизан корнями, угли.

A1 14—19 см. Черный, легкосуглинистый, бесструктурный, рыхлый, влажный, корни, мелкие угольки; переход постепенный — карманами.

ABg 19—24 см. Неоднородной окраски, в целом темно-бурый, книзу светлее, имеются темно-серые и ярко-бурые карманы, суглинистый, свежий, по границе с A1 мелкие, иногда окатанные камни; переход неясный.

B1g 24—37 см. Буро-палевый, встречаются сизовато-белесые карманы, тяжелосуглинистый, бесструктурный, влажный, корни; переход постепенный.

B2g 37—50 см. Буро-желтый, глинистый, слабооструктуренный, свежий, корни, мелкие окатанные обломки горных пород; переход постепенный.

BC 50—88 см. Светло-желтый, глинистый, мелкокомковатый, свежий, обломки породы; в нижней части горизонта сильнокаменистый.

Почва — бурозем грубогумусовый глееватый.

Разрез 3-1994. (18.10.1994 г.). Бассейн р. Большая Пея. Высота над уровнем моря ~ 940 м. Усохший пихтово-еловый мелкотравно-зеленомошный лес. Под-рост из ели и пихты. В напочвенном покрове — линнея, вейник, мхи.

О дер. 0—8 см. Бурый, пронизан корнями вейника, немного хвои, слаборазложен, слабоуплотнен.

A1 8—16 см. Черно-коричневый, среднесуглинистый, порошисто-мелкокомковатый, слабоуплотнен, свежий, корни, корешки, сферулы, угли, обломки средневыветрелого базальта, покрытые буро-бордовыми пленками; переход карманами.

B1 16—35 см. Желтовато-бурый, среднесуглинистый, порошисто-слоистый, слабоуплотнен, затеки органики, иногда угли, крупные обломки породы зелено-серого цвета, покрытые сверху буро-коричневыми, а снизу — ржаво-желтыми пленками.

B2 35—70 см. Коричнево-бурый, тяжелосуглинистый, неясно-ореховатый, уплотнен, сырой, липкий, поры, корешки, обломки породы; переход к B3 ясный по структуре.

B3 70—100 см. Цвет, как у B2, глинистый, между обломками ореховато-комковатый, плотный, липкий, сырой, сильнорыхлые обломки породы с включениями белого, розового и черного цветов (цеолиты).

Почва — бурозем грубогумусовый.

Характерной особенностью рассматриваемых почв является присутствие в профиле обломков породы, покрытых черно-бурыми или буро-бордовыми пленками. В почве бассейна р. Большая Пея в верхних горизонтах эти пленки часто глянцевые и довольно прочные, с глубиной более рыхлые. Мы полагаем, что глянцевые пленки имеют в ряде случаев послепожарное происхождение, так как приурочены они к горизонтам A1 и AB и покрывают иногда только верхнюю часть породы.

В почвах под обследованными папоротниково-зеленомошными и мелкотравно-зеленомошными пихтово-еловыми лесами в бассейне р. Большая Уссурка подстилка имеет мощность до 10 см, нечетко подразделяется на подгоризонты; степень разложимости её средняя. Гумусо-аккумулятивный горизонт A1 выражен слабо, часто представлен переходным грубогумусовым бесструктурным горизонтом мощностью 2—3 см, ниже которого залегает бесцветный элювиальный горизонт EL или AEL (ПП 2-1989, 3-1989 ПРД — профилная диаграмма). Иллювиально-гумусово-железистый горизонт BHF кофейного цвета достигает 10 см (ПП 2-1989). Почва — подзолистая гумусо-иллювиальная. На этой же территории под мелкотравно-зеленомошным пихтово-еловым лесом встречается почва без явных признаков оподзоливания (ПП 1-1989), которая может быть отнесена к буроземам грубогумусовым.

Разрез 1-1989-3 заложен в Уссурийском заповеднике (9.09. 1991 г.). Долина р. Каменка. Широколиственно-еловый разнокустарниково-разнотравный лес. Рельеф волнисто-ямчатый. Напочвенный покров: щитовник Буша, вальдштейния, василистник, валериана, осока ржаво-пятнистая. В подлеске — лещина разнолистная, смородина печальная, элеутерококк колючий, клен бородчатый, чубушник тонколистный и другие виды.

O 0—0,5 см. Полуразложившаяся подстилка из хвоинок, листьев, веточек, рыхлая, свежая; переход ясный.

A1 0,5—15 см. Серо-черный с коричневым оттенком, книзу более серый, слабосуглинистый, слабоуплотнен, свежий, редко мелкие камешки, тонкий белый мицелий; переход ясный.

B1 15—35 см. Грязно-палевый, супесчаный, слабослоистый, более уплотнен, свежий, корни, камни, поры; переход по гранулометрическому составу.

B2 35—82 см. Грязно-палевый, супесчаный, бесструктурный, плотный, корни, поры, окатанные камни, изредка белый мицелий; переход ясный.

BC 82—100 см. Грязно-палевый (более темный), песчаный с хрящем и окатанными камешками, менее плотный, чем предшествующий, свежий, единично корни.

Почва — бурозем типичный.

Заканчивая морфологическую характеристику почв под пихтово-еловыми лесами, в разной степени затронутых усыханием, обратим внимание на следующее: 1) степень развития подстилки зависит от многих факторов, но в общем виде мощность её уменьшается с продвижением к югу; 2) в бассейнах рек Единка и Большая Пея под наиболее распространенными типами леса не выражен осветленный горизонт, который отмечен на многих участках под пихтово-еловыми лесами, расположенными южнее (Пшеничников, 1978; Пшеничникова, 1989а; Коломеец, 1987б; и др.); 3) многочисленные прикопки и почвенные разрезы под живыми и усыхающими древостоями показывают, что принципиальных морфологических отличий почв под древостоями разного состояния нет; в очагах усыхания различия проявляются прежде всего в мощности подстилки и в развитии дернового процесса за счет разрастания вейника, малины, осок и других видов; 4) почти во всех разрезах под подстилкой и в гумусо-аккумулятивном горизонте встречаются древесные угли, свидетельствующие о большой роли огня в динамике темнохвойных экосистем; 5) в корнеобитаемом слое почв в некоторых разрезах под усыхающими пихтово-еловыми древостоями встречается хорошо выраженный «грибной» горизонт мощностью до 10 см и более, биогеоценотическая роль которого в полной мере не ясна; 6) в бассейне р. Единка почвы, находящиеся в условиях повышенного увлажнения, выделяются наличием признаков оглеения и интенсивного выщелачивания (пятнистая окраска, переход к иллювиальным горизонтам неровными небольшими языками); 7) в бассейне р. Большая Пея почвы в условиях нормального увлажнения имеют более однородную окраску и менее дифференцированный профиль (за исключением разреза ПП-2-1988, имеющего более тяжелый гранулометрический состав иллювиальных горизонтов и признаки сезонного переувлажнения); 8) для почв широколиственно-еловых лесов на аллювиальных отложениях (Уссурийский заповедник) характерен легкий гранулометрический состав, слабое накопление подстилки, почвенный профиль без признаков оглеения или оподзоливания.

7.4. Химический состав подстилок

Под пихтово-еловыми лесами наблюдается формирование сходных как по морфологии, так и по химическому составу подстилок, с преобладанием беззольного вещества (потеря при прокаливании — 70–94%). Ряды накопления зольных элементов и азота в подстилке, построенные на основе усредненных данных их запасов и состава (табл. 8,16), имеют следующий вид:

Бассейны рек:

Единка $Si > N > Al > Ca > Fe > P > Ti > K > Na > Mg > Mn$.

Малая Светлая—Большая Пея $Si > N > Al > Fe > Ca > K > Ti > P > Na > Mg > Mn$.

В молодом ельнике (ППП 2-1992) этот ряд имеет несколько иной вид: $Si > Al > N > Fe = Ca > K > Na > P > Ti > Mg > Mn$.

Запасы химических элементов в подстилках, кг·га⁻¹

N	Fe	Al	Ca	Mg	Ti	K	Na	Mn	P	Si
Бассейн р. Единка, ППП 1-1990										
1177	457	1139	1052	136	292	259	122	66	701	4432
Бассейн р. Единка, ППП 3-1990										
651	178	290	230	72	88	74	31	64	295	1039
Бассейн р. Единка, ППП 1-1992										
1456	512	1324	269	135	311	342	249	46	151	3835
Бассейн р. Большая Пея, ППП 3-1989										
664	252	599	129	66	183	183	89	34	158	832
Бассейн р. Большая Пея, ППП 5-1989										
1047	417	826	317	92	221	197	85	59	н.а.	3012
Бассейн р. Большая Пея, ППП 2-1992										
490	235	460	235	67	82	202	144	35	125	1306

В составе подстилок пихтово-еловых лесов доминируют азот и основные породообразующие элементы: кремний, алюминий и железо. Энергично идет и аккумуляция биогенных элементов: марганца, кальция, магния, фосфора, калия, натрия и титана. Накопление титана Г.И. Иванов (1976) считает характерным для пихтово-еловых лесов.

Верхний подгоризонт О1 обогащен элементами-биофилами, а нижние подгоризонты О2 и О3 — кремнием, алюминием и титаном вследствие интенсивного выщелачивания и перемешивания с почвой. Аккумуляция зольных элементов и азота в подстилке возрастает в зависимости от степени дренированности.

С продвижением к северу в ландшафтах затрудненного водообмена консервация Si, N, Al, Ca, P и Fe увеличивается в 2–4 раза (табл. 8).

Обладая большим запасом зольных элементов и азота, подстилка в усыхающих пихтово-еловых лесах является резервом питательных элементов и углерода, интенсивность расходования которых возрастает в связи с усыханием древостоев и улучшением гидротермических условий для разложения растительных остатков, а также с интенсивным ростом оставшейся живой части древостоя.

7.5. Реакция почвы и поглощающий комплекс

Исследуемые почвы, сформированные на элювии базальтов и андезитобазальтов, согласно выделенным Г.И. Ивановым (1984) уровням кислотно-щелочных условий, имеют реакцию среды от крайне кислой ($pH < 3,5$) до кислой и слабокислой (табл. 9).

Физико-химические показатели почв

Горизонт, глубина, см	pH	Обменные катионы, мг-экв. на 100 г почвы						Подвиж- ные (по Кирсанову)		Гумус, %	C, %	N, %	C/N	
		(H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺	P ₂ O ₅					K ₂ O
Бассейн р. Единка, ППП 3-1990, бурозем грубогумусовый лессивированный														
A1 ^I	11-17	3,38	2,97	1,13	0,21	0,55	19,77	24,24	0,95	14,00	16,86	9,78	0,56	17,5
A1	17-24	2,35	0,50	0,53	0,25	0,53	21,75	20,30	0,87	8,00	14,22	8,25	0,50	16,5
B1	24-52	2,86	0,31	0,64	0,18	0,43	10,22	6,87	0,85	9,00	1,29	0,75	0,08	9,4
B2	52-90	5,02	25,95	3,80	0,20	0,81	4,31	0,10	0,88	29,50	0,29	0,41	0,06	6,8
Бассейн р. Единка, ППП 1-1992, бурозем грубогумусовый глееватый														
AT	15-23	4,10	7,48	2,10	0,57	0,90	н.а.	н.а.	10,60	33,00	н.а.	н.а.	1,40	н.а.
A1	23-37	3,90	2,81	2,06	0,14	0,45	18,44	н.а.	2,20	14,50	30,65	17,78	0,87	20,4
ABg	37-48	4,20	0,45	0,56	0,24	0,47	11,40	н.а.	1,35	12,00	3,01	1,75	0,18	9,7
B1g	48-56	4,99	2,14	0,95	0,16	0,35	13,79	н.а.	0,85	13,30	0,96	0,56	0,08	7,0
B2	56-79	5,31	36,35	15,09	0,23	0,38	5,18	н.а.	0,24	15,40	0,36	0,21	0,04	5,2
BC	79-101	5,74	37,42	8,37	0,21	0,48	0,78	н.а.	5,65	26,00	0,14	0,08	0,03	2,7
Бассейн р. Большая Пейя, ППП 3-1989, бурозем грубогумусовый														
A1	9-17	3,69	1,77	0,70	0,21	1,49	18,38	н.а.	1,60	12,50	13,60	7,89	0,53	14,9
AB	17-22	4,70	0,29	0,21	0,15	0,42	7,87	н.а.	6,15	10,00	5,69	3,30	0,24	13,8
B1	22-36	3,33	1,43	0,49	0,10	0,73	7,66	н.а.	0,25	11,00	1,97	1,07	0,12	8,9
B2	36-94	5,49	8,98	2,67	0,39	0,57	3,18	н.а.	7,70	17,20	0,86	0,50	0,06	8,3
BC	94-100	5,92	26,40	3,35	1,12	0,53	0,13	н.а.	29,68	19,40	0,45	0,26	0,04	6,5
Бассейн р. Большая Пейя, ППП 5-1989, бурозем грубогумусовый														
AT	13-21	2,98	0,19	0,64	0,60	0,48	16,96	12,57	2,60	22,00	14,91	8,65	0,62	14,0
AB	21-27	3,19	0,15	0,21	0,21	0,81	8,05	8,71	3,50	19,30	6,00	3,48	0,27	12,9
B1	27-65	5,29	1,57	0,82	0,23	0,62	4,08	1,34	4,65	16,30	0,96	0,56	0,06	9,3
B2	65-90	5,48	7,16	2,51	0,83	0,82	2,15	0	15,50	32,15	0,45	0,26	0,06	4,3
Бассейн р. Большая Пейя, ППП 2-1992, бурозем грубогумусовый														
AT	8-11(13)	4,40	7,86	1,27	0,65	1,14	н.а.	н.а.	56,00	139,00	н.а.	н.а.	0,67	н.а.
AB	11(13)-21	4,82	0,12	1,07	0,25	0,45	10,98	н.а.	2,30	25,80	5,60	3,25	0,27	12,0
B1	21-55	4,77	2,17	0,84	0,21	0,42	6,26	н.а.	2,34	28,00	1,71	0,99	0,14	7,1
B2	55-90	5,06	1,67	0,84	0,40	0,81	11,00	н.а.	1,90	33,00	1,12	0,65	0,10	6,5
Бассейн р. Большая Пейя, ПП 2-1988, бурозем грубогумусовый глееватый														
A1	14-19(24)	3,95	0,83	0,68	0,18	2,59	20,78	21,17	16,67	16,30	20,17	11,70	н.а.	н.а.
B1g	19(24)-37	4,87	12,99	0,49	0,29	0,69	4,98	2,88	42,64	10,70	5,48	3,18	н.а.	н.а.
B2g	37-50	5,32	0,83	0,82	0,14	0,60	4,14	1,44	13,20	23,25	2,64	1,53	н.а.	н.а.
BC	50-88	5,37	1,60	1,44	0,22	0,61	4,23	1,98	11,11	3,75	1,45	0,84	н.а.	н.а.
Уссурийский заповедник, ППП 1-1989-3, бурозем типичный														
A1	0,5-15	4,86	48,65	3,80	0,32	0,53	0	н.а.	1,80	19,50	9,06	5,25	0,43	12,3
B1	15-35	5,30	10,13	4,17	0,13	0,32	0,33	н.а.	1,00	16,50	0,98	0,57	0,10	5,7
B2	35-82	4,28	12,48	2,67	0,19	0,35	0,26	н.а.	0,60	14,50	0,28	0,16	0,04	4,0
BC	82-100	5,66	47,40	2,92	0,18	0,51	0,26	н.а.	1,00	18,00	0,41	0,24	0,06	4,0

Горизонт, глубина, см	pH	Обменные катионы, мг-экв. на 100 г почвы						Подвиж- ные (по Кирсанову)		Гумус, %	C, %	N, %	C/N	
		(H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺	P ₂ O ₅					K ₂ O
Бассейн р. Большая Уссурка, ПП 1-1989, бурозем грубогумусовый иллювиально-гумусовый														
AT	10-13	3,32	26,38	2,17	1,23	1,38	9,85	5,74	6,67	20,00	31,01	17,99	н.а.	н.а.
B1	13-33	3,50	2,50	0,62	0,70	0,93	17,77	13,46	2,08	7,80	11,29	6,55	н.а.	н.а.
B2	33-50	3,58	2,22	0,42	0,82	0,89	13,18	5,25	1,74	10,20	6,98	4,05	н.а.	н.а.
Бассейн р. Большая Уссурка, ПП 2-1989, подзолистая иллювиально-гумусовая														
QA1	10-13	3,03	7,75	1,47	1,39	1,42	11,10	12,92	6,67	20,00	31,01	17,99	н.а.	н.а.
EL	13-18	3,22	4,83	0,65	1,19	1,35	10,62	3,27	2,08	7,80	11,29	6,55	н.а.	н.а.
BHF	18-23	3,51	3,75	0,61	0,90	1,09	23,57	20,20	1,74	10,20	6,98	4,05	н.а.	н.а.
B2	23-32	3,87	3,74	0,44	0,72	1,10	20,10	3,96						
Бассейн р. Большая Уссурка, ПП 3-1989ПРД, бурозем грубогумусовый оподзоленный														
AEL	3-9	3,16	7,50	0,79	1,30	1,42	14,19	6,14	5,92	10,62	10,22	5,93	н.а.	н.а.
B1	9-11	3,25	1,12	0,32	1,06	0,97	19,03	7,82	5,10	5,82	4,31	2,50	н.а.	н.а.
B2	11-30	3,65	2,22	0,41	0,76	0,90	5,77	0	3,59	4,62	1,21	0,74	н.а.	н.а.

Внутрипрофильное варьирование pH четко выражено: наиболее низкие значения отмечены в горизонте A1; с глубиной уровень pH резко повышается. Более низкий уровень кислотности нижней части профиля определяют как привносимые сверху катионы, так и продукты разложения первичных минералов (Перельман, 1989). Высокая кислотность верхних горизонтов обусловлена значительным поступлением свободных органических кислот, в максимальных количествах продуцируемых подстилками ельников в процессе разложения (Сапожников, 1967а; Иванов, Хавкина, 1968; и др.), и тем, что в верхних горизонтах снижено потребление образующихся ионов водорода из-за сильной выветрелости почвенной массы.

Уровень кислотности в почвах бассейна р. Большая Уссурка (табл. 9) меняется от крайне кислого до сильнокислого: с глубиной pH повышается незначительно. Почва под широколиственно-еловыми лесами Уссурийского заповедника является менее кислой: её pH варьирует от 4,28 до 5,66.

Поглощающий комплекс почв усыхающих пихтово-еловых лесов насыщен преимущественно ионами алюминия и водорода (табл. 9). Избыток этих ионов в кислых почвах быстро поглощается растениями и может служить причиной их химического стресса. Корнеобитаемые горизонты обеднены ионами кальция и магния, основная масса которых выщелочена и находится вне корневой зоны. Заметный дефицит Ca и Mg отмечен в наиболее распространенных типах леса (ППП 3-1990, 3-1989, 5-1989, ПП 2-1989; табл. 9). В почвенных горизонтах под пихтово-еловыми лесами бассейна р. Большая Уссурка снижено содержание Ca и Mg, но не столь значительно. В почве широколиственно-елового леса в поглощающем комплексе преобладают ионы кальция и магния, алюминия очень мало. Почти для всех корнеобитае-

мых горизонтов характерно неблагоприятное для роста хвойных соотношение Са/Mg, варьирующее от 0,1 до 14,4, хотя оптимальным Са/Mg считается в диапазоне от 1,5 до 2,5 (Зеликов, Мальцев, 1986).

Поглощенные К и Na распределены по профилю неравномерно: наблюдается их снижение в средней и повышение в нижней частях профиля. Обеспеченность почв пихтово-еловых лесов подвижным калием (по Кирсанову) средняя или повышенная. В послепожарном молодом пихтово-еловом лесу (ППП 2-1992) отмечено наибольшее накопление калия.

Содержание подвижного фосфора в корнеобитаемых горизонтах крайне низкое или низкое, особенно на ППП 3-1990, 1-1989-3, 1-1992, 3-1989. Наибольшие запасы подвижного фосфора отмечены в нижних почвенных горизонтах и в профиле наиболее усохшего пихтово-елового леса (ПП 2-1988). Накопление фосфора в почвах усохших древостоев наблюдала и Н.Ф. Пшеничникова (1989а).

7.6. Гранулометрический состав

Гранулометрический состав почв на элювии базальтов и андезитобазальтов варьирует от легко- и среднесуглинистого в верхних горизонтах до тяжелосуглинистого и легкоголинистого в нижних (табл. 10). Распределение физической глины элюво-иллювиальное; содержание илистой фракции увеличивается вниз по профилю и достигает максимума в горизонтах В1 или В2. Высокое содержание илистой фракции считается характерным для почв на основных породах (Ершов, 1984). Каменистость чаще всего повышается с глубиной. По профилю преобладают фракции мелкого песка и ила. В почвенном профиле усохшего пихтово-елового леса (ПП 2-1988) отмечено наиболее высокое содержание ила и мелкой пыли, что может быть причиной ухудшения водопроницаемости и аэрации, так как частицы пыли могут закупоривать крупные поры (Дюшофур, 1970; Зонн, 1986).

Увеличение ила в горизонте В буроземов может указывать на процесс лессиважа, приводящий к текстурной дифференциации профиля (Карпачевский, Ильина, 1987); а также на образование *in situ* глинистых минералов или на обеднение нижней части горизонта А под действием сезонного пересувлажнения (Нечаева, 1967). Оглинивание средней части профиля независимо от генетической принадлежности характерно для почв Сихотэ-Алиня (Гавренков, 1980). Почвы усыхающих пихтово-еловых лесов на элювии базальтов и андезитобазальтов отличаются от подобных, описанных Г.И. Ивановым (1976), большим содержанием илистой фракции и мелкого песка.

7.7. Запасы минеральных элементов, гумуса и азота

Почвы под усыхающими пихтово-еловыми лесами относятся к высокогумусированным; распределение гумуса по профилю резко и постепенно убывающее (бассейны рек Большая Пейя, Малая Светлая, Единка, Уссурий-

Гранулометрический состав почв

Горизонт, глубина, см	Размер фракций, мм							
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	< 0,01	> 0,01
Бассейн р. Единка, ППП 3-1990								
A1 ^I 11-17	2	43	15	13	5	22	40	60
A1 ^{II} 17-24	3	43	16	15	5	18	38	62
B1 24-52	2	30	21	12	6	29	47	53
B2 52-90	3	40	4	14	4	35	53	47
Бассейн р. Большая Пейя, ППП 5-1989								
AT 13-21	2	54	15	4	7	18	29	71
AB 21-27	3	49	15	6	2	25	33	67
B1 27-65	8	16	31	8	4	33	45	55
B2 65-90	3	53	6	2	6	30	38	62
Бассейн р. Большая Пейя, ПП 2-1988								
A1 14-19(24)	1	35	24	11	3	26	40	60
B1g 19(24)-37	2	29	19	12	13	25	50	50
B2g 37-50	1	23	25	7	9	35	51	49
BC 50-88	1	23	16	7	16	37	60	40
Бассейн р. Большая Пейя, ППП 2-1992								
AB 11(13)-21	4	19	35	12	5	25	42	58
B1 21-55	2	35	13	13	9	28	50	50
B2 55-90	3	35	14	17	4	27	48	52

ский заповедник) или иллювиальное и постепенно убывающее (бассейн р. Большая Уссурка) (табл. 9). Наибольшее содержание азота, как и гумуса, приурочено к поверхностному горизонту; вниз по профилю оно довольно резко падает. Обогащенность гумуса азотом в корнеобитаемых горизонтах низкая или очень низкая (табл. 9,12).

Запасы элементов минерального питания были определены в почвах бассейнов рек Единка и Большая Пейя и отличаются на различных участках (табл. 11). Различия по запасам К₂O обусловлены временем прохождения последнего пожара. Так, почва молодого 50-60-летнего послепожарного пихтово-елового леса (ППП 2-1992) по запасам К₂O превосходит другие исследованные почвы. Минимальная величина К₂O характерна для почвы наиболее старого пихтово-елового леса с подлеском из рододендрона золотистого (ППП 1-1992), который не подвергался влиянию пожаров не менее 500 лет. По сравнению с данными Н.Ф. Пшеничниковой (1989а), полученными в усыхающих лесах бассейна р. Большая Уссурка, исследованная нами почва на элювии базальтов и андезитобазальтов имеет запас подвижных соединений калия на порядок выше. Почва бассейна Единка в большей степени обеднена подвижными соединениями фосфора, тогда как почвы бассейна р. Большая Уссурка ими более обогащены.

Запасы основных элементов минерального питания и гумуса в почве

Горизонт, глубина, см		Гумус, т·га ⁻¹	Азот, т·га ⁻¹	Фосфор, кг·га ⁻¹	Калий, кг·га ⁻¹
Бассейн р. Едника, ППП 3-1990					
A1 ¹	11-17	46,3	1,5	1,1	30,5
A1 ¹¹	17-24	72,5	2,4	1,9	32,5
B1	24-52	26,8	1,7	7,7	154,8
B2	52-90	27,5	2,2	14,4	911,8
Бассейн р. Едника, ППП 1-1992					
AT	15-23	33,6	2,8	9,3	43,8
A1	23-37	186,4	5,3	5,9	73,8
ABg	37-48	23,0	1,5	4,8	81,1
B1g	48-56	7,1	0,6	2,9	86,5
B2	56-79	7,7	0,9	2,4	294,0
BC	79-101	3,2	0,7	55,1	479,5
Бассейн р. Большая Пя, ППП 3-1989					
A1	9-17	40,9	1,6	2,2	31,8
AB	17-22	20,5	0,8	9,4	29,1
B1	22-36	20,5	1,2	1,1	94,6
B2	36-94	51,2	3,4	162,1	811,4
BC	94-100	3,4	0,2	79,0	97,6
Бассейн р. Большая Пя, ППП 5-1989					
AT	13-21	54,6	2,2	4,0	64,0
AB	21-27	26,3	1,1	6,4	67,3
B1	27-65	38,3	1,7	57,4	380,4
B2	65-90	28,3	1,5	166,7	653,8
Бассейн р. Большая Пя, ППП 2-1992					
AT	8-11(13)	21,0	1,1	24,6	115,4
AB	11(13)-21	31,8	3,8	5,6	119,9
B1	21-55	38,0	3,5	25,8	584,7
B2	55-90	37,0	3,5	28,6	939,4

Основное количество P_2O_5 и K_2O сосредоточено в недоступных для корневой зоны нижних горизонтах. Содержание азота в верхних горизонтах почвы значительно колеблется (табл. 11), больше всего его накапливается в почве пихтovo-елового леса с рододендровым золотистым (ППП 1-1992) и молодого пихтovo-елового леса (ППП 2-1992).

7.8. Состав органического вещества

Почвы пихтovo-еловых лесов и древостоев с преобладанием темновой-ных пород имеют тенденцию к значительному накоплению органического-

вещества (Сапожников, 1967a, б; Пшеничников, 1981; Пшеничникова, 1989б; Колмогоров, 1987a, и др.). Региональную специфику формирования гумуса обуславливают периоды сезонного промерзания почвы, активного снеготаяния и муссонных дождей (Сапожников, 1976). Подкисление почвенных горизонтов может сопровождаться увеличением почвенного органического вещества (Binkley, Höbberg, 1997).

Высокую и глыбокую гумусированность таежных почв Ю.А. Ливеровский и Л.П. Рубцова (1966) связывают с гумусово-иллювиальным процессом, подразаумевая под ним вымывание гумуса в почвенную толщу, но без обязательного максимального накопления его в определенном горизонте. С.В. Зонн и А.П. Травлев (1989) имеют другую точку зрения: иллювирующие гумуса в бурых лесных, а также во многих подзолистых почвах анализа ми не подтверждено; красно-бурья окраска подбуров и таежных почв, веро-ятно, связана с исходными свойствами кор выветривания или с биохимией гумуса. Интенсивная миграция органического вещества в бурых лесных почвах Сихотэ-Алиня также не была отмечена Л.С. Ильиной и Л.О. Карпачев-ским (1988); высокое содержание гумуса в горизонте АВ они предположи-тельно обосновывают эволюцией данных почв. Не подтвердили иллю-винования органического вещества в почвах буроземного ряда А.Ф. Кос-тенкова (1979) и Г.А. Селиванова с соавторами (1979). Н.И. Сурин с коллегам (1985) полагают, что диагностика аккумуляции и иллювино-вания гумуса не может быть жестко связана с его общим содержанием. Горизонты иллювинования гумуса они предлагают выявлять с помощью фракционного состава. По-видимому, иллювинование гумуса в качестве диагностического признака необходимо использовать с крайней осто-рожностью, так как, по мнению Г.И. Гавренкова с соавторами (1979), в распределении органических соединений в бурых и иллювиально-гумусовых почвах больше сходства, чем различий.

Иллювинование гумуса, отмечаемое рядом авторов для темноволновых лесов региона (Хавкина, 1968; Ливеровский, 1974; Иванов, 1976; Пшенични-ков, 1975, 1976; Пшеничникова, 1989a; Бугоев, Талкова, 1989; и др.), для рассматриваемых нами почв не характерно; лишь в одном из разрезов (р. Большая Уссурия, разрез 2-1989, табл. 9) это подтверждено анализом. Почвы бассейна р. Большая Уссурия высокогумусированы; тип распределе-ния гумусовых веществ аккумулятивный, с резким максимумом в горизонтах О и А1 и уменьшением с глубиной. Содержание гумуса в гумусо-аккумуля-тивных горизонтах почв бассейнов рек Едника, Большая Пя, Малая Светлая очень высокое, а Уссурийского заповедника — высокое (табл. 9). Распределение по профилю гумусовых соединений постепенно или резко убывающее (табл. 12). Заметное содержание органического углерода в гори-зонтах АВ, а иногда и В, по-видимому, может быть обусловлено вымыванием углстых частиц, содержащихся во множестве подстилки и в горизон-тах АТ и А1. Так, довольно крупные частицы древесных углей были обнару-жены нами при выполнении granulометрического анализа в ходе операции, связанной с отделением фракции 1-0,25 мм в горизонтах В1, В2 и ВС.

Таблица 12

Некоторые показатели гумусного состояния почв (по схеме: Гришина, Орлов, 1978)

№ пробной площади	Содержание гумуса	Профильное распределение гумуса	Обогащенность азотом, C/N	Степень гумификации ОВ	Тип гумуса Сгк:Сфк	Содержание «свободных» ГК	Содержание прочно-связанных ГК	Содержание ГК, связанных с Са	Содержание негидролизующего остатка
3-1990	Очень высокое	Резко убывающее	Очень низкая	Слабая	Фульватный	Очень высокое	Высокое	Почти отсутствуют	Низкое
1-1992	-« -«	-« -«	Низкая	Средняя	Гуматно-фульватный	-« -«	-«	То же	-«
3-1989	-« -«	Постепенно убывающее	Очень низкая	Слабая	Фульватный	-« -«	-«	Отсутствуют	Среднее
5-1989	-« -«	То же	-« -«	-«	-«	-« -«	Среднее	-«	Низкое
2-1992	-« -«	-« -«	Низкая	-«	-«	Высокое	Высокое	Почти отсутствуют	-«
2-1988	-« -«	Резко убывающее	-«	-«	-«	Очень высокое	-«	То же	Среднее
1-1989-3	Высокое	-« -«	-«	Средняя	Гуматно-фульватный	Среднее	Низкое	Очень низкое	Низкое

Г.И. Иванов (1967а) предположил, что небольшое увеличение гумуса в нижних горизонтах профиля может быть связано с вымыванием в эти горизонты иловатых органо-минеральных частиц из поверхностных гумусированных горизонтов. Миграция продуктов гумификации, осуществляемая в лесных почвах в основном под действием абиотических факторов и имеющая место преимущественно в составе почвенных растворов и суспензий, происходит чаще всего по локализованным каналам — трещинам, ходам корней и т.п. (Фокин, 1986; Черкинский, 1992). Значительно активизируют миграционные процессы ветровалы (Васенев, Таргульян, 1995).

Запас гумуса (табл. 11) в метровом слое не коррелирует с его очень высоким содержанием в горизонте А1, а отсюда оценивается он чаще всего как средний (Гришина, Орлов, 1978). Наиболее широкие отношения C/N (табл. 9, 12) характерны для почв пихтово-еловых лесов бассейна р. Единка, что указывает на самую низкую скорость минерализации органического вещества. Отношения C/N в почве молодого зеленомошного пихтово-елового леса (ППП 2-1992) и широколиственно-елового леса заповедника (ППП 1-1989-3) очень близки. По градации Л.А. Гришиной и Д.С. Орлова (1978), обогащенность органогенных горизонтов азотом низкая или очень низкая, а минеральных — средняя (табл. 12). Гумификация ГК слабая, за исключением

почвы заповедника и почвы ельника с рододендронам золотистым (ППП 1-1992), где отмечена средняя степень гумификации.

В групповом составе гумуса (табл. 13) преобладают фульвокислоты по всей глубине почвенного профиля, а особенно в средней его части. Групповой состав относится к признакам, непосредственно и функционально связанным с биологическими процессами (Орлов и др., 1979); под темнохвойными лесами в разных типах почв он имеет больше общего, чем отличий (Иванов, 1967а, 1976; Хавкина, 1968, 1977; Пшеничников, 1981; Пшеничникова, 1989а; Бутовец, Гладкова, 1989; и др.).

Таблица 13

Групповой и фракционный состав гумуса почв (% от общего углерода почвы)

Горизонт, глубина, см	Сгк				Сфк					Сгк+Сфк	Сгк/Сфк	Негидро- лизующий остаток	
	1	2	3	Сум- ма	1а	1	2	3	Сум ма				
Бассейн р. Единка, ППП 3-1990, бурозем грубогумусовый лессивированный													
A1 ^I	11-17	14,5	0	4,8	19,3	16,2	20,4	7,0	6,4	50,0	69,3	0,39	30,7
A1 ^{II}	17-24	14,5	0	2,7	17,2	36,4	15,9	6,6	4,2	63,1	80,3	0,28	19,7
B1	24-52	2,6	0	1,3	3,9	53,3	2,7	10,7	9,3	76,0	79,9	0,05	20,1
B2	52-90	2,4	2,5	4,9	9,8	39,0	7,4	7,2	9,7	63,3	73,1	0,15	26,9
Бассейн р. Единка, ППП 1-1992, бурозем грубогумусовый глееватый													
A1	23-37	18,3	0	3,3	21,6	5,7	20,7	1,1	9,6	37,1	58,7	0,58	41,3
AB	37-48	8,0	0	5,1	13,1	42,2	1,6	0	5,1	48,9	62,0	0,27	38,0
B1	48-56	3,6	0	1,8	5,4	53,6	16,1	0	7,1	76,8	82,2	0,07	17,8
B2	56-79	0	0	0	0	52,0	0	25,0	15,0	92,0	92,0	0	8,0
Бассейн р. Большая Пяя, ППП 3-1989, бурозем грубогумусовый													
A1	9-17	14,9	0	0,8	15,7	23,3	17,9	5,6	6,8	53,6	69,3	0,29	30,7
AB	17-22	10,3	0	2,0	12,3	36,7	4,2	8,2	6,1	55,2	67,5	0,22	32,5
B1	22-36	5,4	0	5,4	10,8	42,5	0	14,6	11,7	68,8	79,6	0,16	20,4
B2	36-94	2,0	0	0	2,0	38,0	2,0	16,0	18,0	74,0	76,0	0,02	24,0
Бассейн р. Большая Пяя, ППП 2-1992, бурозем грубогумусовый													
AB	13-21	9,5	0	5,8	15,3	23,1	15,3	0	8,0	46,4	61,7	0,33	38,3
B1	21-55	4,0	5,0	4,0	13,0	41,0	8,0	4,0	9,0	62,0	75,0	0,21	25,0
B2	55-90	3,1	0	3,1	6,2	43,1	18,5	0	10,8	72,4	78,6	0,09	21,4
Бассейн р. Большая Пяя, ПП 2-1988, бурозем грубогумусовый глееватый													
A1	14(19)-24	14,1	0	3,1	17,2	12,1	13,9	3,0	7,2	36,2	53,4	0,48	46,6
B1g	19(24)-37	4,4	0	2,2	6,6	39,6	0	8,2	10,7	58,5	65,1	0,11	34,9
B2 g	37-50	1,0	0	1,3	2,3	15,0	2,6	4,9	7,5	30,0	32,3	0,08	67,7
BC	50-88	0	9,5	1,8	11,3	21,4	0	6,0	16,1	43,5	54,8	0,26	45,2
Уссурийский заповедник, ППП 1-1989-3, бурозем типичный													
A1	0,5-15	12,7	2,1	9,3	24,1	5,0	11,7	7,7	10,0	34,4	58,5	0,70	41,5
B1	15-35	9,7	3,2	3,2	16,1	17,7	9,6	8,0	20,9	56,2	72,3	0,29	27,7
B2	35-82	8,0	8,0	0	16,0	30,0	0	15,0	15,0	60,0	76,0	0,27	24,0
BC	82-100	3,2	15,8	3,2	22,2	24,0	0	3,2	30,0	57,2	79,4	0,39	20,6

Гуминовые кислоты представлены в основном фракцией ГК-1, относительное содержание которой в горизонте А1 усыхающих пихтово-еловых лесов меняется незначительно. С глубиной величина фракции ГК-1 падает. Фракция ГК-2 почти отсутствует. Наличие фракции ГК-2 Н.В. Хавкина (1977) считает типичным для бурой почвы. Однако В.В. Пономарева и Т.А. Плотникова (1980) ставят под сомнение правильность отнесения проанализированной ими почвы Уссурийского (Супутинского) заповедника к бурой лесной из-за высокого содержания фракции ГК-2. Ю.А. Ливеровский и Л.П. Рубцова (1966) оспаривают это утверждение и считают, что состав гумуса не является строгим типологическим признаком.

Из фульвокислот преобладает фракция ФК-1а (до 53,3%), называемая часто «агрессивной», хотя агрессивность ее предположительна (Зонн, 1986) и она часто снижается глинами и полуторными оксидами (Дюшофур, 1970). Содержание и распределение в почвенных разрезах фракции ФК-3, прочно связанной с поверхностью минеральных частиц (Александрова, 1980), довольно стабильно. В поведении фракций ФК-1 и ФК-2 нет четких закономерностей; по-видимому, этим объясняется у одних авторов превалирование фракции ФК-1 (Хавкина, 1968; Пшеничников, 1981; Пшеничникова, 1989а; Махинова, 1989; и др.), а у других ФК-2 (Коломеец, 1987б; Почвообразование..., 1993; и др.) в почвах буроземного ряда.

В целом гумусовые соединения в почвах под разными типами пихтово-еловых лесов, находящихся на различных стадиях усыхания, имеют больше общего, чем отличий. Во многих случаях гумусированность является функцией древостоя, поскольку накопление гумуса и формирование гумусовых соединений связано с жизнедеятельностью современного биогеоценоза (Зонн, Карпачевский, 1987).

7.9. Состав 0,5 н H₂SO₄ вытяжки

По схеме, предложенной В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (1980), в 0,5 н H₂SO₄ вытяжке методом атомной абсорбции были определены: Fe, Al, Mn и Ti (табл. 14). Фульвокислоты (фракция ФК-1а) образуют соединения в основном с железом, алюминием и марганцем. В почве бассейнов рек Малая Светлая и Большая Пейя (ПП 2-1988, ППП 3-1989) содержание железа, связанного с ФК, достигает 41,9%, а алюминия — 22,1% (от валового углерода). Максимум накопления фульватных соединений железа приурочен к горизонту А1, а алюминия к горизонтам АВ и В1. Комплексные соединения ФК с R₂O₃ могут в зависимости от условий (рН, разбавленность раствора и др.) находиться в почвенном растворе или выпадать в осадок. В большей степени растворимость фульватных комплексов зависит от степени насыщения металлом (Пономарева, 1964; Пономарева, Плотникова, 1980; Александрова, 1980; и др.). Например, М. Шнитцер и Г. Керндорф (Schnitzer, Kerndorff, 1981) считают, что нерастворимые комплексы предпочтительно

Содержание химических элементов в 0,5 н H₂SO₄ вытяжке

Горизонт, глубина, см		Fe	Al	Mn	Ti	Fe	Al	Mn	Ti
		%		мг·кг ⁻¹		% от валового содержания			
Бассейн р. Большая Пейя, ППП 3-1989, бурозем грубогумусовый									
A1	9-17	2,12	1,00	581	1312	33,0	11,8	100	6,0
AB	17-22	1,75	1,65	1185	385	22,9	18,4	100	1,7
B1	22-36	0,98	1,02	862	192	11,8	8,2	88,3	0,7
B2	36-94	1,12	0,80	1058	438	13,5	9,0	96,3	1,7
BC	94-100	0,92	0,55	825	525	9,5	5,1	72,9	1,8
Бассейн р. Большая Пейя, ПП 2-1988, бурозем грубогумусовый глееватый									
A1	14-19(24)	1,43	0,92	195	144	41,9	13,6	59,5	0,8
B1g	19(24)-37	2,21	2,37	132	240	25,7	22,1	17,8	1,4
B2g	37-50	1,73	1,23	205	100	23,3	10,8	38,1	0,5
BC	50-88	1,67	0,94	158	192	17,5	8,2	26,1	0,9
Уссурийский заповедник, ППП 1-1989-3, бурозем типичный									
A1	0,5-15	0,62	0,25	1109	192	14,1	3,8	100	1,6
B1	15-35	0,57	0,22	862	385	13,6	3,1	90,6	3,0
B2	35-82	0,55	0,22	562	529	12,8	3,1	84,1	4,3
BC	82-100	0,57	0,20	562	144	11,1	2,6	803	1,3

образуются тогда, когда отношение ФК/металл < 2. Наши данные (табл. 15) говорят о том, что фульватные комплексы, по-видимому, малоподвижны. Отношение ФК/металл в почве Уссурийского заповедника и бассейна Малая Светлая—Большая Пейя < 2, а с глубиной прочность их закрепления значительно увеличивается. В гумусо-иллювиальной подзолистой почве р-ва Большой Шантар (Еловые леса..., 1984) в подзолистом горизонте наблюдается совершенно иное отношение (ФК/металл > 5), указывающее на наличие в этих почвах подвижных соединений. Это подтверждает выводы Н.В. Хавкиной (1972) о «нейтрализации» в буроземах Приморья ФК полуторными оксидами. Фульвокислоты фракции 1а преимущественно образуют комплексные соединения с железом, а не с алюминием, хотя имеющиеся данные ряда авторов по этому вопросу весьма противоречивы: И. А. Соколов (1973), В.В. Пономарева и Т.А. Плотникова (1980) и другие считают, что ФК связывают больше алюминия, тогда как Пономарева, Николаева (1964), Зонн (1986) и другие — железа.

В комплексные связи с ФК вступают очень многие микроэлементы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Степанова, 1976). Очень активно ФК соединяются с марганцем. Так, в горизонтах А1 и АВ растворимость Mn достигает 100% (табл. 14), что согласуется с выводами Чешира с соавторами (Cheshire et al., 1977). Увеличение содержания подвижных соединений Mn по мере роста гумусированности в буроземах подчеркивалось и ранее (Ивашов, 1968, 1993; Ивашов, Бардюк, 1968). В верхних очень кислых горизонтах

Степень связывания фракции ФК 1а железом и алюминием

Горизонт, глубина, см		Сфкла	Fe	Al	ФК/Fe	ФК/Al
		% от навески				
Бассейн р. Большая Пейя, ППП 3-1989, бурозем грубогумусовый						
A1	9-17	1,84	2,12	1,00	0,87	1,84
AB	17-22	1,21	1,75	1,65	0,69	0,73
B1	22-36	0,45	0,98	1,02	0,46	0,44
B2	36-94	0,19	1,12	0,80	0,17	0,24
BC	94-100	0.10	0,92	0,55	0,11	0,18
Бассейн р. Большая Пейя, ПП 2-1988, бурозем грубогумусовый глееватый						
A1	14-19(24)	1,41	1,43	0,92	0,99	1,53
B1g	19(24)-37	1,26	2,21	2,37	0,93	0,53
B2g	37-50	0,23	1,73	1,23	0,13	0,19
BC	50-88	0,18	1,67	0,94	0,11	0,19
Уссурийский заповедник, ППП 1-1989-3, бурозем типичный						
A1	0,5-15	0,27	0,62	0,25	0,43	1,08
B1	15-35	0,11	0,57	0,22	0,19	0,50
B2	35-82	0,06	0,55	0,22	0,11	0,27
BC	82-100	0,06	0,57	0,20	0,11	0,30
Остров Большой Шантар, разрез 17-81*, подзолистая илипювиально-гумусовая						
A2	7-13	0,67	0,13	0,12	5,15	5,58
Bh	13-33	1,74	2,31	1,24	0,75	1,40
BC	33-56	0,73	0,78	1,27	0,94	0,57

* Еловые леса Шантарских островов (1984).

Mn образует с ФК внешнесферные комплексы (Schnitzer, 1982), однако при повышении pH часть фракции Mn может находиться во внутрисферных комплексах. При pH от 5 до 6 легкость обмена Mn из почвенной органики падает, и происходит связывание марганца твердой фазой почвы (McBride, 1982). При низких значениях pH марганец может принимать электростатическую ассоциацию с фульвокислотами (Cheshire et al., 1977; McBride, 1982). Иной точки зрения придерживается М.Д. Степанова (1976): Mn в условиях слабо- и сильнокислой среды не вступает во взаимодействие с почвенной органикой, а образует воднорастворимые соединения.

Соединения титана, несмотря на их очень высокую устойчивость к растворению, образуют комплексы с гумусовыми кислотами при наличии в них фенольных гидроксидов (Матвеева, 1974). Процент содержания титана в ФК-1а невелик (< 6% от валового), и максимальное его накопление, по-видимому, обусловлено биологическим поглощением; это прежде всего хорошо видно на примере почвы ППП 3-1989, отличающейся наличием грибного горизонта, в котором накапливается титан.

Основные черты валового состава почв определяют почвообразующие породы, интенсивность и направленность почвообразовательных процессов. Андезито-базальты и базальты обуславливают высокое накопление в мелкоземных оксидах: Al_2O_3 до 27,35%, Fe_2O_3 до 17,16%, TiO_2 до 5,87%; SiO_2 варьирует от 46,15 до 62, 63% (табл.16). На аллювиальных отложениях (Уссурийский заповедник) и кислых породах бассейна р. Большая Уссурия формируются почвы с меньшим содержанием Fe_2O_3 , Al_2O_3 и большим SiO_2 . Элюво-иллювиальная дифференциация в профильном распределении SiO_2 и R_2O_3 более четкая (например, ПП 2-1989; табл. 16), характерная для подзолообразовательного процесса. Проявление этого процесса подтверждают широкие молекулярные отношения $SiO_2:R_2O_3$; $SiO_2:Al_2O_3$; $SiO_2:Fe_2O_3$ в горизонте EL. Валовой состав мелкозема аналогичен подзолистой иллювиально-гумусовой почве, изученной ранее Н.Ф. Пшеничниковой (1989а,б) в среднем Сихотэ-Алине; единственным отличием является более высокое содержание MgO и низкое CaO. Мелкозем бурой лесной почвы Уссурийского заповедника (ППП 1-1989-3) слабо дифференцирован по Al_2O_3 и Fe_2O_3 ; в средней его части наблюдается некоторое обогащение SiO_2 .

Почвы на элювии базальтов и андезито-базальтов в ходе почвообразовательного процесса теряют преимущественно щелочные элементы (Зимовец, 1962). По сравнению с почвообразующей породой (табл. 7) в почвенном профиле наблюдается увеличение SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 и значительное снижение CaO, MgO, MnO. Неоднозначно ведет себя K_2O , вхождение которого в состав глинистых минералов, по-видимому, предотвращает его выщелачивание.

Относительное накопление SiO_2 характерно для почв, сформированных на базальтах (Иванов, 1976; Ершов, 1984; и др.), хотя принято считать, что при выветривании идет его энергичный вынос (Ковда, 1985). Полагают, что накопление SiO_2 (особенно в верхних горизонтах) происходит за счет вторичного закрепления его в составе биолитов (Ершов, 1984). Аккумуляция в почвенном профиле Si, Fe и Al свойственна буроземам (Бызова, Соколова, 1985).

Состав мелкозема отличается главным образом распределением железа. Обогащение горизонта A1 этим элементом может происходить вследствие процессов оглеения (Ливеровский, Рубцова, 1966; Зайдельман, 1994; и др.) и типично для лесов бассейна р. Единка (ППП 1-2-3-1990) и некоторых участков в бассейне р. Большая Пейя (2-1988). Увеличение в иллювиальных горизонтах Al_2O_3 и Fe_2O_3 может быть связано с иллювиацией илистых частиц (Зимовец, 1962; Ливеровский, 1967; Нечаева, 1967; Иванов и др., 1979; Зонн и др., 1972; Иванов, 1983; Ершов, 1984; и др.). Г.И. Иванов подчеркивал, что «видимость оподзоливания по результатам широко применяемого химического анализа мелкозема почв в целом создается вследствие механической дифференциации профиля по гранулометрическому составу, т.е. лессиважа» (1983, с.10). Заметный вклад в перераспределение Fe, по-видимому, вносят и железистые пленки, покрывающие обломки пород и приуроченные большей частью к верхним почвенным горизонтам (табл. 17).

Валовой химический состав почвы (% от прокаленной навески, *% от золы)

Горизонт, глубина, см	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂ R ₂ O ₃	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ Fe ₂ O ₃
Бассейн р. Единка, ППП 1-1990, бурозем грубогумусовый глееватый													
O1*	0-3	52,82	3,79	10,55	1,75	5,55	13,99	2,12	3,01	1,92	1,56	6,9	37,2
O2*	3-8	63,61	4,11	11,62	2,45	0,42	7,99	1,70	2,35	1,25	0,90	7,6	41,3
O3*	8-14	64,44	4,52	15,72	3,67	0,09	2,80	1,41	1,87	0,98	0,45	5,9	38,1
Alg	14-48	62,63	6,29	15,40	3,19	0,05	2,94	0,91	2,00	4,09	н.а.	5,5	26,6
Бассейн р. Единка, ППП 2-1990, бурозем грубогумусовый													
O1*	0-2	60,57	5,72	13,96	0,97	0,16	5,66	1,23	4,40	2,40	н.а.	5,8	28,2
O2*	2-7	61,70	6,29	15,48	0,97	0,19	3,78	1,17	3,60	2,52	н.а.	5,4	26,1
O3*	5-7	62,92	8,29	15,78	0,98	0,10	2,73	1,09	3,00	2,10	н.а.	5,1	20,2
AT	7-18	64,20	6,86	21,25	2,50	0,04	0,34	0,30	2,00	2,31	н.а.	4,2	24,9
AB	18-21	54,52	11,44	23,98	3,68	0,05	0,31	0,32	1,60	2,87	н.а.	2,9	12,7
B1	21-50	52,42	11,44	25,38	3,42	0,06	0,46	0,34	1,70	4,48	н.а.	2,7	12,2
Бассейн р. Единка, ППП 3-1990, бурозем грубогумусовый лессивированный													
O1-2*	0-5	54,22	7,08	12,38	4,00	3,07	9,34	1,86	2,17	1,10	0,60	5,5	20,4
O3*	5-7(11)	67,41	3,95	12,43	2,52	0,42	4,20	1,49	2,23	0,81	1,42	6,2	45,6
Al ^I	7(11)-17	59,41	11,72	20,60	4,17	0,05	0,32	0,26	1,50	1,10	0,46	3,6	13,5
Al ^{II}	17-24	52,62	17,16	20,60	3,70	0,05	0,30	0,22	1,65	3,45	0,44	2,8	8,2
B1	24-52	48,42	15,23	27,35	3,50	0,14	0,50	0,32	1,30	3,00	0,50	2,2	8,5
B2	52-90	50,86	14,30	26,46	3,70	0,26	0,30	0,26	1,30	2,25	0,54	2,4	9,5
Бассейн р. Единка, ППП 1-1992, бурозем грубогумусовый глееватый													
O*	0-15	52,77	7,41	16,80	1,84	0,76	9,83	2,25	1,25	2,59	4,24	4,2	19,0
AT*	15-23	62,22	5,10	18,81	3,91	0,03	1,73	1,16	0,83	2,21	2,29	4,8	32,6
Al	23-37	59,21	6,57	20,16	5,07	0,03	1,51	1,03	1,46	2,21	1,30	4,1	24,1
ABg	37-48	53,31	13,30	22,86	4,12	0,04	1,22	1,03	1,67	2,23	0,48	2,9	10,7
B1g	48-56	51,42	10,68	24,81	5,87	0,15	0,81	0,99	1,46	1,93	1,25	2,8	12,8
B2	56-79	52,92	12,35	24,20	3,40	0,07	1,82	1,16	1,25	2,48	0,40	2,8	11,4
BC	79-101	46,39	16,16	21,51	4,87	0,09	3,64	2,20	0,83	3,51	0,92	2,5	7,8
Бассейн р. Большая Пейя, ППП 3-1989, бурозем грубогумусовый													
O1*	0-5	53,83	7,15	5,67	1,98	1,61	12,45	2,87	6,00	2,84	5,10	8,9	20,1
O2-3*	5-9	63,31	5,00	13,46	2,67	0,36	4,48	1,70	2,87	1,15	1,00	6,5	33,8
Al	9-17	54,92	12,37	20,62	4,89	0,11	0,48	0,29	2,00	1,85	1,15	3,3	11,8
AB	17-22	54,07	13,41	20,79	4,64	0,15	0,57	0,30	1,65	2,65	0,99	3,1	10,8
B1	22-36	50,06	13,44	22,46	4,94	0,14	0,90	0,46	1,80	3,80	0,88	2,7	9,9
B2	36-94	51,84	13,44	19,76	4,84	0,16	0,84	0,98	2,30	4,55	0,55	3,1	10,3
BC	94-100	50,03	15,23	22,30	5,27	0,16	0,86	0,70	1,65	1,50	1,09	2,7	8,8
Бассейн р. Большая Пейя, ППП 5-1989, бурозем грубогумусовый													
O1*	0-5	55,36	4,29	5,67	0,62	0,92	15,04	2,62	5,55	2,62	6,07	11,2	34,4
O2*	5-9	64,13	3,00	11,62	2,52	0,10	8,14	1,12	2,43	1,12	н.а.	7,1	57,1
O3*	9-13	62,88	6,94	16,54	4,50	0,18	1,12	0,87	2,61	0,74	н.а.	5,1	24,2
AT	13-21	54,53	14,30	21,45	4,17	0,18	0,95	0,48	1,65	1,65	0,55	3,0	10,2
AB	21-27	53,07	15,23	20,60	3,57	0,10	1,22	0,35	2,30	2,25	0,44	3,0	9,3

Горизонт, глубина, см	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂ R ₂ O ₃	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ Fe ₂ O ₃
B1	27-65	50,11	15,23	20,50	4,45	0,10	1,47	0,61	2,80	4,15	0,55	2,8	8,8
B2	65-90	46,17	16,20	23,21	4,20	0,18	2,00	0,80	2,65	3,80	0,57	2,3	7,6
Бассейн р. Большая Пейя, ПП 2-1988, бурозем грубогумусовый глееватый													
O1*	0-11	55,07	5,72	12,23	1,60	1,45	10,63	2,60	3,50	2,20	н.а.	5,9	25,7
O2*	11-12	63,66	4,94	14,39	1,40	0,20	3,53	1,35	3,00	2,50	н.а.	6,2	34,4
O2-3*	12-14	63,92	4,94	15,59	1,53	0,13	2,12	0,92	3,04	2,80	н.а.	5,4	34,5
Al	14-19(24)	65,49	6,86	17,89	4,35	0,06	0,56	0,43	1,96	1,90	н.а.	5,0	25,4
B1g	19(24)-37	46,15	15,44	25,42	3,79	0,12	1,40	0,88	2,40	3,30	н.а.	2,2	8,0
B2g	37-50	51,82	12,30	24,70	3,74	0,08	0,84	0,72	2,34	2,96	н.а.	2,7	11,2
BC	50-88	49,15	15,44	24,94	4,00	0,09	0,56	0,60	2,40	2,32	н.а.	2,4	8,5
Бассейн р. Большая Пейя, ППП 2-1992, бурозем грубогумусовый													
O*	0-8	51,98	6,21	16,10	2,50	1,41	6,12	2,12	3,75	4,40	5,28	4,4	22,3
AT	8-11(13)	58,33	7,55	21,51	3,87	0,06	0,76	1,08	1,88	2,21	1,06	3,8	20,6
AB	11(13)-21	52,19	13,30	24,20	4,27	0,20	0,41	0,89	1,67	2,07	0,71	2,7	10,5
B1	21-55	51,44	14,26	24,56	4,65	0,10	0,34	0,83	1,25	1,37	0,88	2,6	9,6
B2	55-90	49,72	17,12	24,20	4,90	0,17	0,94	0,99	0,85	1,37	0,71	2,4	7,8
Уссурийский заповедник, ППП 1-1989-3, бурозем типичный													
O*	0-0,5	72,43	6,18	1,68	2,71	0,34	9,34	2,12	2,52	0,88	0,10	21,9	73,3
Al	0,5-15	66,21	6,04	14,74	2,38	0,14	1,50	0,55	3,00	4,84	0,28	6,2	29,3
B1	15-35	70,46	6,29	14,18	2,35	0,13	0,78	0,43	2,65	1,84	0,20	6,6	30,0
B2	35-82	70,40	6,43	14,18	2,15	0,14	0,46	0,36	2,65	2,94	0,18	6,5	29,2
BC	82-100	63,87	7,58	15,02	1,85	0,15	4,09	0,36	3,00	3,69	0,18	5,5	22,5
Бассейн р. Большая Уссура, ПП 1-1989, бурозем грубогумусовый иллювиально-гумусовый													
O1*	0-6	47,40	4,94	15,83	1,27	2,38	12,79	2,49	4,70	4,00	4,20	4,2	25,5
O2-3*	6-10	62,22	4,16	15,35	1,33	0,42	3,68	1,16	4,22	4,20	3,07	6,0	39,8
Al	10-13	69,75	4,32	16,20	0,74	0,03	1,18	1,48	3,65	2,32	0,35	6,2	43,1
B1	13-33	67,70	4,53	18,52	0,63	0,02	0,53	1,12	3,59	2,27	0,22	5,5	39,9
B2	33-50	69,45	4,34	17,39	0,68	0,30	0,51	1,03	3,35	2,23	0,19	5,8	42,7
Бассейн р. Большая Уссура, ПП 2-1989, подзолистая иллювиально-гумусовая													
O1*	0-7	60,03	4,94	14,39	1,38	0,63	6,57	1,20	3,74	2,56	4,37	5,8	32,4
O2-3*	7-10	65,03	5,20	15,45	1,50	0,10	2,71	0,99	3,60	3,10	2,15	6,0	33,2
Al	10-13	71,56	3,94	14,82	0,98	0,16	0,87	1,34	2,65	1,97	0,47	7,0	48,5
EL	13-18	77,37	2,46	12,91	0,93	0,10	0,40	0,72	2,58	1,62	0,13	9,1	84,0
BHF	18-28	61,99	8,32	18,91	0,56	0,26	0,64	1,16	3,28	2,15	0,38	4,3	19,9
B2	28-50	62,36	5,88	22,06	0,51	0,21	0,56	0,93	3,23	2,25	0,32	4,1	28,3
Бассейн р. Большая Уссура, ПП 3-1989 ПРД, бурозем грубогумусовый оподзоленный													
O1*	0-2	57,17	4,42	13,42	1,27	2,38	8,67	2,49	4,20	3,60	3,18	6,1	34,5
Al	2-3	67,22	4,42	16,07	1,43	0,23	2,12	0,88	2,84	2,00	2,54	6,0	40,4
AEL	3-9	75,18	5,32	14,35	0,94	0,14	0,43	1,07	2,42	1,63	0,22	8,1	76,9
B1	9-11	72,00	3,97	15,81	0,73	0,16	0,27	0,71	2,53	1,48	0,12	6,5	36,1
B2	11-30 и ниже	72,89	4,32	15,64	0,56	0,43	0,18	1,21	3,50	1,65	0,26	6,7	49,0

Содержание химических элементов в глянцевых пленках (кутанах), % на сухое вещество

Химический элемент	Диапазон содержания	Химический элемент	Диапазон содержания	Химический элемент	Диапазон содержания
Fe	> 10	Ca	0,04–0,05	Ni	0,0003
Al	> 1	Na	0,02–0,03	Cr	0,0002
Si	< 1	Mn	0,003	Ga	0,0002
Mg	0,3	Zn	0,001	Sc	0,0001
Ti	0,2–0,3	Cu	0,001	Zr	0,001–0,002

Примечание. Co, Ag, K, lb, Bi, P, Sb, Sn, Pb отсутствуют.

Совместное обеднение горизонта A1 оксидами Fe и Al и более широкие отношения $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{SiO}_2:\text{Fe}_2\text{O}_3$ все-таки указывают на небольшое оподзоливание почв (например, ПП 2-1988, ППП 3-1990) в темнохвойных лесах бассейнов рек Единка и Большая Пея. Лессивирование, имеющее место в этих почвах, сочетается с выщелачиванием. В ходе почвообразования наиболее интенсивно выщелачиваются кальций и магний, особенно в средней части профиля. Выщелачивание Ca и Mg характерно для всех рассматриваемых почвенных профилей, однако более интенсивно оно протекает в почве бассейна р. Единка (ППП 2-3-1990; табл. 16), на что указывают и морфологические признаки. Компенсируется выщелачивание биологической аккумуляцией CaO , MgO , P_2O_5 , K_2O в подстилке и горизонте A1.

Таким образом, данные валового анализа почв и почвообразующих пород (см. табл. 7 и 16) показывают, что в ходе почвообразовательного процесса происходит накопление полуторных оксидов и интенсивное выщелачивание оксидов кальция и магния. Под пихтово-еловыми зеленомошными и папоротниково-зеленомошными лесами бассейнов рек Большая Пея и Малая Светлая формируются буроземы грубогумусовые; под моховыми и зеленомошными пихтово-еловыми лесами в бассейнах рек Единка и Большая Пея – буроземы грубогумусовые глееватые или оподзоленные.

7.11. Содержание микроэлементов в почвах

В районах усыхания пихтово-еловых лесов роль антропогенного фактора в накоплении микроэлементов сведена к минимуму; поступление их происходит в результате глобального переноса веществ (Гладкова и др., 1993). Содержание микроэлементов в почве обусловлено химическим составом почвообразующих пород. Так, магматические породы, содержащие минералы типа оливина, пироксенов, амфиболов, характеризуются высоким накоплением элементов группы железа (Ni, Co, Mn, Cu, V, Cr, Zn) (Ковда, 1985). Плагиоклазы являются основными элементами-концентраторами стронция (Попов, 1986), а выделяющиеся высоким содержанием магнетита породы восточного Сихотэ-Алиня имеют повышенные концентрации титана, хрома, никеля и цинка (Парамагнесисы..., 1980).

В исследованных почвах наиболее богата микроэлементами подстилка (табл. 18). Аккумуляция микроэлементов в подстилке обусловлена как био-

Содержание микроэлементов в подстилке, мг·кг⁻¹ от золы

Горизонт, глубина, см	Sr	Zn	Cu	Li	Rb	Ni	Co	Pb	Mn
Бассейн р. Единка, ППП 1-1990									
O1 0–3	1000	590	67	26	13	59	44	170	42957
O2 3–8	730	400	50	27	12	59	25	100	3251
O3 8–14	270	130	17	22	7	60	38	60	697
Бассейн р. Единка, ППП 3-1990									
O1–2 0–5	650	630	84	26	12	88	50	100	23762
O3 5–7 (11)	550	360	50	25	11	59	12	130	3251
Бассейн р. Единка, ППП 1-1992									
O 0–15	780	580	119	21	н.а.	104	н.а.	150	5882
Бассейн р. Большая Пея, ППП 3-1989									
O1 0–5	1144	523	74	26	33	186	53	167	12461
O2–3 5–9	700	440	75	26	22	71	38	170	2786
Бассейн р. Большая Пея, ППП 5-1989									
O1 0–5	1024	1200	62	16	17	167	20	125	7121
O2 5–9	800	520	71	50	13	59	н.а.	140	774
O3 9–13	260	210	32	10	11	59	26	60	1393
Бассейн р. Большая Пея, ППП 4-1989									
O1 0–2	1816	2791	147	17	29	193	20	258	28793
O2 2–5	1635	2138	139	32	27	59	55	261	22446
O3 5–7	533	762	47	30	24	122	114	н.а.	8437
Бассейн р. Большая Пея, ПП 2-1988									
O1 0–11	870	578	92	22	37	78	100	130	9584
O2 11–12	621	333	50	22	37	58	100	140	8386
O2–3 12–14	537	146	42	40	25	58	70	105	9165
Бассейн р. Большая Уссурка, ПП 1-1989									
O1 0–6	638	662	56	26	50	65	150	180	18421
O2–3 6–10	396	274	40	29	50	58	150	80	3251
Бассейн р. Большая Уссурка, ПП 2-1989									
O1 0–7	563	452	50	62	50	55	200	155	4876
O2–3 7–10	392	265	40	26	48	46	170	80	774
Бассейн р. Большая Уссурка, ПП 3-1989 ПРД									
O1 0–2	584	605	68	28	55	55	150	160	18421
O2–3 2–3	336	189	35	27	40	46	150	80	1780
Уссурийский заповедник, ППП 1-1989-3									
O 0–0,5	100	330	58	35	11	967	38	50	2632

логическим круговоротом, так и циклическим массообменом между поверхностью суши и тропосферой (Добровольский, 1983, 1997). В группу элементов, концентрация которых в подстилке выше, чем в исходной породе, входят Zn, Mn, Cu, Pb, Ni, Sr, Li; во вторую группу относят элементы, концентрация которых не достигает уровня породы, — Ti, Zn, Co.

Подстилка из районов усыхания пихтово-еловых лесов (бассейны рек Малая Светлая, Большая Пея, Единка, Кабанья) по сравнению с органоминеральными горизонтами обогащена Sr, Zn, Cu, Rb, Pb, Mn (табл. 18, 19). Содержание стронция в подстилке варьирует от 169 до 1816 мг·кг⁻¹, средняя величина Sr превышает кларк литосферы (Виноградов, 1962) в 2,1 раза. Эффективнее всего Sr накапливается в подгоризонте О1. В почве (табл. 19) аккумуляция Sr приурочена к нижним горизонтам по причине его вымывания в кислых условиях среды (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989) и увеличения его сорбции с увеличением pH (Anthony, Stanley, 1970). Среднее содержание Sr в почве 200 мг·кг⁻¹, что ниже кларка литосферы, а пределы его колебаний составляют 20–550 мг·кг⁻¹. Самые низкие его значения отмечены в почве бассейна р. Единка.

Средняя величина Zn в подстилках 704 мг·кг⁻¹, что в 8,5 раз выше кларка литосферы и в 1,2 раза выше аккумуляции его в почве. Пределы колебаний Zn в подстилке составляют 130–2791 мг·кг⁻¹; наиболее обогащен Zn подгоризонт О1.

Подстилка и органоминеральные горизонты бассейна р. Единка обеднены Zn по сравнению с таковыми в бассейнах рек Большая Пея и Малая Светлая. Среднее содержание Zn в органоминеральных горизонтах 584 мг·кг⁻¹, что выше кларка земной коры в 7 раз. Диапазон распределения Zn по профилю составляет 15–6709 мг·кг⁻¹. Цинк не относится к элементам, накапливающимся в поверхностных горизонтах (Tiller, 1957, 1958), в растворимых формах он элювируется из горизонта А1 и имеет тенденцию быть связанным в горизонте В. Накопление цинка в нижней части профиля бурых горно-лесных почв отмечали В.В. Бардюк и П.В. Ивашов (1968), Г.В. Мотузова и Е.В. Смирнова (1983) и др. В верхних почвенных горизонтах буроземов Zn аккумулируется чаще всего в техногенно-аномальных районах, что обусловлено преимущественно аэральным его поступлением (Аржанова, Елпатьевский, 1990; Ильин, 1985; и др.). Значительная роль в накоплении цинка отводится спорообразующим бактериям и актиномицетам (Летунова, 1990). Среднее содержание Zn в почвах усыхающих пихтово-еловых лесов превышает высокие значения, приводимые для Сихотэ-Алинского заповедника (Обухов и др., 1983, 1992).

Средняя аккумуляция в подстилке Cu составляет 71 мг·кг⁻¹, при диапазоне колебаний 17–147 мг·кг⁻¹, что выше средних показателей для почвы в 2 раза, а для кларковых в 1,5. Верхние почвенные горизонты чаще всего обеднены медью, а в горизонтах В2 и ВС наблюдается ее аккумуляция, что согласуется с имеющимися данными (Бардюк, Ивашов, 1968; Ивашов, 1973; Химия..., 1985; Turvey, Grant, 1990). Среднее накопление Cu в почве 36 мг·кг⁻¹, оно ниже по сравнению с содержанием в почвообразующей породе (Попов,

Содержание микроэлементов в мелкоземе, мг·кг⁻¹ на прокаленную навеску

Горизонт, глубина, см	Sr	Zn	Cu	Li	Rb	Ni	Co	Pb	Mn
Бассейн р. Единка, ППП 2-1990									
АТ 13–33	106	148	20	24	18	56	23	80	310
АВ 33–38	65	32	25	37	20	87	37	40	387
В1 38–50	75	124	36	36	23	100	37	80	464
Бассейн р. Единка, ППП 3-1990									
А1 ^I 11–17	160	985	29	22	7	100	50	25	387
А1 ^{II} 17–24	118	6020	31	78	8	134	58	50	387
В1 24–52	90	91	36	37	9	162	121	50	1084
В2 52–90	280	284	41	109	9	169	174	62	2012
Бассейн р. Единка, ППП 1-1992									
А1 23–37	220	52	25	16	н.а.	100	н.а.	10	232
АВg 37–48	110	60	25	32	н.а.	117	н.а.	39	310
В1g 48–56	90	60	25	26	н.а.	150	н.а.	39	1161
В2 56–79	20	91	38	20	н.а.	163	н.а.	29	542
ВС 79–101	50	83	52	8	н.а.	183	н.а.	9	670
Бассейн р. Большая Пея, ППП 3-1989									
А1 9–17	180	158	28	90	11	134	40	50	851
АВ 17–22	200	149	25	103	12	154	73	45	1161
В1 22–36	270	333	31	121	13	185	84	50	1084
В2 36–94	452	6709	47	104	11	231	104	38	1238
ВС 94–100	452	386	51	18	11	185	110	38	1238
Бассейн р. Большая Пея, ППП 5-1989									
АТ 13–21	180	110	29	21	11	117	60	38	1393
АВ 21–27	379	280	23	108	16	134	40	45	774
В1 27–65	360	985	33	103	12	185	94	50	774
В2 65–90	410	529	43	87	11	185	106	48	1393
Бассейн р. Большая Пея, ПП 2-1988									
А1 14–19(24)	208	278	40	14	12	72	140	75	464
В1g 19(24)–37	334	152	48	33	20	156	250	75	929
В2g 37–50	417	100	54	24	20	166	250	90	619
ВС 50–88	550	112	56	80	20	174	250	90	697
Бассейн р. Большая Пея, ППП 2-1992									
АОА18–11(13)	220	143	38	50	н.а.	110	н.а.	40	464
АВ 11(13)–21	180	91	48	71	н.а.	133	н.а.	20	1579
В1 21–55	40	193	38	26	н.а.	173	н.а.	10	774
В2 55–90	40	255	48	16	н.а.	233	н.а.	16	1316
Уссурийский заповедник, ППП 1-1989-3									
А1 0,5–15	640	211	18	49	18	84	30	52	1660
В1 15–35	230	72	19	39	16	72	60	40	1320
В2 35–82	230	62	18	96	17	92	42	21	1410
ВС 82–100	220	110	16	96	17	67	30	50	1460
Кларк литосферы	340	83	47	32	150	58	18	18	1000

1986) и кларком литосферы. Обеднение верхних горизонтов почвы Си более характерно для темнохвойных лесов бассейна р. Единка; это, по-видимому, связано с более интенсивным элювированием тонкодисперсных частиц, содержащих Си (Химия..., 1985).

Аккумуляция лития в почвах контролируется больше условиями почвообразования, нежели его начальным накоплением в материнских породах (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Подстилка, по сравнению с почвой и кларком литосферы, обеднена Li (среднее содержание — 27 мг·кг⁻¹). Диапазон колебаний содержания лития в почве составляет 8–121; средняя величина накопления в почве в 1,8 раза выше кларка литосферы.

В распределении рубидия не наблюдается четких закономерностей. Подстилка и почва обеднены этим элементом, а среднее его содержание соответственно составляет 27 и 16 мг·кг⁻¹, что в 5–9 раз меньше кларка литосферы.

Аккумуляция никеля в подстилке ниже, чем в почве. Среднее количество его в подстилке и почве соответственно составляет 97 и 139 мг·кг⁻¹, что выше кларковых значений в 1,7 и 2,4 раза.

Кобальт, подобно никелю, слабо накапливается в подстилке по сравнению с почвой, хотя среднее его содержание — 41 мг·кг⁻¹ — превышает кларк литосферы в 2,3 раза. Предел колебаний Co — от следов до 114 мг·кг⁻¹. Органо-минеральные горизонты в среднем аккумулируют 94 мг·кг⁻¹ Co, что выше кларковых значений в 5,2 раза. Наиболее высокое содержание Co отмечено в почве и подстилке полностью усохшего ельника (ПП 2-1988). Аналогично никелю кобальт приурочен к иллювиальным горизонтам В.

В подстилке и почве наблюдается высокая аккумуляция свинца; средние величины накопления Pb составляют соответственно 135 и 46, что выше кларка земной коры в 8,4 и 2,9 раза. Аккумуляции Pb способствуют теплый климат с большим количеством осадков (Макаревич и др., 1978) и интенсивный биологический круговорот (Свинец..., 1987). П.В. Ивашов (1973) считает, что в бурых горно-лесных почвах наибольшее количество Pb содержится в горизонте ВС благодаря сорбции глинистыми частицами и оксидами Fe и Mn.

Марганец в подстилке (особенно в подгоризонте О1) аккумулируется наиболее эффективно; среднее его содержание — 9362 мг·кг⁻¹ — превышает кларк литосферы в 9,4 раза, а величину накопления в почве в 11,6 раза. Среднее количество Mn в почве — 808 мг·кг⁻¹, ниже кларка литосферы, но выше данных В.И. Голова (1972) для почв, образовавшихся на базальтах. По сравнению с почвообразующей породой (табл. 7) наблюдается обеднение почвенных горизонтов Mn, особенно верхних. Наиболее интенсивно вынос Mn происходит в почвах бассейна р. Единка, часто находящихся в условиях затрудненного водообмена. Накопление Mn отмечено в горизонтах В и АТ, что согласуется с данными П.В. Ивашова (1968). Обеднение верхних органо-минеральных горизонтов марганцем происходит вследствие выщелачивания при низких значениях pH (Haynes, Swift, 1986). Связывание Mn твердой почвенной фазой обусловлено повышением pH в нижних горизонтах (McBride, 1982).

Содержание микроэлементов в почвах под пихтово-еловыми лесами бассейна р. Большая Уссурка изучено в меньшей степени (имеются данные только о накоплении микроэлементов в подстилке; табл. 17). По сравнению с кларками литосферы она обогащена Sr, Zn, Cu, Co, Pb, Mn и Ti соответственно в среднем в 1,4; 4,9; 1,0; 9,0; 7,6; 7,9 и 1,8 раза.

В широколиственно-еловых лесах Уссурийского заповедника превышение фоновых значений накопления микроэлементов в подстилке относительно кларков литосферы составляет: Zn в 4; Cu — 1,2; Li — 1,1; Ni — 16,7; Co — 2,1; Pb — 3,0; Mn — в 2,6 раза. В то же время подстилка обеднена стронцием и рубидием. Органо-минеральные горизонты имеют высокое (выше кларковых) содержание стронция, цинка, никеля, кобальта, марганца, свинца, лития и титана. Из-за менее выраженных процессов оподзоливания, лессивирования и оглеения наблюдается более равномерное распределение по профилю микроэлементов (например Cu, Rb, Mn).

Таким образом, подстилки пихтово-еловых лесов в бассейнах рек Большая Пейя, Малая Светлая, Единка являются эффективными аккумуляторами цинка, свинца, марганца, меди и стронция. В почвах, по сравнению с кларками литосферы, повышено содержание цинка, кобальта, лития, никеля и свинца, а стронция, меди, рубидия и марганца — понижено (особенно в бассейне р. Единка, где в большей степени отмечается проявление оподзоливающих процессов). В почвах широколиственно-еловых лесов наблюдается повышенное накопление лития, цинка, меди, никеля, кобальта, свинца, марганца и хрома.

7.12. Распределение соединений Fe в почве

Характеру накопления и распределения железа в почвах под темнохвойными лесами Дальнего Востока придавалось большое значение (Ивашов, 19676, 1976; Зимовец, 1967; Ершов, 1973, 1984; Селиванова и др., 1979; Джонн, 1982, 1983; Пшеничникова, 1989а; Коломеец, 1987а; Почвообразование..., 1993; и др.). Определялись в основном аморфные соединения (по Тамму), тогда как имеющиеся данные по группам и формам Fe немногочисленны (Селиванова и др., 1978, 1979; Сапожников и др., 1979а; Селиванова, 1985; Бутовец, Гладкова, 1989; Почвообразование..., 1993; и др.). Почвообразование в почвах буроземного ряда тесно связано с богатством почвообразующих пород и региональными биоклиматическими особенностями (Зимовец, 1967; Ивашов, 1968; Ершов, 1973, 1984; и др.). Свободное Fe (несиликатное), большей частью состоящее из окристаллизованных соединений, часто представлено гетитом. Почвенным горизонтам он придает желтый цвет, а в сочетании с СП-гидроксидом — охристый (Ильина, Карпачевский, 1988). Образованию гетита способствуют добавки энергетического материала, а переувлажнение данный процесс замедляет (Белозерский и др., 1983). Основная часть свободного Fe находится в виде высокодисперсных пленок на поверхности почвенных частиц (Зимовец, 1967).

Высокое накопление Fe, по Тамму, считается провинциальной особенностью почв (Ершов, 1973; Костенкова, 1983). Аморфные компоненты буроземов представлены комплексными соединениями Fe и Al с органическими кислотами, аморфными гидроксидами Fe и аллофанами (Бызова, Соколова, 1985). Л.С. Ильина и Л.О. Карпачевский (1988) связывают бурый цвет почвенных горизонтов с содержанием аморфных гидроксидов Fe. Повышенное их образование характерно для почв на основных почвообразующих породах (Таргульян, 1971; Соколов, 1973; Пономарева, Плотникова, 1980; Гладкова, Бутовец, 1988; Манько и др., 1992) и для сезонно переувлажняемых почв (Зонн и др., 1972; Зонн, 1983; и др.). В регионе это типично для почв восточного макросклона Сихотэ-Алиня (Пшеничникова, Пшеничникова, 1978). Под усыхающими пихтово-еловыми лесами Сихотэ-Алиня отмечено обильное накопление аморфных соединений железа (Пшеничникова, 1989а; Манько и др., 1992).

Увеличение аморфных оксидов железа и алюминия обнаружено на поверхности раздела корень-почва при изучении ризосферы *Picea abies* (Couchesne, Gobran, 1997). Покрытие почвенного материала полутонкими оксидами в особенности аморфными R_2O_3 увеличивает сорбцию растворенного органического вещества и его фракций (Kaiser, Zech, 1998).

Аморфные соединения в органо-минеральных горизонтах чаще всего связаны с органическим веществом и, как показало определение Fe и Al в 0,5 н H_2SO_4 вытяжке (табл. 14), они образуют комплексы главным образом с фракцией ФК-1а. Л.О. Карпачевский и Л.С. Ильина (1987) считают, что большая часть оксалоторастворимого Fe, представленного Fe-органическими соединениями и гидроксидами, обусловлена замедленной минерализацией органического вещества. Многими авторами (Таргульян, 1971; Зонн, 1982, 1983) подвижность аморфных соединений Fe ставится под сомнение. В горных условиях миграционная способность Fe зависит от химического состава почвообразующих пород — при выветривании андезитов и андезитобазальтов она в несколько раз меньше, чем при выветривании гранитов (Зимовец, 1967; Зонн, Урушадзе, 1974; и др.).

Усиливают растворимость и подвижность Fe соединения, выделяемые грибами, а также вещества, образующиеся в ходе разложения хвойных остатков (Сапожников, 1968; Cline et al., 1982). Миграционная способность комплексных железоорганических соединений увеличивается со снижением их молекулярной массы (Кауричев и др., 1978). Образование низкомолекулярных органических кислот характерно для свежего опада или гумуфицированного на ранних стадиях разложения (Зверева, Базилинская, 1976). По данным П.В. Елпатьевского и В.С. Аржановой (1994), максимальная мобилизация Fe в раствор происходит в пределах горизонта A1 — 0,71 мг·л⁻¹. По мере миграции по профилю концентрация Fe снижается, но в водах уходящих за его пределы остается высокой — 0,33 мг·л⁻¹.

Исследования А.П. Сапожникова с соавторами (1979а) позволили сделать вывод, что горные почвы региона отличаются абсолютным преоблада-

нием силикатного Fe (> 50%). Однако по данным Г.А. Селивановой (Почвообразование..., 1993) и Г.В. Мотузовой и Е.В. Смирновой (1983), для горных почв характерно более высокое содержание свободного Fe.

Почвы темных хвойных лесов, произрастающих в бассейнах рек Единка, Малая Светлая, Большая Пея, сформированы на элювии андезито-базальтов базальтов. Они являются более выветрелыми и содержание свободного Fe в них достигает (59,2—72,0% от валового, табл. 20); величина аморфных соединений (по Тамму) довольно значительна, например максимальное содержание оксалоторастворимых R_2O_3 отмечено в полностью усохшем пихтово-еловом лесу (ПП 2-1988).

Таблица 20

Группы и формы соединений железа

Горизонт, глубина, см	Валовое Fe, % от абс. сух навески	Силикат- ные		Свобод- ные		Сильно- окристал- лизован- ные		Слабоок- ристалли- зованные		Аморфные				
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	3	4	
Бассейн р. Единка, ППП 3-1990, бурозем грубогумусовый лессивированный														
П1	11-17	5,86	2,91	49,7	2,95	50,3	0,21	3,6	1,48	25,2	1,26	21,5	1,2	0,1
П2	17-24	8,51	2,38	28,0	6,13	72,0	2,52	29,6	0,60	7,0	3,01	35,4	1,5	1,5
П3	24-52	9,20	2,74	29,8	6,46	70,2	2,13	23,2	3,47	37,7	0,86	9,3	0,4	0,4
П4	52-90	8,85	3,02	34,1	5,83	65,9	1,23	13,9	3,61	40,8	1,00	11,2	0,1	0,9
Бассейн р. Большая Пей, ППП 3-1989, бурозем грубогумусовый														
П1	9-17	6,43	2,10	32,7	4,33	67,3	0,50	7,8	1,91	29,7	1,92	29,8	1,8	0,1
П2	17-22	7,63	2,79	36,6	4,84	63,4	1,57	20,6	2,03	26,6	1,24	16,3	0,6	0,6
П3	22-36	8,27	3,10	37,5	5,17	62,5	1,73	20,9	1,92	23,2	1,52	18,4	0,8	0,8
П4	36-94	8,31	3,14	37,8	5,17	62,2	2,44	29,4	0,99	11,9	1,74	20,9	0,2	1,6
П5	94-100	9,64	4,47	46,4	5,17	53,6	0	0	4,42	45,8	0,75	7,8	0,1	0,7
Бассейн р. Большая Пей, ПП 2-1988, бурозем глееватый														
П1	14-19(24)	3,41	0,89	26,1	2,52	73,9	0,27	7,9	1,03	30,2	1,22	35,8	1,2	0
П2	19(24)-37	8,60	3,34	38,8	5,26	61,2	0,65	7,6	0	0	4,61	53,6	2,2	2,4
П3	37-50	7,41	2,99	40,4	4,42	59,6	0	0	0,60	8,1	3,82	51,5	2,9	0,9
П4	50-88	9,34	3,64	39,0	5,70	61,0	0	0	0	0	5,70	61,0	0,7	5,0
Уссурийский заповедник, ППП 1-1989-3, бурозем типичный														
П1	0,5-15	4,41	2,29	51,9	2,12	48,1	0,96	21,8	0,76	17,2	0,40	9,1	0,2	0,2
П2	15-35	4,19	2,18	52,0	2,01	48,0	0,43	10,3	1,06	25,3	0,52	12,4	0,1	0,4
П3	35-82	4,31	2,11	49,0	2,20	51,0	1,06	24,6	0,85	19,7	0,29	6,7	0,1	0,2
П4	82-100	5,12	2,66	52,0	2,46	48,0	0,40	7,8	1,81	35,3	0,25	4,9	0,1	0,2

Примечание. Цифрами в головке обозначено следующее: 1 —%; 2 —% от валового содержания; 3 — аморфное, связанное с ОВ; 4 — аморфное, не связанное с ОВ.

В почвах бассейна р. Большая Пея (ППП 3-1989; табл. 20) свободное Fe превалирует над силикатным и плавно убывает с глубиной. При этом окристаллизованные соединения накапливаются по профилю: слабоокристаллизованные в горизонтах A1, AB, B1 и B2C, а сильноокристаллизованные в AB, B1 и B2. Аморфное Fe имеет два пика накопления: в A1 и B2. В верхних почвенных горизонтах Fe связано в основном с органическим веществом. Характер распределения групп и форм соединений Fe в почвах пихтово-еловых лесов свойственен буроземам.

В этом же бассейне на плато в междуречье рек Большая Пея—Дунья (ПП 2-1988; табл. 20) отмечено наиболее высокое содержание свободного Fe, достигающее 73,9%. Аморфные соединения превалируют по всему почвенному профилю; характерно их накопление с глубиной. Значительное увеличение в горизонте B1g аморфного железа, не связанного с органическим веществом, по-видимому, объясняется лессивированием. Принимая во внимание характерные признаки сезонного оглеения, почву можно отнести к буроземам грубогумусовым глееватым.

В бассейне р. Единка значительная дифференциация свободного Fe, а в его составе аморфных соединений по профилю, по-видимому, обусловлена лессиважем. В горизонте A1^{II} (ППП 3-1990) аморфное Fe большей частью не связано с органическим веществом, хотя содержание гумусо-аморфного Fe достаточно высокое. Сильноокристаллизованные соединения Fe незначительно присутствуют в горизонте A1, имеют тенденцию к аккумуляции в средней части профиля и с глубиной убывают. В профиле превалирует окристаллизованное Fe; величина аморфных соединений железа при этом достаточно велика. Почва — бурозем грубогумусовый лессивированный.

Под широколиственно-хвойными лесами Уссурийского заповедника в групповом составе железа незначительно преобладают силикатные соединения, повторяющие характер распределения валового Fe. Наиболее интенсивно выветрен горизонт B2, где содержание свободного Fe достигает 51%. Сильноокристаллизованные соединения Fe приурочены к горизонтам A1 и B2, а слабоокристаллизованные — к B1 и B2C. Аморфное Fe, убывая с глубиной, имеет пик накопления в B1. В составе аморфного Fe преобладают соединения, не связанные с органическим веществом. Почва — бурозем (буряя лесная).

Почвы в бассейнах рек Единка, Большая Пея, Малая Светлая выделяются высоким содержанием свободных (несиликатных) соединений железа и являются сильновыветрелыми. Накопление в них аморфных соединений Fe может происходить в результате сезонного переувлажнения вследствие их минералогического состава, а также высокого содержания в подстилке этих почв органического вещества. Значительная дифференциация по профилю свободного железа, а в его составе аморфных форм, вероятно, обусловлена лессиважем и небольшим оподзоливанием.

Таким образом, под усыхающими пихтово-еловыми лесами в зависимости от почвообразующих пород, состава лесов, условий водоснабжения и особенностей климатической обстановки формируются различные типы почв. Почвы пихтово-еловых лесов, развитые на элювии базальтов и андези-

то-базальтов, представляют собой в зависимости от топографии, определяющей степень увлажнения и дренированности, различные варианты кислых грубогумусовых буроземов. Для северных районов с обедненным составом древостоев пихтово-еловых лесов характерны более высокие темпы накопления подстилки и гумуса; в почвах значительнее проявляется сезонное оглеение, лессивирование и выщелачивание. Почвы, сформированные на более кислых породах (бассейн р. Большая Уссурка), варьируют от буроземов грубогумусовых до подзолистых гумусо-иллювиальных. Под широколиственно-еловыми лесами (Уссурийский заповедник) на аллювиальных отложениях развиты буроземы (бурые лесные почвы).

Основной состав почвообразующих пород тормозит проявление подзообразования (Дюшофур, 1970; Таргульян, 1971; и др.). Согласно нашим наблюдениям почвы под пихтово-еловыми лесами, произрастающими на базальтовом плато в истоках рек Большая Пея, Кабанья, Бикин и в верхнем течении р. Единка, не являются подзолистыми, а могут быть лишь слегка подзоленными или псевдоподзоленными. В ландшафтах затрудненного водообмена встречаются почвы с признаками сезонного оглеения; их можно классифицировать как буроземы грубогумусовые глееватые.

Основным отличием почв усыхающих и ненарушенных древостоев является крайне высокий уровень кислотности корнеобитаемых горизонтов первых, что, по-видимому, должно быть отражено в их номенклатуре. Буроземы грубогумусовые (кислые) характеризуются замедленной трансформацией органического вещества, приводящей к накоплению мощных подстилок. От подбуров рассматриваемые почвы отличаются закреплением в почвенном профиле Fe и Al (часто и Si), а не их тотальным выносом (Бызова, Соколова, 1985).

Развитие элювиального процесса на территории южной части Дальнего Востока сопровождается в основном лессивированием (Ливеровский, 1972). Лессиважу принадлежит большая роль в образовании буроземов, формирующихся на основных породах. В почвах под лесом этот процесс преобладает, приводя к сезонному оглеению и осветлению лессивированной толщи (Зонн, Травлєев, 1989).

Произрастание пихтово-еловых лесов на базальтовом плато, по-видимому, предрасполагает древостой к деградации по той причине, что базальты как почвообразующая порода способствуют ухудшению водоснабжения древесных пород, проявляющемуся особенно на плоских участках в периоды снеготаяния и муссонных дождей. Высокая влажность обуславливает замедленную минерализацию подстилки и значительную степень её накопления, что в свою очередь ведет к неблагоприятным последствиям: сильному подкислению корнеобитаемых горизонтов, а также ухудшению водно-физических параметров почвы. Однако само по себе переувлажнение не является главной причиной усыхания пихтово-еловых лесов. Так, в бассейне р. Единка на постоянно переувлажненном участке сформировалось высоковозрастное насаждение (пихтово-еловый лес с подлеском из рододендрона золотистого, ППП 1-1992), почва которого имеет удовлетворительные лесорастительные свойства.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ И МИЦЕЛИЯ

Таким образом, деградация и усыхание лесов с преобладанием ели аянской происходит на различных типах почв как в южных, так и северных частях Приморского края: на буроземах, буроземах грубогумусовых (сильнокислых), буроземах грубогумусовых в разной степени оглеенных или оподзоленных и подзолистых иллювиально-гумусовых. Направленность почвообразовательного процесса в большей степени определяется почвообразующими породами, топографией местности и составом пихтово-еловых биогеоценозов. Имеет значение также и частая прерываемость их развития экзогенными факторами (пожары, ветровалы, вывалы отдельных деревьев и т.п.), то есть их периодическое омолаживание. К числу «омолаживающих» факторов можно отнести и массовое усыхание пихтово-еловых лесов, ускоряющее круговорот веществ и стимулирующее дерновый процесс. Однако накопление огромного количества отмершей древесины существенно может изменить темпы круговорота и создать реальные предпосылки для возникновения лесных пожаров.

В целом для почв под усыхающими пихтово-еловыми лесами характерно следующее: крайне кислая или сильнокислая реакция среды (особенно гумусовых горизонтов), обусловленная значительным поступлением свободных органических кислот, продуцируемых подстилками в процессе их разложения; насыщенность почвенного поглощающего комплекса преимущественно ионами алюминия и водорода, что может служить причиной стресса у деревьев; в большинстве случаев неблагоприятные отношения Ca/Mg в корнеобитаемом горизонте; средняя или повышенная обеспеченность подвижным калием; низкое или крайне низкое содержание подвижного фосфора; низкая обеспеченность корнеобитаемых горизонтов азотом; обилие аморфных соединений железа и алюминия; низкое или крайне низкое содержание подвижного фосфора; высокая гумусированность верхних горизонтов и преобладание фульвокислот в составе гумуса; высокое накопление в мелкоземце цинка, никеля, кобальта, лития и свинца; преобладание несиликатных (а в их составе аморфных) соединений железа.

Если сравнить полученные данные с параметрами почвенного плодородия, обеспечивающими, по мнению многих авторов (Кобрин, Беленец, 1986; Зеликов, Мальцев, 1986; Гришина, 1987; и др.), нормальный рост хвойных (ели), то можно сделать вывод, что в первую очередь лесорастительные свойства почв лимитируют фосфор и низкий уровень pH; на отдельных площадях ощущается острый недостаток азота.

Химический состав растений в целом определяется двумя ведущими факторами: генетическим и экологическим (Ильин, 1985). Считается, что потребление зольных элементов и азота существенно изменяется в зависимости от региона и связано со степенью выветрелости почвообразующих пород и минералов почвенной толщи (Зонн, Травлев, 1989). Определение дефицита того или иного химического элемента в растении осложняется тем, что четкая позитивная корреляция между содержанием в хвое питательных веществ и состоянием дерева имеется только в случае слабого недостатка в почве элементов питания. При сильном их недостатке в хвое угнетенных деревьев накапливается больше химических элементов, чем в экземплярах с нормальным развитием (Steenbjerg, 1951; Паавилайнен, 1983). Химические анализы могут использоваться, если выполнены они для конкретной системы почва-растение, и если содержание элементов в растениях сравнивается с нормальными (здоровыми) их генотипами, в тех же органах и на той же стадии развития.

Определение химического состава хвои входит в качестве обязательного исследования во многие национальные программы мониторинга состояния лесов (Schade, Zöhrer, 1983; Lacier, 1987; Addison, 1989; Павлова и др., 1990; Neumann, 1993; и др.).

8.1. Содержание в хвое ели аянской макро- и мезоэлементов

В ненарушенных экосистемах юга российского Дальнего Востока состав хвои ели аянской сравнительно хорошо изучен (Мусорок, 1970; Сапожников, 1973; Музарок, Ильина, 1978; Бабулин, 1981; Ильина, 1984, 1987; Почвообразование..., 1993; и др.).

В усыхающих пихтово-еловых лесах бассейнов рек Единка, Большая Нея и Малая Светлая, а также в широколиственно-еловом лесу (Уссурийский заповедник) диапазон колебаний содержания азота в хвое очень широк 1,02–1,40 % (табл. 21). В ненарушенных экосистемах аккумуляция N достигает 1,45–1,64 % (Мусорок, 1970; Ильина, 1984; Сапожников, 1973). По данным европейских исследователей, еловые леса (*Picea abies*) испытывают дефицит N при содержании его в хвое менее 1,3 %, при 1,3–1,5 % ощущается его нехватка, а при >1,5% содержание достаточное (Gussone, 1964; по: Stefan, Füst, 1998; Вайчис, Ворон, 1991; Паавилайнен, 1983). Считается, что в почвах с низким pH ель предпочтительно использует ионы аммония, тем

Содержание химических элементов в хвое ели аянской
(% или мг·кг⁻¹ на абсолютно сухое вещество)

Элемент	Усыхающие древостои				Ненарушенные древостои			
	Бассейны рек Большая Пяя и Единка			Уссурий-ский запо-ведник	Бассейн р. Большая Пяя ППП 2-1992	Юг Дальнего Востока*		Южный Сихотэ-Алинь**
	\bar{X}	S	Пределы колебаний			\bar{X}	S	
N(%)	1,22	0,15	1,02–1,40	1,40	1,16	н.а	н.а.	1,45
K	0,66	0,10	0,54–0,81	0,90	0,55	0,81	0,19	0,51
Ca	0,69	0,13	0,58–0,94	0,92	0,72	0,53	0,12	0,48
Mg	0,10	0,03	0,07–0,14	0,11	0,09	0,09	0,05	0,10
P	0,04	0,02	0,04–0,05	0,04	0,05	0,17	0,05	0,05
Mn (мг·кг ⁻¹)	1400	400	1000–2000	200	1400	1000	400	н.а.
Na	211	191	22–380	102	460	90	50	100
Fe	75	28	52–106	77	80	130	80	500
Ni	1,9	0,8	1,1–3,0	3,8	2,3	1,9	1,5	н.а.
Al	153	86	60–290	100	120	190	140	300
Sr	50	20	21–73	146	58	16	13	н.а.
Ti	11	9	3–28	3	16	24	27	н.а.
Zn	23	4	19–29	28	18	15	14	н.а.
Cu	2,6	0,5	1,7–3,2	3,1	3,0	5,6	5,5	н.а.
Li	0,2	0,1	0,1–0,4	0,1	0,8	н.а.	н.а.	н.а.
Co	0,6	0,2	0,4–0,8	0,9	н.ч.п.	н.а.	н.а.	н.а.
Rb	2,8	1,8	1,4–5,4	0,6	н.ч.п.	н.а.	н.а.	н.а.
Pb	2,7	1,0	1,4–3,4	3,2	1,4	н.а.	н.а.	н.а.

Примечание. * А.А. Бабуриным (1981); ** Т.М. Ильина (Почвообразование..., 1993). Здесь и далее \bar{X} – среднее, S – среднее квадратическое отклонение; н.ч.п. – концентрация элемента ниже чувствительности прибора.

самым нарушая потребление других катионов, например магния (Haynes, Swift, 1986; Schulze, Freer-Smith, 1991). Исследования в ельниках показали, что ежегодно экосистемы теряют до 30 кг·га⁻¹ азота, что вызвано низкой скоростью разложения хвои и поверхностной корневой системой ели. Выщелачивание азота ведет к подкислению и изменению ионного состава почвы (Kreutzer, 1990). В наших условиях молодой ельник (ППП 2-1992) аккумулирует минимальное количество N, что согласуется с данными о том, что молодые древостои этот элемент запасают в меньших количествах (Le Goaster et al., 1991). Недостаток азота в почве связывают и с продолжительными засушливыми периодами, во время которых затухает микробиологическая активность и ухудшается снабжение деревьев подвижными соединениями (Berki, 1991). Обеспеченность елей азотом может зависеть и от высотного положения (Stefan, Fürst, 1998).

Содержание калия в хвое наиболее высокое в Уссурийском заповеднике – 0,90%, в бассейнах рек Большая Пяя и Единка оно колеблется в преде-

лах 0,54–0,81%, что выше данных, приводимых Т.М. Ильиной (1984), и на много больше значений, при которых ель испытывает дефицит калия в Европе, но ниже величин, указываемых А.А. Бабуриным (1981). Достаточным для роста ели считается содержание калия в хвое 0,5% и более (Heiberg et al., 1962; по: Stone, Leaf, 1967). Нами не отмечено пониженное содержание этого элемента в хвое больных деревьев, что характерно для Европы (Stienen, 1989; Zotrin, Krapfenbauer, 1990). Высокое накопление калия в хвое обеспечивает устойчивость ели к засухе и морозам (Stone, Leaf, 1967). Повышенная аккумуляция калия вследствие взаимодействия химических элементов сопровождается высоким поглощением кальция.

По данным некоторых авторов (Lange et al., 1989; Le Goaster et al., 1990), содержание Ca и Mg у усыхающих деревьев иногда понижено. Накопление кальция уменьшается с возрастом деревьев (Le Goaster et al., 1991). По нашим материалам содержание Ca в усыхающих древостоях составляет 0,58–0,94%, что выше данных, приводимых Т.М. Ильиной (1984), Г.Г. Мусорком (1970) и А.П. Сапожниковым (1973) для естественных лесов.

Дефицит магния отмечается при содержании его в хвое менее 0,07% (Вайчис, Ворон, 1991). Диапазон колебаний Mg в усыхающих и ненарушенных древостоях 0,07–0,14%; эти величины близки к данным Т.М. Ильиной (1984), но ниже показателей, приводимых Г.Г. Мусорком (1970). Среднее содержание Mg – 0,10% – свидетельствует об отсутствии острого дефицита этого элемента, однако нехватка его все же имеется. С дефицитом магния многие исследователи напрямую связывают ухудшение состояния лесов и их усыхание.

Недостаточное обеспечение деградирующих пихтово-еловых лесов фосфором отмечали Л.А. Майорова с соавторами (1982) и Н.Ф. Пшеничникова (1989а), а ненарушенных – Т.М. Ильина (1984). Содержание P в хвое составляет 0,04–0,05%, что в несколько раз меньше величин, приводимых для ненарушенных древостоев (Мусорок, 1970; Сапожников, 1973; Бабурин, 1981). В Австрии, например, недостаточным считается содержание P при 0,11%, а в Финляндии – 0,07–0,08% (Вайчис, Ворон, 1991; Паавилайнен, 1983). Наши данные указывают на острейший дефицит фосфора в хвое ели аянской, связанный с низким содержанием в почве его подвижных форм и обусловленный образованием трудно растворимых комплексов с Al и Fe. Другой причиной низкого обеспечения ельников фосфором может служить их послепожарное происхождение. Имеются данные о связывании фосфора под влиянием огня в малодоступные растения соединения (Serrasolsas, Khanna, 1993).

8.2. Содержание в хвое ели аянской микроэлементов

Данные о микроэлементах в хвое ели аянской единичны (Бабурин, 1981; Ивашов, 1991; Ефимов, 1991). С одной стороны, хвойные деревья считаются неэффективными аккумуляторами микроэлементов; лимитировать их содержание может химическое и биологическое взаимодействие элементов

(Zasoski et al., 1990). С другой, темнохвойные формации встречаются преимущественно на редкоземельных и полиметаллических потоках рассеяния (As, Be, Pb, Zn; Светогоров, 1991). П.В. Ивашов (1991) отнес ель аянскую к биогеохимическим растениям — индикаторам, эффективно накапливающим Zn, Cu, Ag, Ni, Ba, Sr, Mn, Cr и другие элементы. Для полевых условий достоверные концентрации микроэлементов неизвестны, хотя считается, что ель (*Picea abies*) следует удобрять при содержании в хвое Zn менее $30 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ (Fiedler, 1988), а концентрация Cu менее $2 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ для большинства видов растений неблагоприятна. Североамериканские исследователи (Zasoski et al., 1990) считают, что пихта Дугласа не испытывает очевидного дефицита при содержании цинка $18,4 \pm 3,8$, а меди — $4,4 \pm 1,5 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Хвоя из усыхающих пихтово-еловых лесов накапливает максимальное количество марганца и цинка (табл. 21). Если в ненарушенных древостоях содержание Zn $< 19 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$, то в усыхающих оно колеблется в пределах $19-29 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$. Аккумуляция Zn в хвое ели в первую очередь определяется высоким содержанием его в почве, а также возрастом древостоя (Fiedler, 1988; Алексеенко, 1992). Цинку свойственна высокая биологическая активность (Добровольский, 1992). Избыток его может нарушать целый ряд метаболических процессов, например ингибировать активность некоторых ферментов фосфорного обмена. Обнаружено также цитотоксическое действие Zn на растения (Гуральчук, 1990). Увеличение в хвое цинка приводит к снижению накопления железа в результате антагонизма Zn-Fe (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Усыхающие древостои содержат наименьшее количество жизненно необходимого Fe. Содержание в хвое Mn повышено в усыхающих и ненарушенных древостоях, оно соответственно достигает 1400 ± 400 и $1000 \pm 400 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$. Древесные, а в особенности хвойные породы, характеризуются наибольшей аккумуляцией Mn (Ивлев, Бабурин, 1972). Высокое содержание Mn отмечено у больных деревьев (Zotrin, Krapfenbauer, 1990; и др.). Объяснить это можно тем, что вследствие увеличения кислотности почвы избыток Mn вызывает у ели дефицит Mg, сопровождающийся хлорозом молодой хвои (Hecht-Buchholz et al., 1987). На поглощение марганца растительностью заметно влияют экологические условия; в районах с повышенной увлажненностью степень биологического поглощения выше (Ивлев, Бабурин, 1972). Ель в Уссурийском заповеднике содержит минимальное количество Mn в хвое, что, по-видимому, связано с менее кислой реакцией среды в почве.

Содержание меди в усыхающих и ненарушенных древостоях низкое и, вероятно, недостаточное. Более высокая аккумуляция Cu (примерно вдвое выше) отмечалась А.А. Бабуриным (1981). Многие авторы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; и др.) обращали внимание на свойство Cu влиять на механизмы, определяющие устойчивость к заболеваниям (особенно грибным).

Накопление стронция ($146 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$) отмечено в хвое широколиственно-елового леса (ППП 1-1989-3); диапазон колебаний Sr в хвое ели из района усыхания пихтово-еловых (бассейны рек Большая Пейя и Единка) заметно выше приводимых А.А. Бабуриным (1981) средних величин для юга Даль-

него Востока. Отсутствие в литературе данных по наличию в хвое ели аянской других микроэлементов не позволяет нам сделать какие-либо выводы об избытке или дефиците их в обследованных нами экосистемах.

Хвоя из широколиственно-елового леса (ППП 1-1989-3) содержит больше никеля, кобальта, свинца, а хвоя из молодого ненарушенного ельника (ППП-2-1992) — натрия, лития и меди. Имеются данные (Schmid-Haas, 1989) о более высокой концентрации лития, натрия, меди и других элементов в здоровой хвое.

В заключение необходимо подчеркнуть что судя по данным химического состава хвои ель аянская испытывает острый недостаток азота, фосфора и меди, а, возможно, и железа. Хвоя ели аянской в усыхающих лесах является эффективным аккумулятором марганца, рубидия, стронция, цинка, меди и свинца. Слабо накапливаются в хвое литий, железо, алюминий и титан по сравнению с их содержанием в почве. Степень биоаккумуляции в хвое микроэлементов (индекс биоаккумуляции рассчитывался как отношение содержания элементов в растении к их концентрации в гумусном слое почвы) показана на рис. 23. Для ели аянской, произрастающей в Уссурийском заповеднике, характерно меньшее

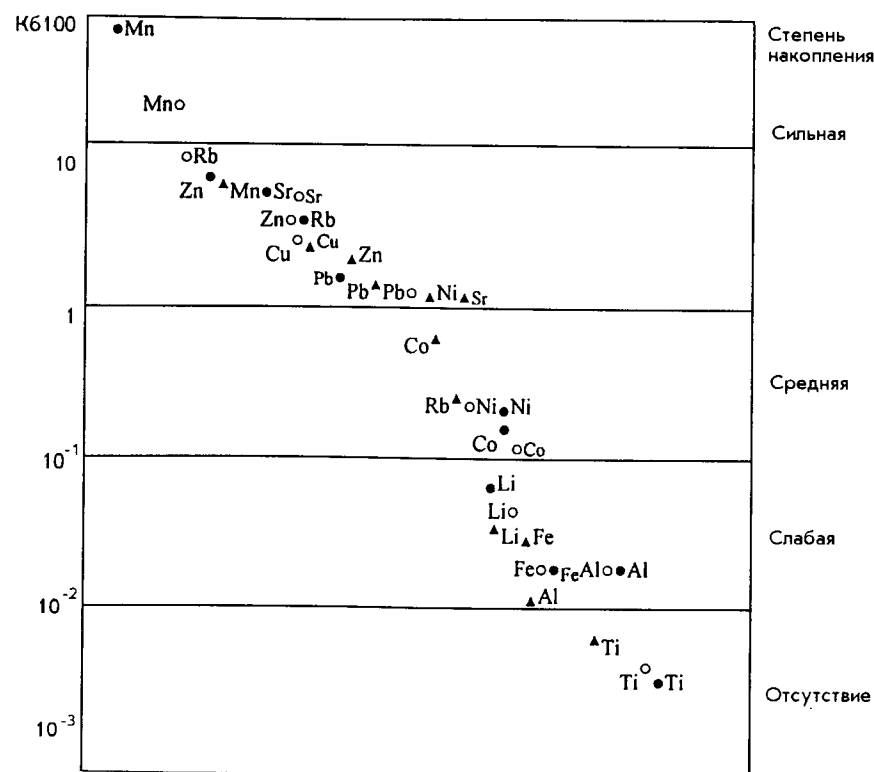


Рис. 23. Биоаккумуляция микроэлементов в хвое ели аянской. Здесь и далее светлый кружок — бассейн р. Светлая-Большая Пейя; темный кружок — бассейн р. Единка; темный треугольник — Уссурийский заповедник

накопление (относительно почвы) марганца, стронция, рубидия и цинка, но большее железа, никеля и кобальта.

8.3. Содержание химических элементов в коре ели аянской

Данные по химическому составу коры ели аянской крайне малочисленны. Деградирующие насаждения ели в коре накапливают меньше N, K, Mg, Fe, Ti, Li, но больше Ca, Sr, Zn, Pb (табл. 22). По сравнению с хвоей и корнями (табл. 21, 23), кора является аккумулятором таких элементов, как Ca, Ni, Al, Sr, Ti, Zn, Li, Co, Rb, Pb, вследствие того, что древесные растения могут обладать способностью вывода в нее избыточных концентраций металлов (Добровольский, Ржаксинская, 1976). В коре елей заметную аккумуляцию титана и стронция отмечал В.В. Добровольский (1983), а цинка (особенно в сухостойных деревьях) — П.В. Ивашов (1987).

Сопоставление полученных результатов с литературными данными (Бабурин, 1981) позволяет сделать вывод, что деградирующие ельники в отличие от ненарушенных содержат в коре больше Ca, Mn, Na, Ni, Al, Sr, Ti, Zn и Cu; меньше K и Mg и почти одинаковое количество Fe. Концентрация в

Таблица 22

Содержание химических элементов в коре ели аянской (% и мг·кг⁻¹ на абсолютно сухое вещество)

Элемент	Усыхающие древостои			Ненарушенные древостои		
	Бассейны рек Большая Пея и Единка		Уссурийский заповедник	Бассейны рек Большая Пея и Единка	Юг Дальнего Востока*	
	\bar{X}	S			\bar{X}	S
N(%)	0,44	0,05	0,46	0,49	н.а.	н.а.
K	0,07	0,02	0,15	0,14	0,27	0,08
Ca	1,78	0,17	2,73	1,78	1,24	0,09
Mg	0,05	0,004	0,08	0,08	0,09	0,04
Mn (мг·кг ⁻¹)	1260	365	300	1500	700	200
Na	205	52	440	800	60	20
Fe	81	27	340	460	80	20
Ni	2,5	0,3	3,4	5,9	1,2	1,1
Al	171	41	710	840	60	30
Sr	108	16	324	84	65	22
Ti	42	26	35	141	4,5	4,1
Zn	82	13	87	53	9,5	3,5
Cu	3,8	0,4	6,4	6,3	1,7	0,6
Li	0,7	0,1	0,7	0,8	н.а.	н.а.
Co	1,3	0,2	1,9	н.а.	н.а.	н.а.
Rb	3,7	0,2	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.
Pb	3,6	0,7	10,4	4,4	н.а.	н.а.

Примечание. * А.А. Бабурин (1981).

коре Zn из усыхающих древостоев превышает данные, приводимые В.А. Алексеенко (1992) для ели, растущей над рудным телом, и намного выше величин, приводимых А.А. Бабуриным для ненарушенных древостоев. Это указывает на то, что ель аянская в широколиственно-еловых и пихтово-еловых лесах, подверженных деградации, в значительных количествах накапливает в коре этот элемент.

Таблица 23

Содержание химических элементов в корнях ели аянской (% или мг·кг⁻¹ на абсолютно сухое вещество)

Элемент	Усыхающие древостои						Ненарушенные древостои	
	Бассейны рек Б. Пея и Единка				Уссурийский заповедник		Бассейны рек Б. Пея, Единка	
	тонкие корни		корни <10 мм		мертвые корни		тонкие корни	корни <10 мм
	\bar{X}	S	\bar{X}	S	тонкие	<10 мм		
K (%)	0,30	0,12	0,24	0,06	0,07	0,12	0,28	0,08
Ca	0,53	0,08	0,62	0,12	0,31	0,49	1,05	1,44
Mg	0,08	0,01	0,05	0,01	0,05	0,05	0,08	0,04
Mn (мг·кг ⁻¹)	692	216	610	52	306	410	13	17
Na	168	59	130	34	160	130	340	320
Fe	261	189	136	51	736	185	841	174
Ni	2,1	1,0	1,6	0,6	2,5	1,1	4,1	2,0
Al	428	208	187	60	1197	230	1800	404
Sr	46	7	68	22	45	64	157	188
Ti	91	112	46	57	97	164	536	16
Zn	42	12	45	10	42	45	51	51
Cu	4,8	1,4	4,1	2,6	4,7	2,4	5,0	3,4
Li	0,3	0,1	0,3	0,1	0,4	0,3	1,4	0,7
Co	0,8	0,3	0,8	0,1	1,0	0,6	1,9	1,2
Rb	1,6	0,7	1,4	0,4	0,3	0,7	1,6	0,1
Pb	3,7	0,5	1,8	0,4	5,3	1,8	4,0	5,2

Примечание. Здесь и далее н.ч.п. — концентрация элемента ниже чувствительности прибора.

Индекс биоаккумуляции (рис. 24) наиболее высок для Mn, Zn, Sr, Cu, Pb (бассейны рек Единка, Светлая—Большая Пея) и Sr, Mn, Zn, Cu, Pb (Уссурийский заповедник).

8.4. Содержание химических элементов в корнях ели аянской

Анализ тонких (диаметром около 1 мм) и более крупных (до 10 мм) корней показал, что тонкие корни накапливают K, Ca, Mg, Fe, Al, Ti, Cu, Li (табл. 23). Живые тонкие корни в ненарушенном ельнике содержат по срав-

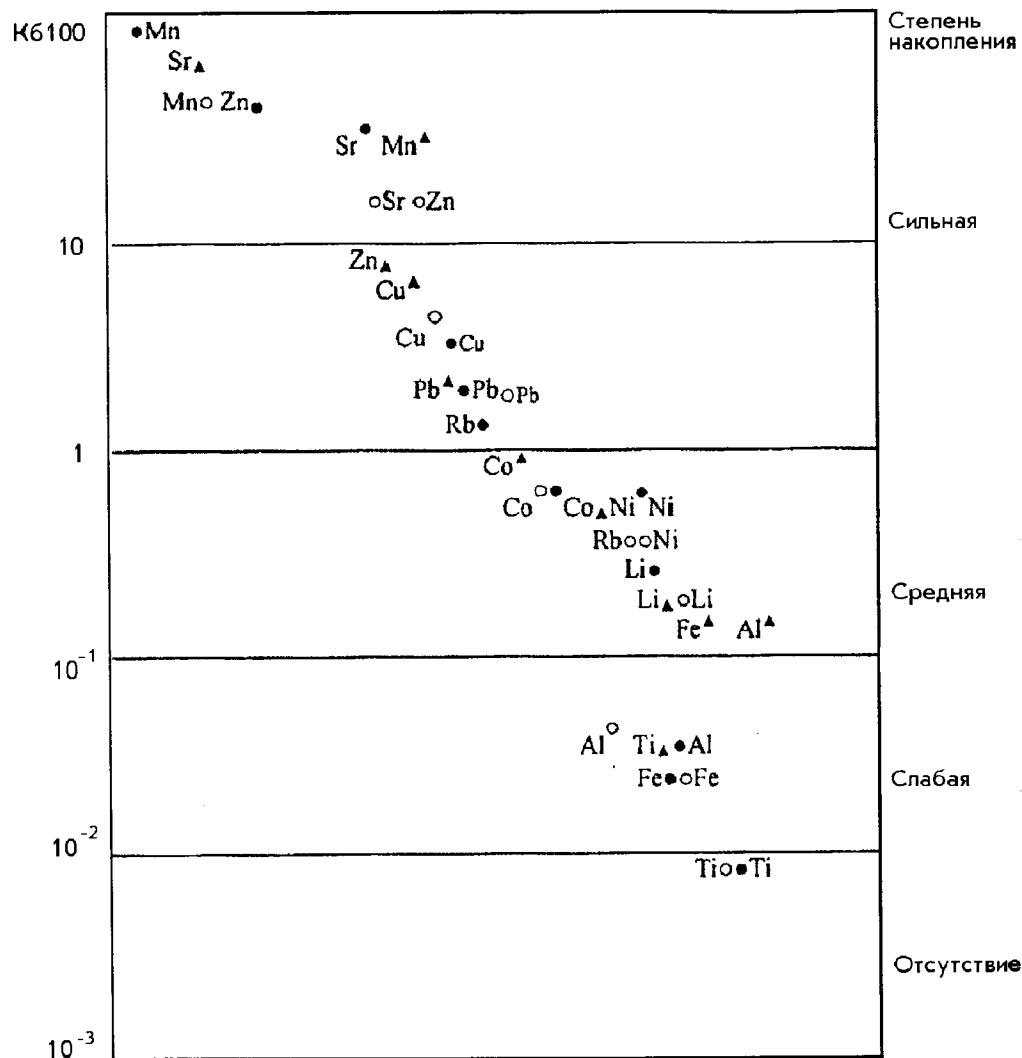


Рис. 24. Биоаккумуляция микроэлементов в коре ели аянской относительно почвы. Усл. обозначения см. рис. 23

нению с корнями из деградирующих древостоев больше натрия, железа, никеля, алюминия, цинка, меди и лития. Крупные корни соответственно аккумулируют больше натрия, железа, никеля и лития. Слабая подвижность и как следствие этого повышенное накопление в мертвых корнях характерны для Fe, Ni, Al, Ti, Co и Pb; содержание цинка и лития меняется незначительно. Обращает на себя внимание очень высокое накопление алюминия (до 3003 мг·кг⁻¹) в тонких корнях елей как в усыхающих, так и в ненарушенных древостоях. Это согласуется с данными об осаждении аморфных оксидов Al в клетках зрелых корней (April, Newton, 1992), а также с увели-

чением аморфных соединений Al и Fe на поверхности раздела корень—почва (Courchesne, Gobran, 1997). Из дефицитных элементов питания корни по сравнению с хвоей и корой запасают больше меди, что совпадает с имеющимися данными (Turvey, Grand, 1990). Индекс биоаккумуляции (рис. 25) показывает, что наиболее активно корнями поглощаются Mn, Zn, Sr, Cu (бассейны рек Большая Пея и Единка) и Mn, Cu, Sr, Zn (Уссурийский заповедник).

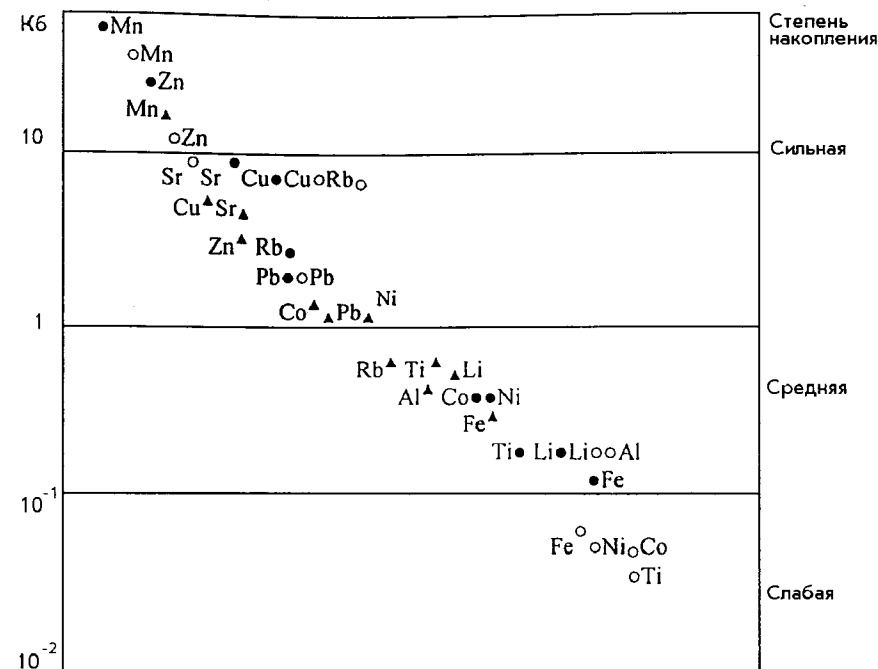


Рис. 25. Биоаккумуляция микроэлементов в корнях ели аянской относительно почвы. Усл. обозначения см. рис. 23

Изучение химического состава разных органов ели аянской позволило установить: ель испытывает острейший дефицит фосфора; на некоторых участках ощущается нехватка магния, кальция и азота; повышенное содержание марганца отмечено в усыхающих, а также в ненарушенных древостоях; потребление меди скорее всего недостаточное; хвоя из усыхающих древостоев накапливает максимальное количество цинка, а кора ели содержит больше кальция, марганца, натрия, никеля, алюминия, стронция, титана, цинка и меди, но меньше калия и магния; корням присуще высокое накопление алюминия.

8.5. Содержание химических элементов в зеленых мхах

В круговороте веществ в ельниках-зеленомошниках зеленые мхи играют более значительную роль, чем травянистые растения (Быковская, 1983). Моховой покров выполняет регулирующую роль в выносе различных элемен-

тов. Он способен активно поглощать из вод поверхностного стока дефицитные элементы питания (P, Co, Zn и др.), а высшие растения могут частично получать минеральные элементы из мохового охеса (Фокин, 1986). Мхи, являясь эффективной фильтрационной системой, конкурируют с корневыми системами сосудистых растений за элементы питания (Van Cleve, Dyrness, 1983). С травяным и моховым покровами связывают накопление в почве кремнезема, азота и фосфора (Мусорок, 1970; Сапожников, Мусорок, 1973). Моховой покров выравнивает и «гомогенизирует» почву, тем самым снимая ее неоднородность (Карпачевский, 1976).

В зоне усыхания пихтово-еловых лесов (бассейны рек Большая Пеля и Единка) уровни содержания во мхах цинка, меди, титана, марганца выше фоновых значений, полученных для Западного Сихотэ-Алиня Н.Е. Васильевым и А.Ф. Скрипченко (1972).

Концентрация Fe в 1,5–2,0, Al в 4–7 раз выше той, что приводит А.А. Бабурин (1981). Состав макроэлементов и мезоэлементов (Ca, Mg) в растительных образцах, отобранных в усыхающих и ненарушенных древостоях, варьирует незначительно (табл. 24). Основные отличия наблюдаются

Таблица 24

Содержание химических элементов в растительных образцах и мицелии (% или мг·кг⁻¹ на абсолютно сухое вещество)

Элемент	Усыхающие древостои (Бассейны рек Б. Пеля и Единка)				Ненарушенные древостои	
	мох		мицелий	валеж	мох	
	\bar{X}	S			Юг Дальнего Востока*	Бассейн Б. Пеля
N(%)	1,10	0,15	0,84	0,67	н.а.	1,19
K	0,51	0,16	0,58	0,04	0,51	0,68
Ca	0,61	0,25	0,17	0,19	0,36	0,62
Mg	0,10	0,01	0,17	0,20	0,10	0,11
Mn (мг·кг ⁻¹)	914	233	167	79	900	1091
Na	367	238	2190	190	600	770
Fe	902	479	8960	1410	580	1410
Ni	4,0	2,0	20,8	3,4	3,0	5,3
Al	2045	1098	34700	2730	490	3360
Sr	46	17	58	27	16	59
Ti	178	209	12083	670	478	489
Zn	44	31	42	10	н.а.	39
Cu	5,0	1,5	6,2	2,0	3,2	5,3
Li	1,9	1,2	10,0	2,7	н.а.	2,2
Co	1,0	0,9	12,9	1,1	н.а.	н.а.
Rb	3,5	1,2	2,8	0,2	н.а.	н.а.
Pb	6,1	1,9	20,8	2,8	н.а.	8,9
Cr	н.а.	н.а.	41,7	2,8	н.а.	н.а.
V	н.а.	н.а.	34,6	2,6	н.а.	н.а.

Примечание. * А.А. Бабурин (1981).

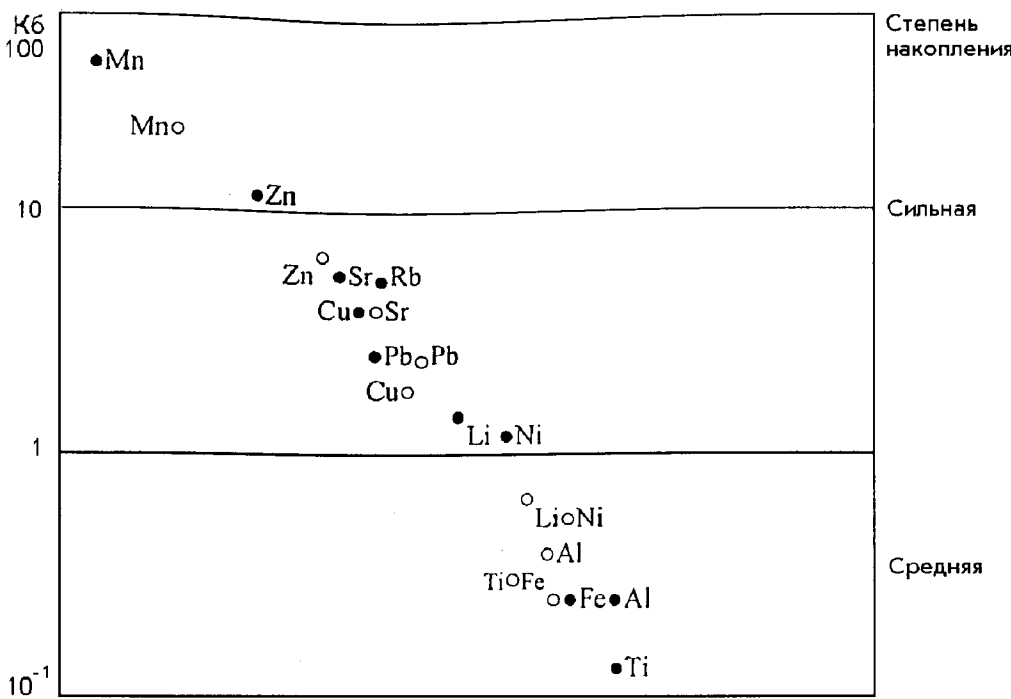


Рис. 26. Биоаккумуляция микроэлементов в зеленых мхах относительно почвы. Усл. обозначения см. рис. 23

в аккумуляции микроэлементов и калия. Среднее содержание титана, железа, алюминия, стронция, меди, лития и свинца в зеленых мхах из усыхающих пихтово-еловых лесов понижено, а цинка повышено. Индекс биоаккумуляции (рис. 26) наиболее высок для Mn, Zn, Sr, Rb. Варьирование химического состава мхов в большей степени зависит не от жизненного состояния лесов, а от ландшафтно-геохимических условий их произрастания.

8.6. Химический состав мицелия

Грибы и актиномицеты — организмы, наиболее устойчивые к высоким концентрациям микроэлементов. В почве пихтово-еловых лесов содержится огромная масса грибов, в отдельных случаях образующая губкоподобный горизонт, имеющий своеобразный химический состав. Элементы, входящие в него, в порядке убывания могут быть представлены следующим образом: Al>Ti>Fe>K>Na>Ca>Mg>Mn>Sr>Zn>V>Ni=Pb>Co>Li>Cu>Rb (табл. 24). Уникальностью этого биогоризонта является аккумуляция Al — 8,32, Ti — 2,90, Fe — 2,15 (% от золы); Zn — 100, Ni — 50, Co — 31, Mn — 400, V — 83, Cr — 100, Pb — 50, Li — 24, Cu — 15 (мг·кг⁻¹ от золы). Такое обогащение породообразующими элементами может быть обусловлено и тем, что мицелий содержит большое количество минеральных почвенных частиц.

Кларки концентрации Ti, Pb, Co, Zn и Al соответственно равны 6,4; 3,1; 1,7; 1,2; 1,0.

8.7. Химический состав валежа

В пихтово-еловых лесах (особенно усыхающих) накапливается огромная масса валежа, что дает основание А.П. Сапожникову говорить о формировании в ельниках валежной подстилки (Почвообразование..., 1993). Под воздействием микроорганизмов, грибов, осадков, насекомых и прочих агентов валеж приобретает аморфное состояние и имеет отличный от живой древесины химический состав. Полученные данные (табл. 24) свидетельствуют о высоком содержании в нем азота, магния и кальция. Из микроэлементов преобладают алюминий, титан и железо. По сравнению с живой древесиной (Бабулин, 1981) в валеже в процессе его разложения увеличивается накопление кальция в 4; магния в 33; алюминия в 90; железа в 140; цинка в 25; стронция в 14; натрия в 10; меди в 3 раза. Следовательно, в процессе разложения валежная древесина обогащает почву железом, алюминием, магнием, цинком, стронцием, натрием и медью.

8.8. Особенности круговорота веществ

Круговорот веществ в зеленомошных и моховых пихтово-еловых лесах осуществляется в кислой и сильнокислой среде. Количественные параметры его и темпы тесно связаны с возрастной динамикой древостоев, определяющей состав насаждений, развитие нижних ярусов растительности, а также величину и состав опада и отпада. В девственных лесах при естественном их развитии процессы отпада и прироста древесины относительно сбалансированы. При массовом усыхании пихтово-еловых лесов происходит дестабилизация обмена веществом и энергией, выражающаяся в темпах круговорота и процессах подкисления-раскисления почв, а также в объеме продуктов, участвующих в этом процессе.

Жизненное состояние биогеоценозов темнохвойной тайги и круговорот веществ в них в значительной степени зависят от мохового покрова. С увеличением в напочвенном покрове доли мхов усиливается накопление подстилки, что приводит к ослаблению разложения опада и повышению перегнойности и торфянистости горизонта 0 (Зонн, Урушадзе, 1974). Моховой покров, обладая высокой кислотностью, подкисляет верхние почвенные горизонты (Зонн и др., 1963; Пшеничникова, 1987). С уменьшением в напочвенном покрове доли мхов и увеличением доли травянистых растений наблюдается снижение кислотности в верхней части профиля и возрастание в органическом веществе гуминовых кислот (Хавкина, 1968, 1972; Пшеничникова, 1987). Пышное развитие мхов в еловых древостоях в значительной мере контролирует круговорот веществ; с одной стороны, это выражается в замедлении циркуляции минеральных веществ (Van Cleve, Dyrness, 1983), а с

другой — ведет к снижению выноса элементов питания за пределы экосистемы (Фокин, 1986). Мхи (особенно сфагновые) также ухудшают водно-физические параметры почвы, замедляя её оттаивание, а в условиях затрудненного водообмена усиливая накопление влаги. Нарушение целостности или разрушение мохового покрова сопровождается повышением температуры корнеобитаемого слоя, что обуславливает формирование более продуктивных древостоев (Бузыкин, 1983; Van Cleve, Dyrness, 1983).

Валежная древесина также подкисляет почвенные горизонты: рН валежных растительных остатков равен 3,0–3,6 (Соловьев и др., 1992; McFee, Stone, 1966). В слоях гумуса валежная древесина может находиться столетие и больше. В составе подстилки в девственных лесах валеж может составлять от 14 до 30 % (McFee, Stone, 1966). Л.О. Карпачевский с соавторами (1996) оценивают роль валежа в создании стабильного режима влажности. На сухих местообитаниях валеж благоприятен для развития древесных пород (Harvey et al., 1980), но на влажных участках он может быть вредным для корней растений (Loopstra et al., 1988).

Вероятно, все эти негативные последствия длительного произрастания ели на одних и тех же местообитаниях имел в виду Б.Ф. Говоренков (1966), когда он говорил о токсичности почв, которая может выступать в качестве вероятной причины усыхания темнохвойных лесов.

Все рассматриваемые почвы испытали в прошлом воздействие пожаров. Динамика хвойных лесов (особенно еловых) показывает, что эти системы стабильно развиваются только тогда, когда поток энергии находится в движении, благодаря чему предотвращается связывание элементов питания в грубый гумус. Пожары в таежных экосистемах стимулируют обмен веществом и энергией (Schmidt-Vogt, 1983).

В результате интенсивного усыхания пихтово-еловых древостоев происходит залповое поступление отмершей хвои и относительно быстрое нарастание участия в опаде и отпаде других древесных компонентов (кора, сучья, стволы и их части). В очагах усыхания с давностью более 10 лет на почву попадает огромное количество отмершей древесины, скорость разложения которой зависит от размеров дерева и его состояния. В почву с отмершей древесиной в относительно короткий срок может поступать до 500 кг-га⁻¹ азота и зольных элементов, представленных в основном элементами-биофилами. По мере усыхания древостоя под действием грибов и микроорганизмов возрастает интенсивность разложения подстилки, запасы которой на пробных площадях колеблются от 42 до 138 т-га⁻¹; это дополнительно включает в круговорот значительное количество «законсервированных» в подстилке элементов. В подстилке преобладающими элементами являются N, Si, Ca и Al; на переувлажненных местообитаниях концентрация Si, N, Al, Ca, P и Fe увеличивается в 2–4 раза. Одновременно с усыханием древостоя изменяются состав и развитие нижних ярусов: на участках с распавшимся древостоем отмирают мхи и разрастаются вейник, малина, кипрей, осоки и другие виды и мозаично развивается дерновый процесс.

Ускорение разложения подстилки, прогревание корнеобитаемого слоя, развитие дернового процесса положительно влияют на круговорот веществ и

ГРИБНЫЕ БОЛЕЗНИ И НАСЕКОМЫЕ В ОЧАГАХ УСЫХАНИЯ

9.1. Грибные болезни

На определенную роль дереворазрушающих грибов в усыхании пихтово-еловых лесов неоднократно указывали Л.В. Любарский (1955, 1964) и другие исследователи. Иногда грибные болезни, по мнению Любарского, выступают в числе главных причин усыхания темнохвойных лесов. Степень повреждения древостоев гнилями хорошо коррелирует с их возрастом и особенностями местообитания (на переувлажненных местообитаниях, где складываются неблагоприятные условия увлажнения и дренажа, а также на холодных почвах деревья повреждаются сильнее). Наиболее интенсивно поражается стволовыми гнилями пихта. Высокую зараженность деревьев ели и пихты дереворазрушающими грибами в очагах усыхания в правобережном Приамурье отметил В.П. Цуранов (1975); по его данным, среди живых елей зараженные деревья составляли от 40 до 100%, а среди пихты — от 38 до 85%. При рекогносцировочном обследовании в 1995 г. усыхающих пихтово-еловых лесов, произрастающих на платообразном водоразделе рек Илистая—Артемовка, была отмечена высокая пораженность (до 60%) крупных стволов ели гнилями.

Основным возбудителем гнили у ели аянской в Центральном Сихотэ-Алине выступает *Phellinus pini* var. *abietis*; плодовые тела этого гриба отмечены на деревьях разного размера. Заслуживают упоминания *Phacolus schweinitzii* (Fr.) Pat., *Heterobasidion annosus* (Fr.) Bref. и *Fomitopsis pinicola*. На вырубках даже на пнях молодых деревьев ели в массе появляются плодовые тела *Armillariella mellea*, что свидетельствует о повсеместном наличии грибки этого вида в почве.

Пастушью пихту наиболее часто повреждает *Phellinus hartigii* (All. et Schnabl.) Bond., реже *Phaeolus schweinitzii*.

Плодовые тела грибов на живых деревьях ели и пихты встречаются нечасто, однако на усохших, а особенно на валежных стволах, они имеются постоянно. Видовой состав грибов на отмерших деревьях ели и пихты в обследованных очагах усыхания не отличается оригинальностью; наиболее распространенные виды *Fomitopsis pinicola*, *Hapalopilus fibrillosus* (Karst.) Bond. et Sing., *Hirschioporus abietinus* (Dicks.) Donk, *H. fusco-violaceus* характерны для темнохвойных лесов почти всей лесной территории Дальнего Востока (Любарский, Васильева, 1975).

сопровождается увеличением микробиологической активности, влажности, температуры и щелочности в верхних горизонтах почвы (Jurgensen et al., 1990; Johnson et al., 1985). Подстилка, перемешанная с минеральными горизонтами при распаде древостоя, разрушается микроорганизмами более быстро, чем ненарушенная (Salonius, 1983).

Полное разрушение валежных стволов продолжается 30 и более лет (Молчанов, 1968). По мнению В.Г. Стороженко (1990), разложение валежника ели проходит 5 стадий и укладывается в 60–70 лет. Для аморфного валежа ели аянской характерно высокое содержание элементов (N — 0,67, Mg — 0,20, Ca — 0,19, в % на сухое вещество). Накопление в очагах усыхания отмершей хвойной древесины и значительные запасы подстилки оказывают и негативное воздействие на лесорастительные условия (подкисление верхних горизонтов почвы, нарушение баланса питательных веществ вследствие выщелачивания элементов); чрезмерная аккумуляция гниющей древесины может сопровождаться дефицитом азота для живых деревьев. Разложение огромной массы отмершей древесины приводит к высвобождению депонированного древесиной углерода.

В связи с гибелью древостоя практически прекращается поступление компонентов древесного опада; сохранившийся тонкомер и начавший интенсивный рост подрост ели и пихты в первые десятилетия не дают такого количества древесного опада, которое способно повлиять на круговорот веществ.

С экологической точки зрения массовое усыхание пихтово-еловых лесов сопровождается существенным изменением биоценотической и гидроклиматической обстановки, накоплением в огромном количестве горючих материалов, ухудшением на обширной площади санитарных условий, возрастанием поглощения кислорода в процессе разложения растительных остатков и выделением углекислого газа.

В условиях Дальнего Востока лесохозяйственные усилия должны быть направлены на снижение доли темнохвойных лесов высокого возраста в сложении лесного фонда и создание смешанных древостоев с участием лиственных пород. Это предотвратит резкое нарушение круговорота веществ вследствие массового отмирания лесов, а также будет препятствовать образованию грубого гумуса. Проведение лесохозяйственных мероприятий (рубки главного и промежуточного пользования, лесные культуры) следует направлять на формирование смешанных разновозрастных лесов, отличающихся наибольшей устойчивостью к стрессовым ситуациям различного рода; необходимо своевременно убирать из древостоев старую часть популяции путем проведения выборочных и длительно-постепенных рубок (Манько, 1990; Манько, Гладкова, 1995). Ускорение темпов круговорота веществ в темнохвойных экосистемах будет способствовать их устойчивости и должно сопровождаться повышением их продуктивности.

Состояние живых экземпляров ели аянской и пихты белокорой в очагах усыхания
(по: Манько, Азбукина, 1992)

Тип леса, номер пробной площади	Порода	Год учета	Всего живых деревьев, шт.	Всего здоровых деревьев, %	Количество пораженных деревьев, %		
					<i>Coniothyrium conorum</i>	<i>Darkera abietis</i>	<i>C. conorum</i> + <i>Chrysomyxa ledi</i>
Папоротниково- зеленомошный, 3-1989	Ель аянская	1989	187	34,8	48,7	-	-
		1991	186	2,7	93,5	-	-
	Пихта бело- корая	1989	52	28,8	-	50,0	-
		1991	45	0	-	95,6	-
Мелкотравно- зеленомошный, 6-1989	Ель аянская	1989	113	45,2	23,0	-	-
		1991	92	17,4	64,1	-	-
	Пихта бело- корая	1989	41	26,8	-	31,7	-
		1991	35	20,0	-	51,7	-
Смилациново- моховой, 1-1990	Ель аянская	1990	185	73,0	-	-	1,1
		1991	182	9,9	-	-	83,0
	Пихта бело- корая	1990	92	45,6	-	34,8	-
		1991	87	4,6	-	88,5	-
Мелкотравно- зеленомошный, 3-1990	Ель аянская	1990	79	82,3	-	-	1,3
		1991	73	9,6	-	-	86,3
	Пихта бело- корая	1990	98	68,0	-	5,2	-
		1991	99	3,0	-	92,9	-

Примечание. Прочерк означает отсутствие пораженных деревьев.

ассимилирующих органов особей, ослабленных резкой сменой условий среды вследствие усыхания господствующей части древостоя) факторов, а чаще всего они действуют на всех этапах деградации и усыхания древостоев.

9.2. Насекомые

Роль насекомых в усыхании пихтово-еловых лесов на российском Дальнем Востоке до настоящего времени оценивается неоднозначно. А.И. Куренцов (1950а) считал, что насекомые, наряду с грибами, могут выступать основной причиной усыхания пихтово-еловых лесов, приводя к единичному и групповому отмиранию деревьев. Специальное лесопатологическое обследование в бассейнах рек Большая Пея и Единка, проведенное Московским специализированным лесоустроительным предприятием в 1990–1992 гг., позволило сделать вывод, что очагов массового размножения хвоегрызущих насекомых в этих бассейнах нет, а стволовые вредители первопричиной усыхания лесов не являются. По их данным и нашим наблюдениям, все усохшие стволы ели и пихты отработаны насекомыми (короедами и усачами; среди последних преобладает *Monochamus urussovi* Fisch). В результате этого отмершие стволы быстро теряют технические свойства, чему способствует также занос личинками усачей грибной инфекции в глубь дре-

В усыхании пихтово-еловых лесов определенную роль играют грибные инфекции, поражающие ассимиляционный аппарат хвойных растений. На наличие грибных заболеваний хвои в очагах усыхания пихтово-еловых лесов в регионе обычно не обращали особого внимания.

При перечете древостоев на постоянных пробных площадях деревья, имеющие в заметных количествах бурую и желтую хвою в кроне, учитывались отдельно. Оказалось, что значительное количество деревьев ели и пихты имело изменившую цвет хвою. Было установлено, что побурение и пожелтение хвои вызвано воздействием некоторых паразитических грибов (Манько, Азбукина, 1992). В большинстве случаев пожелтение хвои ели было обусловлено *Coniothyrium conorum* Sacc. et Roum., который в европейской части страны вызывает массовое усыхание хвои, молодых веточек и шишек (Черемисинов и др., 1970); на Дальнем Востоке этот гриб отмечен впервые.

Часто на хвое ели развивался ржавчинный гриб *Chrysomyxa ledi* (Alb. et Schw.) d By., распространенный по всему ареалу ели аянской и представляющий опасность для подроста и молодых деревьев, а также для молодых побегов на старых особях; он вызывает массовое поражение хвои (Азбукина, 1974). Несколько реже встречался на побегах текущего года *Ch. woroninii* Tranz.

Пихта белокорая была сильно заражена грибом *Darkera abietis* Whitney, Reid et Piroz., впервые обнаруженным в нашей стране; этот вид известен на *Abies balsamea* (L.) Mill. в Канаде и на *A. concolor* (Gord. et Glend.) Lindl. в США.

Состояние живых деревьев ели и пихты в очагах усыхания рассмотрим на примере постоянных пробных площадей, заложенных в разных бассейнах (табл. 25). Обращают на себя внимание такие факты: 1) степень повреждения деревьев в различных бассейнах была разная — в 1989 г. ассимиляционный аппарат ели и пихты был сильнее заражен в бассейне р. Большая Пея, 2) очень быстрое увеличение количества деревьев ели и пихты с хвоей, пораженной паразитными грибами; например, в 1990 г. доля пораженных экземпляров ели в бассейне р. Единка составляла чуть больше 1%, а в 1991 г. она превышала 80%.

Грибные повреждения хвои очень характерны и для подроста, в результате у многих особей усыхают нижние ветви; на них обнаружен *Phaeocryptopus nudus* (Peck) Petrak. Изменение цвета хвои связано с развитием гриба *Rhizothyrium abietis* Naumov. О степени повреждения подроста дает представление постоянная пробная площадь 1-1990, заложенная в смилациново-моховом пихтово-еловом лесу, где 54% подроста ели и почти 97% пихты имели в кроне изменившую цвет хвою, в том числе 31–35% особей имели усохшие нижние ветви. Размещен поврежденный подрост чаще группами; мелкие особи ели, растущие на трухлявых валежинах, в основной массе не имели желтой хвои. На сухой подрост, в который входили экземпляры разной высоты, приходилось менее 3% от общего количества подроста.

В целом дереворазрушающие грибы и патогены, повреждающие ассимиляционный аппарат, не играют главенствующей роли в массовом усыхании пихтово-еловых лесов и выступают в качестве предрасполагающего (ослабление высоковозрастных древостоев в результате повреждения гнилями корневой системы и стволов деревьев) либо сопутствующего (поражение

весины. В очагах усыхания постоянно отмечаются попытки поселения стволовых вредителей на ослабленные деревья ели и пихты, о чем свидетельствуют натёки смолы на коре; нередко случаи повреждения подроста усачом во время его дополнительного питания.

Среди стволовых вредителей, постоянно действующих в очагах усыхания пихтово-еловых лесов, следует обратить внимание на *Ips typographus* L. По данным Г.И. Юрченко (1999), во всех случаях сплошного усыхания и нередко в очагах группового и куртинного усыхания происходит массовое размножение короеда-типографа. В результате этого отмирание деревьев идет по стволвому типу, при котором зона поселения короеда-типографа начиналась на высоте 1,5–3 м и составляла 5–12 м. Размножению короеда способствовало ослабление древостоев засушливой погодой.

Н.Е. Рыбаков (1993) выделил в очагах массового усыхания два типа отмирания ели. В первом случае поселение вредителей происходит только в верхней части ствола и сопровождается покраснением хвои. Во втором — гибель луба и поселение вредителей осуществляется в центральной части ствола; при этом хвоя имеет матовый серовато-зеленый цвет. Однако какой тип отмирания преобладает в массивах усохших пихтово-еловых лесов в настоящее время неясно.

Накопленные к настоящему времени материалы позволяют рассматривать насекомых как сопутствующий фактор в усыхании пихтово-еловых лесов в регионе, играющий очень важную, а нередко определяющую роль в динамике очагов усыхания. Насекомые (в том числе и хвоегрызущие) интенсифицируют свою деятельность после воздействия сильных стрессовых факторов, ослабляющих древостой или отдельные древесные породы. В частности, с засушливыми годами Г.И. Юрченко (1999) связывает повышение численности в Приамурье хвоегрызущих вредителей — пихтовой листовертки *Choristoneura murinana* и пяденицы *Erannis jacobsoni*. Под влиянием этих насекомых в спелых и перестойных древостоях происходит усыхание деревьев в основном пологие древостоя, а также ухудшение состояния подрост ели и пихты (Юрченко и др., 1996). Вредоносность этих видов возрастает при воздействии стволовых вредителей и других неблагоприятных факторов. В свою очередь повреждение ассимиляционного аппарата листоверткой и пяденицей приводит к ослаблению деревьев, что способствует поселению на них короеда-типографа.

В целом под влиянием насекомых формируется и «функционирует» очаг усыхания; в этот губительный процесс вовлекаются все новые деревья и группы их; очаг расширяет свои границы, часто смыкаясь с другими очагами и охватывая значительные площади. Угасает очаг под влиянием насекомых, паразитирующих на стволовых и листвогрызущих вредителях, а также под влиянием бактерий и грибов. Это общие соображения о роли насекомых в массовом усыхании пихтово-еловых лесов; к сожалению, ни в одном очаге усыхания этих лесов на Дальнем Востоке не проведено длительных наблюдений над динамикой и составом насекомых на разных стадиях этого процесса.

Глава 10

ДИНАМИКА УСЫХАНИЯ ПИХТОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ

10.1. Погодно-климатические условия

Погодно-климатическая обстановка в районе мониторинга усыхания пихтово-еловых лесов отличается нестабильностью основных параметров — температуры и осадков. По данным метеостанции Сосуново, за период 1970–1994 гг. годовое количество осадков колебалось от 385 (1978 г.) до 925 (1971 г.) — 1162 мм (1984 г.) при среднегодовом их количестве в 585 мм. Наименьшее количество осадков за май–сентябрь (259–263 мм) поступало в 1978, 1979 и 1988 гг., что составляло 66–67% от средней нормы за этот период. В отдельные годы крайне малое количество влаги выпадало в июле. Так, в 1990 и 1993 гг. осадки в этом месяце составляли всего 16,2 и 19,2% от среднемесячной нормы.

Среднегодовая температура на станции Сосуново (1,8°C — средняя многолетняя) колебалась за этот период от 1,4 (1977 г.) до 3,6°C (1990 г.); средняя температура самого теплого месяца (август, 16,3°C) достигала 18,3°C (1989 г.) — 18,9°C (1994 г.); средняя температура самого холодного месяца (январь, средняя многолетняя –13,4°C) имела наиболее низкое значение в январе 1977 г. (–16,8°C), а наиболее теплым этот месяц был в 1991 г. (–8,1°C). Максимальная температура поверхности почвы в отдельные месяцы по данным «Научно-прикладного справочника...» (1988) достигала 40°C (май 1972 г.) — 53°C (июль 1984 г.), а максимальная температура воздуха 31°C (май 1972 г.).

Дефицит влажности воздуха, который является ярким показателем условий жизнедеятельности темнохвойных пород, также подвержен очень резким колебаниям (рис. 27). Например, в мае 1972 г. он превышал среднюю многолетнюю величину почти в 2 раза, в 1985 г. — на 85,6%, в 1989 и 1990 гг. — на 43–52%. В июне наиболее высокие показатели величины недостатка насыщения отмечены в 1978 и 1979 гг. — они превышали среднюю многолетнюю величину на 69 (1979 г.) — 100% (1978 г.). В отдельные годы более сухие условия были характерны для мая и июня. Так, в 1972, 1978, 1985 и 1989–1991 гг. дефицит влажности воздуха в эти месяцы был повышен; в 1972 и 1978 гг. он был больше почти на 60% по сравнению со средней многолетней. В течение всего вегетационного периода (май–август) недостаток насыщения в 1972 и 1978–1979 гг. был выше среднего на 44–56%.

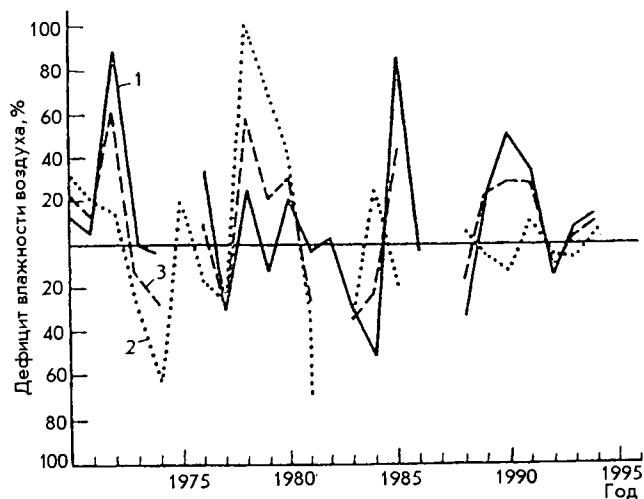


Рис. 27. Дефицит влажности воздуха (% от средней многолетней) в мае (1), июне (2) и в мае-июне (3), по данным станции Сосуново. Прерывистость линии из-за отсутствия данных

Приведенные данные позволяют выделить неблагоприятные годы для темнохвойных пород, весьма требовательных к условиям атмосферного увлажнения; это 1972, 1978, 1985 и 1989 гг. с отчетливо выраженным засушливым периодом в начале вегетации; в целом неблагоприятная обстановка по условиям увлажнения воздуха в течение всего вегетационного периода складывалась в 1972, 1978–1979 гг. Неблагоприятная обстановка для темнохвойных лесов в начале 1970-х годов складывалась и на сопредельных территориях. По мнению А.А. Кошкарева с соавторами (1983), исследовавших пихтово-еловые леса в верховьях р. Большая Уссурка, в 1971–1972 гг. начался новый засушливый период.

В числе неблагоприятных факторов для лесной растительности в регионе надо назвать глубокое промерзание почв и медленное освобождение их от мерзлоты в начале вегетационного периода. К сожалению, регулярных наблюдений над промерзанием и оттаиванием почв не проводилось. Наличие сезонной мерзлоты в пределах корнеобитаемого слоя нами было отмечено в июне 1992 г. Медленное оттаивание почв в начале вегетации растений в сочетании с жаркой и сухой погодой создает стрессовую обстановку для темнохвойных пород.

Наверное, определенное значение для темнохвойных лесов имеют глубина снежного покрова и время его выпадения. В отдельные годы толщина снега на плато превышала 2 м (1988 г.). Однако становление устойчивого снежного покрова происходит значительно позже устойчивых морозов, вызывающих промерзание почв; обычно снег ложится на мерзлую землю.

Приведенные материалы свидетельствуют об очень широкой флуктуации параметров погодно-климатической обстановки, достигающих в отдель-

ные годы критических величин, при которых, например, по данным А.Д. Маслова (1972), происходит усыхание лесов из *Picea abies* в европейской части России. В частности, если исходить из придержек, приведенных Масловым, условия увлажнения были критическими для темнохвойных лесов района мониторинга в 1972 и в 1978–1979 гг. и были близки к ним в мае 1985, 1989 и 1990 гг. (превышение дефицита влажности воздуха в 1985 г. почти на 86%, а в 1989–1990 гг. на 43–52% по сравнению с многолетней величиной).

Следует обратить внимание на то, что резкого иссушения корнеобитаемого слоя почв даже в сухие периоды по условиям атмосферного увлажнения на плато не происходило. Стрессовая ситуация для темнохвойных пород создавалась, по-видимому, в результате затруднения в достаточном обеспечении влагой интенсивно транспирирующих растений. Причиной этому могло быть медленное оттаивание почв в начале вегетационного периода, когда сухая солнечная погода вызывала повышенный расход влаги на транспирацию растениями, находящимися, прежде всего, в верхнем пологе древостоя. Стрессовую ситуацию могло вызвать очень малое количество осадков в июле, как это было в 1990 г.; осенью в этот год под усохшими деревьями был слой опавшей сухой хвои серовато-зеленого цвета; гибели хвои мог способствовать и высокий недостаток насыщения влагой в мае этого года, превышающий средний многолетний на 52%. В целом нарушение водного баланса, возможно, приводило к таким ситуациям, при которых водный потенциал хвои достигал летальных значений (Орлов, 1996).

В подтверждение ведущей роли атмосферного увлажнения в развитии стрессовой ситуации для темнохвойных пород можно привести высокую сохранность подроста, корневая система которого также размещена в поверхностных горизонтах почвы. Если бы происходило иссушение корнеобитаемого слоя, то та часть подроста, корневая система которого находится в минеральной части почвы (а не в гниющей древесине), пострадала бы от усыхания, как это ранее наблюдалось в европейской части России (Тимофеев, 1939, 1944; Васильев, 1941), где усыхал и подрост. Отсутствие в очагах усыхания участков с погибшим подростом все-таки свидетельствует о том, что в гибели древостоев повинны резкое нарушение атмосферного увлажнения и дисбаланс в снабжении растений влагой.

10.2. Химический состав твердых осадков

В связи с мониторингом усыхания пихтово-еловых лесов и поисками возможных причин этого явления в 1989–1991 гг. в районах их произрастания были отобраны образцы снега. К этому нас подтолкнуло высказанное Э. Фреем мнение, что усыхание лесов на российском Дальнем Востоке обусловлено поллютантами, поступающими сюда из развитых стран Юго-Восточной Азии.

Таблица 27

Содержание химических элементов в твердых атмосферных осадках (1990 г., мг·л⁻¹)

Пункт отбора снега	pH	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Sn	Ba	Ni
Уссурийский запо- ведник	5,46	2,39	1,39	0,86	0,20	0,05	0,10	0,010	0,006	0,008	0,005	0,048	0,006
Верховья р. Шко- товка	5,16	0,74	0,50	0,98	0,23	0,02	0,05	0,007	0,006	0,003	0,005	0,129	0,002
Водораздел рек Пар- тизанская—Арсень- евка	4,55	0,82	0,62	1,05	0,21	0,08	0,03	0,006	0,021	0,002	0,005	0,012	0,0004
Верховья р. Павлов- ка	5,34	3,12	1,87	3,13	0,29	0,04	0,03	0,022	0,030	0,004	0,010	0,005	0,002
Водораздел рек Руд- ная—Б. Уссурка	4,69	5,19	0,24	0,83	0,11	0,04	0,04	0,001	0,004	0,003	0,0004	0,042	0,006
Окрестности пос. Пластун	5,48	4,76	2,49	1,12	0,22	0,04	0,05	0,009	0,008	0,008	0,007	0,016	0,003
Окрестности пос. Терней	4,86	1,59	0,80	0,26	0,12	0,02	0,02	0,009	0,008	0,001	0,003	0,016	0,001
Водораздел рек Джигитовка—Б. Ус- сурка	4,69	2,23	1,44	1,03	0,20	0,03	0,03	0,015	0,026	0,006	0,005	0,008	0,005
Окрестности пос. Роцино	4,35	0,80	1,14	1,03	0,20	0,04	0,06	0,017	0,016	0,003	0,005	0,016	0,002
Бассейн р. Соколов- ка, ВУС стационар	4,65	0,44	0,83	1,23	0,20	0,02	0,03	0,014	0,016	0,003	0,005	0,012	0,005
Бассейн рек Свет- лая—Б. Пея	4,58	2,41	0,23	0,32	0,09	0,03	0,04	0,003	0,010	0,001	0,002	н.а.	0,001
Окраина плато в 17 км от моря	4,57	0,80	0,25	0,32	0,09	0,02	0,04	0,002	0,080	0,001	0,002	0,016	0,001
Зона усыхающих лесов в 40 км от моря	4,48	2,23	1,60	1,75	0,24	0,50	0,01	0,04	0,014	0,002	0,008	0,032	0,004

Примечание. Количество Rb, Bi, Co, Ti, In, Cd, Li, Pb меньше концентрации обнаружения.

Таблица 28

Содержание химических элементов в твердых атмосферных осадках (1991 г., мг·л⁻¹)

Пункт отбора снега	pH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca	Mg	K	Na	Si	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Общая минера- лизация
Долина р. Светлая в 2 км от моря	5,40	7,35	10,98	0,75	0,38	1,66	2,59	0,17	0,09	0,10	0,013	0,002	0,044	48,25
Окраина плато в 18 км от моря	5,37	2,24	10,98	0,27	0,08	0,21	0,56	0,07	0,06	0,07	0,003	н.а.	0,024	36,50
Зона усыхающих лесов в 52 км от моря	5,45	2,94	10,98	0,86	0,24	0,83	1,44	0,25	0,11	0,14	0,013	0,006	0,033	38,50

Примечание. Количество Li, Co, Pb, Ni, Ti, Cd, Ba, Rb меньше концентрации обнаружения.

При почвенно-химическом мониторинге рекомендуется проводить отбор проб в холодный период, так как химический состав твердых осадков является более реальным из-за меньшего трансформирующего влияния растительности и меньшего загрязнения осадков почвенными частицами (Мотузова, Садовникова, 1990; Добровольский, Мельчаков, 1990). Также полагают, что анализ образцов, взятых к концу устойчивого снежного покрова, позволяет получить представление о загрязнении территории за длительный период (Василенко и др., 1985). Основной привнос веществ из атмосферы на подстилающую поверхность осуществляется, как правило, атмосферными осадками, содержащими различные примеси. Характер примесей обусловлен районом, где формируется облачность: над океаном наибольший вклад в минерализацию осадков вносят морские соли, а в промышленных — поллютанты промышленного происхождения. Перенос загрязняющих веществ в район исследований зимой может осуществляться из континентальных районов азиатского материка. Однако обильные снегопады, наблюдающиеся почти ежегодно, нередко являются следствием перемещения воздушных масс из южных широт и охлаждения их над континентом. Влияние летнего муссона, формирующегося над Тихим океаном, хотя и быстро угасает с удалением от побережья, четко прослеживается в осевой части Сихотэ-Алиня. Кроме того, тайфуны, ежегодно проникающие в Приморье и Приамурье, могут переносить загрязняющие вещества из промышленно развитых стран Юго-Восточной Азии.

Образцы снега в разные годы отбирались в различных точках Приморского края, поэтому химический состав снеговых вод за каждый год приводится в отдельной таблице (табл. 26—28).

Как показывают полученные данные, снеговая вода имеет преимущественно кислую реакцию, хотя в ряде случаев кислотность ее близка к нейтральному значению, величина которого в химии атмосферы принята в 5,6

Таблица 26

Содержание химических элементов в твердых осадках (1989 г., мг·л⁻¹)

Пункт отбора снега	pH	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Sr	Ba	Pb	Ni
Бассейн р. Соколовка, ВУС стационар	5,73	6,01	0,83	4,00	0,40	0,32	0,28	0,03	0,09	0,003	0,02	0,01	0,08	0,002
Водораздел рек Пар- тизанская—Арсеньевка	5,86	1,32	3,00	3,91	0,45	0,16	0,28	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,08	0,004
Водораздел рек Руд- ная—Большая Уссурка	5,87	2,33	1,31	3,69	0,36	0,18	0,04	0,05	0,42	0,01	0,01	0,06	0,05	0,004
Бассейн рек Светлая— Большая Пея	4,80	3,41	0,38	0,55	0,31	0,04	0,05	0,01	0,04	0,01	0,06	н.а.	н.ч.п	н.ч.п
Окраина плато в 17 км от моря	4,79	1,24	1,03	0,25	0,09	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,002	н.а.	н.ч.п	н.ч.п
Зона усыхания лесов в 40 км от моря	4,92	0,71	0,16	0,25	0,04	0,06	0,04	0,01	0,06	0,01	0,002	н.а.	н.ч.п	н.ч.п

(Smith, 1981; Кислотные дожди, 1989; Хорват, 1990). Кислотность воды варьирует не только в зависимости от места отбора образца, но и по годам. Так, снег, отобранный в верховьях р. Соколовка, а также на водоразделах рек Партизанская–Арсеньевка и Рудная–Большая Уссурка в 1990 г. был заметно кислее, чем в предшествующем. В бассейне р. Светлая в зоне усыхающих пихтово-еловых лесов рН твердых осадков в годы наблюдений колебался от 4,48 до 5,45, причем менее кислый снег был в 1991 г.

Полученные величины рН снеговой воды ниже фоновых. Так, по данным А.Н. Качура (1976), В.М. Шулькина (1981), П.В. Елпатьевского (1976) и В.С. Аржановой, П.В. Елпатьевского (1990), фоновая кислотность для прибрежных районов Приморского края колеблется в пределах 6,02–6,90. Большинство исследователей за нижнюю границу естественного закисления осадков принимает величину рН, равную 5,0. Однако нижний предел рН не загрязненных антропогенными выбросами дождей может достигать значения 4,5 и даже меньше (Кислотные дожди, 1989). Европейский опыт позывает, что кислотность снежных осадков рН 4,4–4,7 является предельной, ниже которой следует ожидать снижение устойчивости экосистем (Григорьев, Серебряный, 1987). Исследования в лабораторных условиях показали, что потенциальное выщелачивание из листвы катионов может иметь место при рН осадков около 4,0 или ниже, а угроза для деревьев в природе, по видимому, существует при рН 3,0 (Smith, 1981). Таким образом, кислотность снеговой воды в районе массового усыхания пихтово-еловых лесов может достигать нижних пределов, но она почти не отличается от показателей, полученных нами в ряде других пунктов Приморья (табл. 26–28).

Степень минерализации наиболее высокая в снежной воде с побережья (табл. 28). Считают (Глазовская, 1988), что влияние моря на минерализацию и химический состав атмосферных осадков сказывается на расстоянии 200–250 км. В бассейне р. Светлая, по данным 1991 г., она уменьшалась с удалением от берега моря и составляла в зоне усыхания лесов 38,5 мг·л⁻¹. Минерализация снеговой воды в этом районе значительно выше величин, приводимых В.С. Аржановой и П.В. Елпатьевским (1990). Содержание отдельных элементов в твердых осадках широко колеблется (табл. 26–28), что подтверждает сложившееся мнение о значительном варьировании количества химических элементов, достигающего одного-двух порядков. Пространственная дифференциация ионов морского происхождения, по нашим материалам, в целом согласуется с выводами, полученными А.Н. Качуром (1976). В зоне усыхающих лесов в снеговой воде преобладают катионы Na⁺, Ca²⁺, K⁺ при высоком содержании Cl⁻, что считают типичным для осадков прибрежных районов. Обращает на себя внимание значительное содержание ионов Na⁺ не только в осадках на морском побережье, но и в более удаленных от моря пунктах. Это существенно отличает осадки нашего района от химического состава снега лесной европейской зоны (Воронков, 1963; Bäumler, Zech, 1997). Образование осадков хлоридно-натриевого состава является приморской региональной особенностью. Увеличение доли Са обычно свойственно для глубинных, удаленных от моря районов, где в снеговой воде больше

пылевой составляющей (Аржанова, Елпатьевский, 1990), однако и там в отдельные годы может преобладать Na (табл. 26, 27), что, естественно, связано с особенностью формирования и перемещения влажных воздушных масс.

Содержание микроэлементов в снеговой воде также колеблется по годам, но оно, за исключением отдельных лет, в районах усыхания лесов не превышает фоновые величины, но превосходит данные С.А. Шварцева (1978). Повышенное количество тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb) в снеговой воде было отмечено в 1989 г. в районах, подверженных значительному техногенному влиянию (табл. 26). Так, содержание цинка в районе водораздела р. Рудная–Большая Уссурка превышало величины характерные для фоновых районов мира (Учватов, 1992). В зоне усыхающих лесов в снеговой воде преобладают следующие микроэлементы: Zn, Mn, Cu, Al, Sr. Свой вклад в обеспечение растительности питательными элементами вносят Са, К, Na, Mg, Zn и Cu.

Полученные данные по кислотности и химическому составу снега позволяют сделать заключение, что перенос промышленных загрязнений в районы произрастания пихтово-еловых лесов если и происходит, то нерегулярно и не приводит к существенному изменению параметров среды. Это не позволяет объяснить деградацию пихтово-еловых лесов в Приморском крае загрязнением среды. В пользу такого вывода свидетельствует и то, что сейчас процесс усыхания пихтово-еловых лесов протекает так же, как и в ранее описанных в лесоводственной литературе случаях, относящихся к тому времени, когда о техногенном загрязнении не могло быть и речи.

10.3. Краткие итоги аэрокосмического мониторинга усыхания пихтово-еловых лесов

При облете лесной территории Приморского края отдельные сухие деревья ели и пихты и небольшие группы их отмечены не только во всех участках пихтово-еловых лесов, но и в кедрово-широколиственных и долинных широколиственных лесах. Очаги усыхания темнохвойных пород имелись в Уссурийском заповеднике, на Ливадийском хребте, на плато в истоках р. Артемовка, в верхней части бассейнов рек Большая Уссурка, Бикин, Светлая, Большая Пея, Кабанья, Единка и Самарга. Наиболее крупные очаги усыхания пихтово-еловых лесов характерны для северной половины Приморского края (рис. 28, 29). Если в южных районах усохшие древостои не производят впечатления катастрофы по причине отсутствия крупных усохших массивов и относительно богатого состава лесов, то в северных слившиеся очаги усыхания, возникшие на месте древостоев с господством темнохвойных пород, в отдельных бассейнах напоминают по внешнему виду обширные пожарища и позволяют говорить о катастрофических последствиях усыхания.

При аэровизуальном обследовании темнохвойных лесов хорошо выделяются разного размера участки усохших древостоев, возникшие в разное время. Об этом свидетельствовало неодинаковое состояние усохших деревь-

ев. В старых очагах усыхания погибшие деревья в основной массе не имели коры и были лишены сучьев, а нередко и вершины. В молодых очагах сухие деревья имели хорошо сохранившуюся крону, включая мелкие сучья.

При обследовании лесных массивов с воздуха старые очаги усыхания имели светло-серый цвет, тогда как свежие отличались ржаво-бурыми тонами. Только что усохшие деревья, еще не потерявшие хвою, выделялись ярким рыжим цветом. Очень старые очаги распознавались по спорадически разбросанным сухостойным стволам (без вершин) среди молодых древостоев с неравномерной сомкнутостью.

Темпы усыхания пихтово-еловых лесов неодинаковы в разных бассейнах. Например, к концу 1980-х годов сложилось впечатление, что процесс усыхания пихтово-еловых лесов в северных районах стабилизировался, но облет территории в 1989 г. показал резкое расширение очагов усыхания в этом году в бассейне р. Большая Пея и на прилегающей к нему территории. Состояние очагов усыхания в бассейне р. Единка, напротив, было относительно стабильным.

Облет бассейна р. Анжуй (1993 г.) показал наличие на всей его территории очагов усыхания в пихтово-еловых лесах, размещенных на склонах разной крутизны и экспозиции. Леса находились на разных стадиях деградации, но преобладали древостои двух типов: 1) с наличием ветвей и 2) с отсутствием ветвей и коры на сухих стволах. Доля сухих деревьев в отдельных крупных очагах достигала 50–75%. Свежие очаги отсутствовали, что позволило сделать вывод о стабилизации процесса усыхания пихтово-еловых лесов в этом бассейне. Аэровизуальное знакомство с состоянием еловых лесов Камчатки (1996 г.) не выявило очагов усыхания на этой территории; в еловых древостоях встречались лишь единичные погибшие деревья.

Аэровизуальное обследование пихтово-еловых и еловых лесов в различных частях их ареала позволяет сделать такие выводы: 1) массовое усыхание пихтово-еловых лесов проявляется очень широко (например, в южной половине Сихотэ-Алиня) и происходит в относительно близкие сроки, о чем свидетельствует наличие сухостойных деревьев, характеризующихся близким физическим состоянием; это позволяет высказать предположение об общей причине усыхания, действующей на обширной территории; 2) темпам усыхания пихтово-еловых лесов характерна региональная специфика, проявляющаяся в сроках и интенсивности усыхания; 3) массовое усыхание темнохвойных лесов наблюдается не по всему ареалу ели аянской, в частности оно пока не отмечено на Камчатке и в ряде других регионов.

Дешифрирование материалов космических съемок на район мониторинга усыхания, проведенное Норихиза Камибаяси, показало наличие усохших древостоев в бассейнах рек Бикин, Единка, Кабанья и Большая Пея. Наиболее крупный очаг с высокой степенью усыхания древостоя (сухостойных деревьев более 75%) находится в верхней части бассейна р. Большая Пея. Динамика усыхания пихтово-еловых лесов в этом бассейне с 1983 г. свидетельствует о постоянном расширении очага: в 1983 г. его площадь составляла 122 км², в 1986 г. — 144, в 1989 г. — 189, а в 1991 г. — 222 км² (рис.30). Облет этой территории подтвердил очень высокую степень

усыхания пихтово-еловых древостоев; в усохшем массиве имеются лишь спорадически разбросанные небольшие участки живых древостоев и групп деревьев. В то же время под пологом распадающихся древостоев просматриваются группы и куртины тонкомерных экземпляров темнохвойных пород.

Периодические обследования территории мониторинга с воздуха после 1991 г. свидетельствуют о том, что интенсивность процесса гибели древостоев резко снизилась. Однако в 1993–1994 гг. отмечены новые небольшие участки усохших древостоев в бассейнах рек Светлая, Большая Пея и Кабанья, размещенные в уцелевших массивах, по периферии старых очагов усыхания, по границам со сплошными вырубками, а также в «островках» живых древостоев, окруженных деградировавшими. В бассейне р. Единка новых очагов в этот период не появилось. В наиболее старых происходил распад усохших древостоев — опадание сучьев и коры, облом вершин, падение деревьев или их частей; это было характерно для обоих бассейнов.

В целом некоторые итоги аэрокосмического мониторинга позволяют оценить его высокую эффективность. Полученные материалы на примере северных районов Приморского края позволяют говорить о региональной специфике усыхания пихтово-еловых лесов, что проявляется в темпах и интенсивности этого процесса.

10.4. Динамика усыхания

Прежде чем перейти к основным результатам повторных ревизий постоянных пробных площадей рассмотрим, как изменяется состояние усохших особей ели в связи с давностью усыхания. Это нам удалось проследить в мелкотравно-зеленомошном пихтово-еловом лесу (постоянные пробные площади 5 и 6-1989), в значительной степени усохшем в период наших наблюдений. В результате этого мы имели возможность установить изменения морфологических параметров деревьев с начала их гибели.

В 1-й же год у части усохших елей (около 35%) начала частично облетать кора. На 2-й год усыхания доля таких деревьев уже составляла 53,5%, на 3-й — 74%. На 2–3-й годы после усыхания у единичных деревьев происходила потеря мелких сучьев; на 4–5-й годы доля усохших деревьев без мелких сучьев составляла 40–60%; на 6–7-й годы усыхания основное количество деревьев (65–80%) имели только единичные крупные сучья, а у части стволов обломалась вершина. За 8 лет наблюдений около 14% усохших деревьев перешло в категорию валежника, причем в первую очередь упали тонкомерные экземпляры. Крупные стволы более устойчивы к морфологическим изменениям (деформациям) после усыхания; мелкие особи обычно значительно быстрее освобождаются от коры и сучьев.

Усохшие деревья пихты проходят стадии деформации несколько быстрее ели, в том числе они быстрее выпадают из древостоя, чему в значительной степени способствует пораженность этой породы комлевыми гнилями.

На основе полученных материалов, а также сведений, приводимых В.А. Розенбергом (1950), Ю.И. Манько (1965), В.П. Цурановым (1975) и

А.В. Кошкарёвым (1982), составлена таблица состояния деревьев (табл. 29) в зависимости от давности усыхания.

Таблица 29

Состояние деревьев ели аянской в зависимости от давности усыхания

Давность усыхания	Состояние деревьев
Усохшие в текущем году	Желтая, ржаво-красная хвоя, массовая дефолиация; отмечены случаи массового опадения сухой хвои серовато-зеленого цвета
1–2 года	Деревья без хвои; в кроне сохранились все или почти все мелкие сучья, у части деревьев (до 50 %) начала облетать кора
3–5 лет	Большая часть деревьев (до 60%) лишена тонких сучьев и в значительной степени коры, начинается отпад крупных сучьев и вершины; отдельные тонкомерные стволы выпадают в валежник
6–8 лет	Большая часть деревьев (60–80%) имеет только единичные крупные сучья и частично кору в нижней части стволов; у значительной части стволов заболонь повреждена гнилью; на части деревьев имеются плодовые тела дереворазрушающих грибов; усиление интенсивности выпадения деревьев в валежник
9–10 лет	Деревья без коры, без сучьев и вершин; массовое повреждение заболони деревьев гнилью; массовое падение деревьев
11 и более лет	Рассеянно деревья без коры, сучьев и вершин, обилие валежника

Распад усохшей части древостоя продолжается 10–15 лет, но и после этого срока часть стволов остается на корню. Начало разрушения поверхности древесины усохших деревьев периферическими гнилями происходит уже на 3-й год после их гибели (Челышева, 1965). У подавляющей части деревьев, усохших 7–10 лет тому назад, наружная часть древесины поражена гнилями. Так, на пробной площади 3-1988 около 70% сухих деревьев ели имело периферическую гниль от 0,5 до 4,0 см по радиусу, а на 11% деревьев отмечены плодовые тела дереворазрушающих грибов. На большинстве стволов, особенно в их верхней части имелись глубокие продольные трещины.

Приведенная табл. 29 может быть использована при характеристике темпов усыхания древостоев на постоянных пробных площадях, основанной на физическом состоянии отмерших деревьев; кроме того, с ее помощью можно установить с каким-то приближением длительность активности очага усыхания.

Распределение отмерших деревьев ели по морфологическому облику на постоянных пробных площадях в момент их закладки (табл. 30) свидетельствует о том, что процесс деградации древостоев проходит неравномерно и растянут во времени. Наиболее длительное время он осуществляется в бассейне р. Единка на участках, характеризующихся постоянными пробными площадями 1-3-1990 и 1-1992. Здесь в составе отпада ели значительную долю (20–39%) составлял валежник, что свидетельствует о том, что усыхание древостоя на этих участках началось лет за 10 до закладки пробных площадей и проходило с разной интенсивностью, о чем свидетельствует разное состояние сухих деревьев.

В бассейнах рек Светлая и Большая Пея постоянные пробные площади заложены в более молодых очагах усыхания. Например, господство среди отпавших стволов ели особой в коре и с наличием мелких сучьев (постоянная пробная площадь 6-1989, табл. 30) свидетельствует о том, что массовое усыхание древостоя на этом участке произошло за 1–2 года до закладки пробной площади. Другие очаги, охарактеризованные постоянными пробными площадями в этих бассейнах, судя по состоянию отпада ели несколько старше (6–8 лет), хотя начальные стадии их относятся к более раннему периоду (табл. 30).

Таблица 30

Распределение отмерших стволов ели аянской (в %) по состоянию на момент закладки постоянных пробных площадей (начиная со ступени толщины 12 см)

Состояние дерева	3-1989	4-1989	5-1989	6-1989	1-1990	2-1990	3-1990	1-1992
В коре, с мелкими сучьями	4,8	6,7	15,6	75,6	3,5	10,2	0,7	4,3
Частично в коре, с мелкими сучьями	9,5	24,8	-	4,9	1,2	-	-	2,1
В коре, без мелких сучьев	9,5	0,9	6,2	-	24,1	2,6	1,3	2,1
Частично в коре, без мелких сучьев	14,3	2,9	9,4	1,2	8,0	5,2	3,9	8,5
В коре, с частью кроны	7,1	1,9	-	-	5,7	-	-	2,1
Частично в коре, с частью кроны	7,2	7,6	-	-	2,3	-	1,3	2,1
В коре, с единичными сучьями	9,5	6,7	12,5	3,7	8,1	25,6	12,4	6,5
Частично в коре, с единичными сучьями	23,8	32,4	43,8	6,1	19,5	7,7	30,7	8,5
Без коры, с единичными сучьями	-	0,9	-	1,2	2,3	-	-	-
Частично в коре, без сучьев	9,5	10,5	6,3	1,2	4,6	10,2	9,8	25,5
Без коры, без сучьев	2,4	2,8	3,1	1,2	-	-	1,3	2,1
Валежник	2,4	1,9	3,1	4,9	20,7	38,5	38,6	36,2
Число наблюдений, шт.	42	105	32	82	87	39	153	47

Примечание. Прочерк означает отсутствие деревьев данной категории.

Разное морфологическое и физическое состояние усохших деревьев характерно для всех обследованных древостоев. Это свидетельствует о том, что деградация древостоев как временной процесс характеризуется несколькими стадиями, среди которых можно выделить: 1) возникновение очага, 2) пик массового усыхания деревьев и 3) стадию угасания очага. Иногда усыхание, по-видимому, носит пульсирующий характер и зависит от погодной обстановки, а также от развития популяций насекомых-вредителей и грибных заболеваний. Размещение по площади усохших деревьев, имеющих разное физическое состояние, позволяет судить о начальном «центре» очага усыхания и о динамике его границ; в связи с этим можно говорить о стадии расширения очага и примерно о времени этого процесса. В темпах деграда-

ции древостоев можно выделить случаи быстрого «залпового» и медленного усыхания, носящего равномерный или пульсирующий характер. Примером быстрого усыхания древостоя может служить пробная площадь 2-1988 (см. табл. 1), заложенная в мелкотравно-зеленомошном пихтово-еловом лесу в междуречье Большая Пейя—Малая Пейя. В момент ее закладки на отпад ели и пихты приходилось 31,6% по числу стволов и 22% по запасу. К осени 1989 г. доля сухих стволов уже превышала 55%, составляя по запасу 73,2%. За один год наблюдений запас сухих деревьев увеличился на 241 м³·га⁻¹. Усыхание продолжалось и в 1990 г., в результате чего запас живой части древостоя уменьшился более чем в 6 раз, составив всего 59 м³·га⁻¹, средний диаметр живой ели снизился с 26,3 (1988 г.) до 13,3 см. Наиболее сильно от усыхания пострадала ель, в результате этого пихта стала преобладающей породой.

Динамика усыхания древостоя на этой пробной площади отражает динамику деградации древостоев на обширной территории верхней части бассейна р. Большая Пейя, когда в 1989—1990 гг. многочисленные очаги усыхания слились между собой и образовался огромный массив погибшего леса, среди которого отдельными островками сохранялись куртины живых деревьев. Подобные масштабы усыхания пихтово-еловых лесов не отмечались в регионе.

Длительность действия очага усыхания зависит от степени деградации древостоя; при гибели верхнего полога древостоя очаг угасает, в нем происходят лишь деструктивные процессы, связанные с распадом усохшей части. Спустя 10—12 лет площадь обычно настолько загромождена валежником, что на этой территории невозможно обнаружить следы крупных копытных животных. Активное состояние очага усыхания во многих случаях превышает 15—20 лет, однако массовое усыхание деревьев чаще происходит в более короткий срок (до 5 лет).

Результаты повторных ревизий на постоянных пробных площадях свидетельствуют о том, что усыхание осуществляется разными темпами в зависимости от состояния древостоя (табл. 31) и влияния внешних факторов. За время наблюдений в наибольшей степени усохли участки леса, которые оказались на границе со сплошными вырубками (ППП 5- и 6-1989). Особенно показательна в этом отношении пробная площадь 5-1989, где в результате резкой смены условий среды после рубки леса на прилегающей площади произошло интенсивное усыхание, приведшее к гибели древостоя (усохшие деревья составляли 97% по запасу). Интенсификация распада находящихся в неустойчивом состоянии древостоев на участках, которые прилегают к сплошным рубкам, — распространенное явление, хорошо отслеживаемое при аэровизуальном обследовании лесов. Это отчетливо выражено на плато, где срок примыкания лесосек при сплошных рубках в пихтово-еловых лесах составлял 4 года. Во многих случаях за этот срок древостой на примыкающей к рубке территории оказывается в значительной степени усохшим.

На других участках в этих бассейнах (ППП 3- и 4-1989, табл. 31) в 1993—1994 гг. интенсивность усыхания древостоя также несколько возросла и по числу стволов, и по запасу. Но наиболее молодой древостой (ППП 2-

1992, табл. 2) усыханием не затронут, хотя до этого свыше 80% деревьев имело пожелтевшую хвою; в нем произошел отпад только тонкомерных, находящихся в подчиненном пологе деревьев, в результате чего доля отпада за 5-летний срок возросла по числу особей почти на 5%, а по запасу осталась практически прежней за счет прироста живой части древостоя.

Таблица 31

Динамика отпада ели и пихты на пробных площадях
(над чертой число отпавших стволов, %; под чертой — запас отпавших стволов, %)

Год наблюдений	Бассейны рек								
	Большая Пейя—Светлая					Единка			
	Пробные площади								
	3-1989	4-1989	5-1989	6-1989	2-1992	1-1990	2-1990	3-1990	1-1992
1989	49/36	54/78	37/20	65/82	-	-	-	-	-
1990	49/36	-	67/74	70/89	-	48/62	36/29	66/86	-
1991	50/37	-	83/94	72/91	7,6/2,3	50/63	-	67/86	-
1992	52/41	56/79	88/96	72/91	-	50/64	38/32	68/86	38/36
1994	61/57	60,5/85	92/97	73/92	-	51/64	38/32	68/87	39/37,5
1996	-	-	-	-	-	51/64	39/32	68/87	39/38
1997	62/59	63/86	93/97	74/93	12,1/2,4	-	-	-	-

Примечание. Прочерк означает отсутствие наблюдений.

В бассейне р. Единка старые очаги усыхания находились в стабильном состоянии, если не считать того, что происходил распад усохших древостоев и интенсивный рост тонкомерных особей. За время наблюдений доля отпада составила до 2—3% по числу деревьев и по запасу на участках с разной интенсивностью усыхания (табл. 31).

Однако на пробных площадях имелись деревья с изреженной кроной из-за интенсивного отмирания старой хвои, что позволяет считать, что усыхание находится в латентной стадии и при стрессовых ситуациях оно может захватить ослабленные деревья и проявиться на новых площадях.

Постоянные пробные площади, заложенные в разных бассейнах, свидетельствуют о том, что в темпах и интенсивности усыхания пихтово-еловых лесов проявляется региональная специфика, что в общем виде согласуется с заключением, сделанным на основе аэрокосмического мониторинга лесов. Это позволяет сделать предположение о том, что в комбинации факторов, приводящих к усыханию пихтово-еловых лесов, также существуют региональные особенности, связанные с погодно-климатическими ситуациями, эдафическими условиями, лесопатологической обстановкой, а также с возрастной структурой древостоев. В частности, если рассматривать степень деградации древостоя в конкретных очагах усыхания, характеризующихся пробными площадями, то можно отметить, что она практически не зависит от возрастной структуры древостоя. Имеются случаи сильной деградации

древостоя при разных типах возрастного строения (например, ППП 6-1989 с относительно одновозрастным преобладающим поколением ели и ППП 3-1990 с разновозрастным древостоем; табл. 1, 2).

В то же время массивы темнохвойных лесов, сложенные древостоями, структура которых приближается к абсолютной разновозрастности (верхняя часть бассейна р. Единка), менее пострадали от усыхания, чем леса, образованные древостоями с относительно одновозрастным преобладающим поколением ели (бассейн р. Большая Пейя). В первом случае массивы темнохвойных лесов поражены преимущественно диффузным и куртинно-групповым усыханием, во втором — они подвержены сплошному усыханию, которое охватило обширную площадь. По мнению Ю.И. Манько (1965), Л.В. Любарского и К.П. Соловьева (1965), процесс усыхания одновозрастных древостоев происходит более интенсивно и быстро, чем разновозрастных.

Глава 11

ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УСЫХАНИЯ ПИХТОВО-ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ

Опираясь на рассмотренные материалы и обращаясь к различным точкам зрения на причины массового усыхания пихтово-еловых лесов, ни одна из которых не получила всеобщего признания, необходимо указать на то, что во многих случаях речь шла об усыхании, проявляющемся в различных масштабах. Нередко локальные причины гибели конкретных древостоев принимались за общие. Например, совершенно очевидно, что нивальные и эрозийные факторы действуют в строго определенных геоморфологических и высотных условиях, на что обращал внимание и сам А.И. Куренцов (1950а); он также не переоценивал и роль биоценологических факторов (насекомые и грибы) в усыхании древостоев, считая, что они приводят к одиночной и групповой гибели ели, а возникшие короедники вскоре угасают под влиянием новых биоценологических отношений.

Подобное можно сказать и об обрыве корней деревьев (Калиниченко, Москаев, 1975): морозное пучение почв слабо проявляется или почти не проявляется на дренированных экотопах, а повреждение корневых систем деревьев при ветровых нагрузках (Емашев, по: Богатырев, 1956) происходит далеко не на всех местообитаниях.

Мнение о связи массового усыхания пихтово-еловых лесов на российском Дальнем Востоке с поражением их бактериозом (Щербин-Парфененко, 1963) не подтверждено ни одним автором, изучавшим это явление. Усыхающие деревья ели и пихты не имели признаков, характерных для этого заболевания (в числе которых осмоленность стволов, мокрая кисло пахнущая древесина), хотя на спилах живых деревьев пихты нередко было темное бурое ложное ядро, которое мы рассматривали как одну из стадий развития напенной гнили.

Точка зрения А.П. Сапожникова (1996) об ослаблении ели в результате размещения ее корневой системы в двух средах (минеральной и органогенной) при всей ее оригинальности не объясняет причины усыхания древостоев, возникших на гарях, где во многих случаях усохшие древостои представлены первым послепожарным поколением темнохвойных пород. После пожара основная масса ели и пихты селилась на минерализованной поверхности почв, а не на трухлявых валежинах; в этом случае корневая система большинства деревьев в послепожарных древостоях находилась в однородной среде. Такие леса сохнут, как правило, интенсивнее по сравнению с разновозрастными ненарушенными лесами, где значительная часть преобла-

дающего поколения ели сформировалась из подроста, размещенного на трухлявых валежинах, вследствие чего корневая система деревьев находится в минеральной и органогенной средах. Поселение подроста на валежной древесине происходит по всему ареалу аянской ели, в том числе на Сахалине, Камчатке и в других районах, где массовое усыхание этой породы не отмечено. Так что новый взгляд Сапожникова на массовое усыхание пихтово-еловых лесов тоже не объясняет причины этого явления.

Переувлажнение и заболачивание почв может осуществляться в определенных геоморфологических условиях (плато, долины рек), но оно не является следствием подзолообразования, происходящего под влиянием пихтово-еловых лесов, как это считал С.А. Золотарев (1950а). Кроме того, переувлажнение почв даже в условиях плато не наблюдается повсеместно, а характерно лишь для пониженных участков. Последующие исследователи почв под пихтово-еловыми лесами Приморья и Приамурья (Орлов, 1955; Богатырев, 1956; Говоренков, 1966; Пшеничникова, 1989а; Манько и др., 1992; Гладкова, 1997; и др.) не обнаружили следов прогрессирующего оподзоливания и заболачивания почв под усыхающими древостоями. В конечном счете и сам Золотарев (1962) пересмотрел свою точку зрения на причины усыхания пихтово-еловых лесов, рассматривая переувлажнение почв только как одну из возможных причин этого явления.

Вряд ли может выступать в качестве главной причины усыхания темнохвойных лесов низкая обеспеченность почв подвижными формами фосфора и калия (Кошкарёв и др., 1982), поскольку это вообще характерно для почв пихтово-еловых лесов. Более того, наши исследования и данные Н.Ф. Пшеничниковой (1989а, б) показали, что почвы под живыми и начинающими усыхать древостоями близки по морфологическому строению и физико-химическим свойствам; основные параметры почв на первых стадиях усыхания остаются без существенных изменений. Конкуренция травяного покрова за основные элементы питания (Кошкарёв и др., 1982) также не может быть причиной усыхания древостоев, поскольку разрастание трав происходит параллельно с гибелью древостоя, интенсифицируясь после его усыхания и распада.

Объяснение усыхания темнохвойных лесов в бассейне р. Большая Уссурия уменьшением водности территории (Кошкарёв, Петропавловский, 1980) оставляет неясным причины этого: связано ли уменьшение водности с изменением климата или с последствиями антропогенной деятельности (рубки леса, пожары), а может быть, оно обусловлено гидрологическими циклами, при которых значительно колеблется этот показатель. Их мнение о связи интенсивности усыхания с острым дефицитом почвенной влаги и неблагоприятным микроклиматом почвы для темнохвойных пород не подкреплено фактическими материалами и оставляет открытым вопрос о причинах хорошего роста уцелевших деревьев и подростов. При остром дефиците почвенной влаги должны бы усыхать и молодые поколения темнохвойных пород, что, например, происходило в европейской части России (Тимофеев, 1939, 1944; Васильев, 1941).

Результаты изучения химического состава твердых осадков в Приморском крае (Гладкова и др., 1993) не позволяют связать массовое усыхание пихтово-еловых лесов с влиянием промышленных загрязнений; кроме того, массовое усыхание лесов в настоящее время происходит так же, как и в более ранние времена, когда в мире не стоял еще вопрос о масштабном загрязнении окружающей среды.

«Гипотеза отмирания лесных сообществ» в результате напряженного физиологического градиента между надземной и подземной частями растений, предложенная В.Д. Чернышевым (1996), не отличается новизной. На функциональном расстройстве в обмене веществ в результате нарушения водного баланса ели акцентировал внимание Е.П. Калиниченко (Калиниченко, Москва, 1975), связывая это с обрывом корней при морозном пучении почв. В числе стрессовых факторов, приводящих к дисбалансу между надземной и подземной частями деревьев, многими авторами (Розенберг, 1961; Соловьев и др., 1961; Манько, 1965) называлось длительное сохранение в корнеобитаемом слое почвы сезонной мерзлоты, на что обращает внимание и Чернышев. Объяснение этим автором причин отсутствия массовой гибели древостоев вблизи северных пределов ели аянской только усилением воскообразования на эпидерме хвои односторонне; в этом случае недооценивается положительная роль сезонной мерзлоты в почве (Манько, Ворошилов, 1971), благодаря которой ель переживает неблагоприятный по увлажнению весенне-летний период. В целом с учетом сказанного эта гипотеза принципиальных возражений не вызывает; недоказанной остается только роль солнечной активности и течения Куросио в развитии стрессовых ситуаций для лесной растительности региона.

Мнение В.М. Урусова (1991, 1996) о климатогенных причинах усыхания пихтово-еловых лесов и о смене их смешанными лесами, вероятно, возникло под впечатлением многочисленных публикаций о парниковом эффекте и глобальном потеплении климата. Оно не подтверждается фактическими материалами о широтном и высотном размещении усыхающих лесов, а также о состоянии естественного лесовозобновления и нижних ярусов растительности в усыхающих насаждениях. Его можно рассматривать как один из многочисленных сценариев (Величко, 1992; Kojima, 1994; Комин, 1996; и мн. др.) развития событий в связи с возможным потеплением климата, хотя и не все исследователи разделяют мнение о поступательном потеплении климата. Например, Л.В. Маючая (1987) предполагает, что в ближайшее время на юге Дальнего Востока изменение климата будет проявляться в уменьшении атмосферного увлажнения и похолодании.

Как показывают многочисленные материалы (Манько, 1965; Цуранов, 1975; Кошкарёв и др., 1982; Манько и др., 1998), в результате усыхания и распада пихтово-еловых древостоев в лесном фитоценозе не происходит усиления роли представителей смешанных лесов; исключение составляют пихтово-еловые леса маньчжурско-южносихотэ-алинской фации, в которой темнохвойные и широколиственные породы находятся, по-видимому, в динамическом равновесии, а при усыхании ели может временно возрасти роль широколиственных пород. Таким образом, рекомендация Урусова о

создании в поясе пихтово-еловых лесов культур кедра и теплолюбивых широколиственных пород не может быть принята, так как она ничем не обоснована.

Наличие обширных площадей пихтово-еловых древостоев, где доля отмерших деревьев достигает 70–80% и более, категорически не позволяет согласиться с мнением В.А. Розенберга и его соавторов (1993) о том, что массовое усыхание имеет характер естественного биологического старения древостоев. Массовое усыхание пихтово-еловых лесов нельзя рассматривать как естественный процесс смены поколений в пихтово-еловых лесах, ибо оно сопровождается разрушением древостоя и гибелью не только старых деревьев, но и поколений, далеко не достигших возраста естественной спелости. На это в свое время обращал внимание Ю.И. Манько (1965), который при изучении пихтово-еловых лесов левобережного Приамурья отличал усыхание деревьев в процессе возрастной динамики насаждений, носящее мозаичный характер, от массовой гибели древостоев, при которой в значительной степени отмирают и более молодые поколения.

Нельзя также согласиться с мнением этих авторов о том, что массовое усыхание древостоев не порождает каких-либо экологических проблем. Помимо ранее приведенных негативных экологических последствий массового усыхания пихтово-еловых лесов (потеря древесины и рекреационной привлекательности лесов, резкое ухудшение санитарной и пожарной обстановки и т.д.) следует обратить внимание также на нарушение кислородопroduцирующих и депонирующих углерод функций лесов; более того, при разложении огромного количества мертвой древесины в относительно короткие сроки поступает в атмосферу и в почву существенное количество углерода и других элементов (Уткин, 1995). При этом происходит нарушение биологического круговорота веществ, а также гидрологического режима, о чем свидетельствует появление в кустарничково-травяном ярусе влаголюбивых видов. К сожалению, ошибочное мнение этих авторов изложено в издании, которое могло оказывать влияние на принятие решений административными органами.

Мнение Е.К. Козина (1982, 1986) о том, что девственный пихтово-еловый лес в результате усыхания и распада древостоя никогда не достигает климаксового состояния, не совсем верно. Именно благодаря периодическому отмиранию старых поколений ели и пихты и замене их молодыми, что происходит мозаично-циклически, поддерживается существование девственного леса. Речь, естественно, не идет о массовом усыхании пихтово-еловых древостоев, при котором гибнет древостой на обширной площади. В этом случае, хотя и сохраняется преемственность поколений, лесообразовательный процесс претерпевает более существенные изменения, чем при возрастных сменах. Это проявляется в смене доминантов в кустарничково-травяном и моховом ярусах на обширной площади, а также в значительном уменьшении амплитуды возраста в формирующихся древостоях; для многих типов леса характерно усиление в древостое позиций сопутствующих, а иногда пионерных пород.

Взгляд Козина (1999) на массовое усыхание бореальных хвойных лесов с точки зрения их возрастного развития вряд ли оправдан, ибо возрастная динамика древостоев и массовое усыхание лесов — это разные процессы. Ведь не может же идти речь об усыхании в процессе возрастной динамики хозяйственных лесов, в том числе и созданных путем лесных культур, в Западной Европе, где лесное дело находится на очень высоком уровне.

Накопленные материалы о массовом усыхании темнохвойных лесов в различных регионах, бесспорно, свидетельствуют о том, что этот процесс развивается под воздействием комплекса факторов различной природы; попытки объяснить это явление какой-то одной причиной немногочисленны (Щербин-Парфененко, Калининченко и некоторые др.), и они не получили признания.

Все факторы, причастные к массовому усыханию пихтово-еловых лесов, можно разделить на биотические, абиотические и антропогенные (Манько, Гладкова, 1995). Биотические факторы включают в себя биологические свойства лесообразующих пород, определяющие норму реакции на стрессовые ситуации; состав, густоту, полноту, высоту и фитомассу древостоя; возрастной состав ценопопуляций древесных пород; календарный и онтогенетический возраст лесообразователей; степень их генетического полиморфизма; состояние древостоев (зараженность грибами, заселенность насекомыми, пораженность вирусами и другими болезнями) и нижних ярусов растительности; микробиологические, микологические и зоологические особенности почв.

В число абиотических факторов входят космические (солнечная активность), метеорологические (состояние озонового слоя, температура, влажность и осадки, ветер), геолого-геоморфологические (тип поверхности, ориентация, высота над уровнем моря, химический и гранулометрический состав и возраст материнских горных пород, проявления современного вулканизма и его активность), эдафические (химические и физические особенности местообитаний, характер их увлажнения и дренажа, длительность сохранения сезонной мерзлоты в почве).

Антропогенные факторы связаны с прямым и косвенным влиянием человеческой деятельности, оказывающей как непосредственное воздействие на экосистемы, так и сопровождающееся изменением фитоценологических и экологических условий (загрязнение окружающей среды кислотами и металлами, газообразными поллютантами, радиоактивными элементами и т.п.); сюда же следует отнести и лесоводственные ошибки (монокультуры, неудачный выбор местообитаний под лесные культуры, загущенные молодняки, избыточное удобрение, ошибки мелиорации и т.п.).

Роль этих, а также других не упомянутых здесь факторов в усыхании лесов неодинакова. Многие из них, как мы видели выше, могут быть причиной деградации древостоев лишь в узколокальных и локальных масштабах (например, нивальные и эрозионные) или проявляться в определенных лесорастительных условиях (переувлажнение корнеобитаемых слоев почвы, обрыв корней); некоторые работают только на фоне комплекса других факторов (стволовые вредители); многие вообще не действуют самостоятельно,

а создают предрасполагающие условия для стрессовых ситуаций и определяют степень влияния стресс-факторов (возраст и состояние древостоев). В свете этого целесообразно все факторы, каким-то образом связанные с усыханием лесов, разделить на три категории: 1) предрасполагающие, 2) вызывающие и 3) сопутствующие (Манько, Гладкова, 1995).

Предрасполагающие факторы. К ним относится прежде всего комплекс биотических факторов, определяющий потенциальную устойчивость экосистемы пихтово-еловых лесов и ее реакцию на стрессовые факторы, зависящую от ее состояния и компонентов, ее образующих. Главной особенностью и самым слабым звеном в экологии основного лесообразователя пихтово-еловых лесов — ели аянской — является высокая требовательность к влажности воздуха и к стабильному увлажнению почв и крайне низкая ее устойчивость к засушливым условиям. Это предопределено генетически, хотя характерно и для многих других видов ели. Особенно неустойчивы к резким колебаниям водоснабжения календарно и онтогенетически старые древостои. При воздействии стрессовых факторов древостои с разным типом возрастного строения реагируют на них по-разному: при засухах наиболее сильно повреждаются старые одновозрастные и условно-одновозрастные древостои (Манько, 1965; Цуранов, 1975), а также обширные массивы пихтово-еловых лесов, образованные условно-разновозрастными древостоями, что мы видим на примере верхних частей бассейнов рек Большая Пея и Кабанья.

В.А. Розенберг (1961), затем Ю.И. Манько (1965) отметили, что в Южном Приморье и Приамурье, высокопроизводительные насаждения усыхают более интенсивно. На такие факты обращали внимание исследователи ели европейской Н. Кузнецов (1912), В.И. Абрашко (1990, 1994) и Н.И. Федоров и др., (1998). Все это свидетельствует о том, что не бедность питательными элементами местообитаний является причиной гибели древостоев, а затрудненность снабжения крупных, хорошо развитых деревьев элементами питания в условиях нарушенного водообмена.

Многие абиотические факторы в переходной полосе от суши к океану характеризуются нестабильностью. Вследствие этого для российского Дальнего Востока характерно чередование влажных лет с более сухими и даже засушливыми, повторяющимися, по мнению Л.В. Любарского и К.П. Соловьева (1969), через 6–8 лет. Это, а также напряженность факторов фитоклимата, сопровождающих засушливые условия, может приводить к стрессовым ситуациям для главных лесообразователей пихтово-еловых лесов.

Возможно, нестабильность погодно-климатических условий в регионе связана с явлением Эль-Ниньо, выражающемся в крупномасштабной аномалии температуры поверхности воды в экваториальной части Тихого океана. По мнению В.Н. Глубокова («Дождевые паводки 1984 г. ...», 1987) и других авторов, этот феномен существенно воздействует не только на атмосферу тропической зоны, но и на развитие атмосферных процессов во внетропических широтах. Проявление Эль-Ниньо обычно сопровождается максимальной повторяемостью катастрофических явлений (наводнения, засухи) в экваториальных и внетропических широтах. В частности, Глубоков (1987) сопоставил средние и максимальные расходы воды р. Амур с явлением Эль-

Ниньо. Оказалось, что наименьшие расходы воды Амура за 35-летний период (1949–1984 гг.) были в 1954 и 1978–1979 гг., то есть в годы, следующие за проявлением Эль-Ниньо; годы с наименьшим расходом воды Амуром отличались засушливостью.

На тесную связь усыхания ельников в Европейской части с аномальными макроциркуляционными процессами в атмосфере обращал внимание А.И. Воронцов (1978); по его мнению, эти процессы, наряду с солнечной активностью и приливообразующими явлениями, определяют погодные условия и периодическую смену сухих и влажных периодов.

Произрастание пихтово-еловых лесов на плато, что характерно для южной половины Дальнего Востока, создает в нестабильной климатической обстановке предпосылки для периодической резкой смены почвенного увлажнения (переувлажнение–иссушение) и возникновения стрессовых ситуаций. Сильная каменистость и маломощность почв на горных склонах, внутрипочвенный перенос мелкозема, усиливающийся при задержке оттаивания сезонной мерзлоты, также предрасполагают развитие стрессовых ситуаций для растительности в сухие годы. В то же время на горных склонах диапазон почвенно-гидрологических условий значительно разнообразнее по сравнению с плато, чем, по-видимому, объясняется обычно меньшая повреждаемость усыханием массивов пихтово-еловых лесов, произрастающих на склонах гор.

Геолого-геоморфологические факторы обуславливают также физико-химический состав почв (гранулометрический состав, степень каменистости, обедненность или обогащенность элементами питания) и специфику биогeoхимического круговорота, зависящего также от климата и биоценологических факторов. Анализ почв под усыхающими пихтово-еловыми лесами Центрального Сихотэ-Алиня позволил установить ряд биогеохимических особенностей (господство в почвенном поглощающем комплексе ионов алюминия и водорода при незначительном или крайне малом содержании кальция и магния, очень высокая величина аморфных оксидов железа, алюминия и титана, небольшое количество калия и фосфора), которые могут приводить к ослаблению древостоев и выступать предрасполагающим фактором деградации древостоев (Манько и др., 1992; Гладкова, 1997). Специфика химического состава почвогрунтов, возможно, определяет длительность жизни деревьев и их морфометрические характеристики.

В районах активного вулканизма в числе факторов, предрасполагающих ослабление темнохвойных лесов, может выступать запыление и повреждение ассимиляционного аппарата тонким пирокластическим материалом, а также токсическими газообразными и жидкими соединениями. Крупные извержения вулканов с выбросом в атмосферу большого количества мелко раздробленного пирокластического материала и аэрозолей сопровождается изменением глобальной климатической обстановки; например, после них наблюдаются более холодные зимы (Манько, Сидельников, 1989); предполагают, что извержения вулканов разрушают озоновый слой атмосферы, что может губительно влиять на растительность.

В числе антропогенных факторов, предрасполагающих к усыханию пихтово-еловых лесов, можно назвать локальное загрязнение окружающей среды около крупных промышленных центров, а также возможный перенос токсических веществ в районы произрастания темнохвойных лесов, что происходит в Европе, Северной Америке, Сибири. По нашим данным (Гладкова и др., 1993), этот фактор не играет определяющей роли в усыхании пихтово-еловых лесов в Центральном Сихотэ-Алине.

Изменение условий среды в неблагоприятную сторону для темнохвойных пород нередко происходит в результате горнодобывающих работ, при которых нарушаются гидрологические условия. Подобное мы наблюдали в бассейне р. Селемджа (Амурская область), где после работы драги на соседнем участке изменились условия увлажнения и дренажа, в результате чего начал усыхать и распадаться долинный пихтово-еловый лес.

В случае неустойчивого состояния пихтово-еловых лесов рубки даже слабой интенсивности в них способствуют возникновению очагов усыхания (Любарский, 1955; Розенберг, 1961). В стенах леса, примыкающих к сплошным вырубкам, также начинает усыхать древостой. Например, это ярко проявилось в бассейнах рек Светлая и Большая Пея на примере постоянных пробных площадей 5-1989 и 6-1989, на которых практически полностью усох древостой после того, как эти участки оказались окруженными сплошными рубками. В этом случае, как и в предшествующем, проявления антропогенной деятельности можно отнести к вызывающим усыхание факторам.

Вызывающие факторы. Многие факторы различной этиологии могут быть причиной ослабления и усыхания пихтово-еловых лесов, но масштабы проявления их неодинаковы. Отмирание отдельных деревьев и групп их может происходить по самым разным причинам, но это не всегда означает начало региональной деградации древостоев. В естественных, а особенно в девственных лесах, в зависимости от текстуры возрастной мозаики лесных массивов всегда присутствуют отмирающие деревья старших поколений, причиной смерти которых могут быть грибные инфекции, насекомые или такие факторы, которые для более молодых поколений не являются стрессовыми (отклонения погодных условий, задержка оттаивания сезонной мерзлоты в почве, локальное переувлажнение почв и прочие явления, ведущие к нарушению режима водоснабжения и питания и к снижению устойчивости деревьев). Кроме того, в сомкнутых древостоях постоянно имеется отпад отставших в росте деревьев, что, естественно, не свидетельствует о существенном ослаблении позиций основных лесообразователей.

Сигналом региональной деградации естественных и девственных лесов может служить появление куртин и групп усохших деревьев. При нормальных погодно-климатических условиях (отсутствие температурных стрессов, а также резкой смены условий увлажнения, своевременное освобождение корнеобитаемого слоя от сезонной мерзлоты и т.п.) появившийся естественный очаг усыхания, как правило, не расширяет свои границы. Стрессовые ситуации, ослабляющие древостои, вызывают широкомасштабное усыхание древостоев. Из факторов, приводящих к этому, можно указать на воздействие засух, массовое размножение насекомых-вредителей, а также на

комбинацию различных факторов, накладывающихся друг на друга и выступающих в качестве стресса.

В темнохвойных лесах Дальнего Востока отмечены вспышки массового размножения сибирского шелкопряда (на Южном Сахалине, Курильских островах и в Приморье), а также пихтовой листовертки, в число кормовых растений которых входит и ель аянская.

Наибольшие масштабы воздействия на пихтово-еловые леса свойственны засухам, проявляющимся в отдельные годы на очень большой территории. Например, засуха 1954 г. (Витвицкий, 1969) поразила пихтово-еловые леса в Приамурье от бассейна р. Буряя до низовьев р. Амур, распространившись и на побережье Татарского пролива. Она отличалась длительным отсутствием осадков в вегетационный период, в результате чего резко понижался уровень р. Амур и озер, соединенных с ней протоками. Дефицит влажности воздуха в июне этого года превышал средние многолетние показатели на 40–50%. Засуха была главным стрессовым фактором, который в первую очередь приводил к гибели ослабленных по другим причинам деревьев и целых участков леса, а также к резкому нарушению устойчивости пихтово-еловых лесов на обширных площадях. Во многих случаях засуха служила непосредственной причиной отмирания деревьев, о чем свидетельствовала внезапная их гибель (опадение хвои серовато-зеленого цвета, отсутствие изменений у усохших деревьев в радиальном приросте и по высоте), а также усыхание крупных, хорошо развитых деревьев, далеко не достигших возраста естественной спелости. В других случаях засуха вызвала действие сопутствующих факторов, которые приводили к гибели ослабленных древостоев.

Одновременное усыхание древостоев на обширной территории и в широком спектре местообитаний, расположенных на различных высотных уровнях (горные склоны различной крутизны, речные долины, плато) и значительно отличающихся по морфологическим и водно-физическим свойствам почв, позволяет говорить о мощном стрессовом факторе, каковым является засуха.

Анализ погодно-климатической обстановки за 1970–1994 гг. на примере станции Сосуново позволил выявить критические по условиям атмосферного увлажнения в вегетационный период годы – 1972 и 1978–1979; в эти годы дефицит влажности воздуха превышал среднюю многолетнюю величину почти на 60%; этот показатель был также неблагоприятен, даже близок к критической величине для темнохвойных пород в мае 1985 и в 1989 гг. На основе анализа прироста в высоту у сохранившихся живыми особей тонкомера и подроста ели и пихты начало усыхания древостоя в бассейнах рек Светлая и Большая Пея можно связать с засушливыми условиями 1978 г. Неблагоприятные условия атмосферного увлажнения в 1989 г. и, по-видимому, позднее оттаивание сезонной мерзлоты в почве способствовали слиянию очагов усыхания в этот год в огромные массивы погибшего леса.

В бассейне р. Единка появление разной величины усохших участков пихтово-елового леса относится к 1980-м годам, о чем можно судить по усилению прироста по диаметру сохранившегося подроста и тонкомера ели и

пихты; увеличение прироста в высоту у этих особей происходило позже (на 2 года, а нередко и более).

Стрессовая ситуация для темнохвойных пород возникала не в результате сильного иссушения верхних почвенных горизонтов под влиянием засушливых условий, а вследствие резкого нарушения водного баланса у интенсивно транспирирующих деревьев, образующих верхний полог пихтового леса. Такая ситуация складывалась в начале вегетационного периода в сухую солнечную погоду, когда корневая система деревьев еще находилась в скованной мерзлотой почве. Возможно, это приводило к гибели части деревьев с ослабленной адаптационной способностью (календарно и онтогенетически старые деревья из верхнего полога) и к ослаблению остальных деревьев, становящихся добычей стволовых вредителей. Кроме того, на ассимиляционном аппарате ослабленных деревьев развивались грибные инфекции, которые способствовали дальнейшему ухудшению состояния растений. Но усыхали также хорошо развитые деревья ели из верхнего полога древостоя, во многих случаях не достигшие возраста естественной спелости.

Сопутствующие факторы. Среди них на первое место надо поставить насекомых (короеды, усачи, златки и др.), следы интенсивной деятельности которых имеются на всех усохших деревьях. Очаги усыхания являются источником инфекции для соседних живых древостоев. Насекомые, размножаясь в очагах усыхания, могут выступать и как первичные вредители, поражая живые древостои (Юрченко, 1999).

Усыхание пихтово-еловых лесов сопровождается вспышкой грибных инфекций, повреждающих хвою основных лесообразователей. Распространению грибных заболеваний способствует ослабление древостоев за счет стрессовых факторов, а также в результате изменения эколого-фитоценотической обстановки при усыхании и распаде древостоев. Грибные инфекции способствуют деградации древостоев. Ослабление деревьев под влиянием стрессовых факторов (например засух) служит причиной эпифитотий ржавчинных и других грибов. В частности, подобное отмечено в пихтовых древостоях Хамар-Дабана (Восточная Сибирь), ослабленных засухой и загрязнением целлюлозно-бумажного комбината (Зиганшин и др., 1986; Рожков, Козак, 1989).

Разделение факторов деградации лесов на предрасполагающие, вызывающие и сопутствующие в какой-то мере условно, но оно, на наш взгляд, позволяет объективнее оценить причины усыхания лесов. В то же время следует еще раз обратить внимание на то, что региональная деградация лесов есть результат воздействия целого комплекса факторов и их взаимодействия между собой. Например, среди обширных массивов усыхающих пихтово-еловых лесов в бассейнах рек Кабанья, Большая Пея и Светлая молодые (50–80-летние) вторичные леса с участием и преобладанием темнохвойных пород усыханием не затронуты, хотя ассимиляционный аппарат их в значительной степени поражен грибами, а местообитания, как и под усохшими лесами, обеднены азотом, кальцием, магнием и фосфором. Усыхают в первую очередь старые со сниженной адаптационной способностью древостои, под влиянием тех же стрессовых факторов, которые испытывают и

более молодые насаждения. На это также обращали внимание Л.В. Любарский и К.П. Соловьев (1962).

Но было бы неправильно в качестве главной причины усыхания считать возраст древостоя; прав Е.Отт (Отт, 1985), который обратил внимание на то, что процесс старения лесов в Швейцарии происходил и раньше, но массовое заболевание лесов отмечено лишь в 1980-е годы. В эти годы, по данным Г.В. Грузы (1992), выпало наименьшее количество осадков над Евразией; наиболее сухими годами (в порядке убывания годовых сумм осадков) были 1989, 1984, 1985, 1986, 1982 гг.; слабее выражено уменьшение осадков в этот период в Северной Америке.

Неодновременность деградации различных массивов леса после воздействия стрессовых факторов, что отмечалось всеми исследователями феномена усыхания лесов на Дальнем Востоке, подтверждается разным состоянием погибших деревьев. Это свидетельствует о том, что в первую очередь гибнут наиболее ослабленные деревья и участки леса. Изменение эколого-фитоценотической обстановки в результате распада древостоя, размножение насекомых и развитие грибных болезней способствует расширению площадей под усохшими древостоями даже и в том случае, когда действие стрессовых факторов прекратилось. Это происходит на протяжении 3–5 и более лет, вплоть до угасания очагов насекомых под влиянием биотических и абиотических факторов.

Повторные влияния стрессовых ситуаций приводят к ускорению гибели деревьев в очагах усыхания и вызывают появление новых очагов. Поэтому в массивах пихтово-еловых лесов имеются древостои, находящиеся на различных стадиях усыхания, а сам процесс деградации может длиться 10 лет и более. Например, в верхних частях бассейнов рек Большая Пея и Кабанья первые очаги усыхания в темнохвойных лесах появились в 1970-х годах. Количество их постепенно нарастало, а в 1989 г. произошло слияние усохших участков на обширной площади. В 1990–1991 гг. отпад деревьев (2–4% по числу стволов) продолжался лишь в очагах усыхания; в последующие годы снова появлялись небольшие участки усохших лесов, ранее не затронутых усыханием.

В подавляющем большинстве случаев усыхание лесов происходит в результате совокупного влияния многих факторов, причем нередко наблюдается синергическое их влияние, когда один фактор, накладываясь на другой, усиливает вредоносный эффект. На это обращали внимание и при изучении усыхания других видов ели. Например, воздействие SO_2 у ели европейской вызывает повышенную чувствительность к водному стрессу (Macrez, Hubac, 1988); избыток азота снижает устойчивость деревьев к морозам и погодным аномалиям (Nihlgard, 1985; Abetz, 1987; Rehfuess, 1990; и др.); воздействие засух (Алексеев, 1948) и загрязнений (Юкнис, Лекене, 1987) ускоряет процесс старения организмов, чем резко снижает их адаптационные возможности к стрессовым ситуациям; высокий возраст древостоев — одна из основных причин их пониженной устойчивости к влиянию повреждающих факторов (засух, насекомых и т.п.).

В целом массовое усыхание пихтово-еловых лесов на российском Дальнем Востоке — естественный процесс, развивающийся под влиянием комплекса факторов различной природы. Если классифицировать смены, происходящие под влиянием массового усыхания в регионе, по ведущим причинам, их вызывающим (Сукачев, 1964), то их можно назвать биогенно-климатогенными. Это, естественно, не исключает наличия и других смен, происходящих на отдельных конкретных участках.

Если же их оценивать по существу происходящих процессов, то в большинстве случаев они относятся к дигрессивно-демутационным сменам, в которых целесообразно различать коротко- и длительнодемутационно-возрастные. В условиях плато, где преобладают зеленомошные и моховые пихтово-еловые леса, смены происходят как короткодемутационно-возрастные, в процессе которых на первом этапе в большинстве местообитаний усиливаются позиции пихты белокорой. В неморальных пихтово-еловых лесах после усыхания древостоя может возрастать роль широколиственных пород. В специфических горно-долинных местообитаниях Приамурья в результате усыхания древостоев иногда возникают небольшие участки всейниковых лугов (Манько, 1965).

При классификации форм динамики лесных ресурсов А.С. Шейнгауз (1976) выделил в темнохвойных лесах усыхающе-распадный тип. В этом случае в названии смены отражена только часть процесса — усыхание и распад. В связи с этим автор указывает, что по окончании дигрессивной динамики наступает динамика, относимая им к другому классу, — демутационному или сингенному. То есть в целом процесс усыхания оценивается Шейнгаузом как дигрессивно-демутационный.

Д.Ф. Ефремов и Н.В. Выводцев (1999) для пихтово-еловых лесов модельного леса «Гассинский» (Хабаровский край) считают характерным ценогенный тип сукцессии, в котором названы три вида сукцессий, связанных с возрастной динамикой древостоев (циклично-возрастные без смены пород, циклично-возрастные с кратковременной сменой пород, возрастные точечно-дисперсные). Нас эта классификация заинтересовала потому, что начальные этапы массового усыхания пихтово-еловых древостоев во многих случаях не отличаются по внешним проявлениям от усыхания старых деревьев в процессе возрастной динамики поколений. Но если понимать под ценогенными сменами выработку новых фитоценозов (Сукачев, 1964), то такое название смен, связанных с возрастной динамикой древостоев, вряд ли можно признать удачным. Эти смены, на наш взгляд, следует отнести к категории «онтогенетических смен типов насаждений» Б.П. Колесникова (1968).

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Полученные к настоящему времени материалы о массовом усыхании пихтово-еловых лесов на российском Дальнем Востоке (в том числе и в результате наших исследований 1988–2000 гг.) позволяют сделать следующие выводы.

1. Массовое усыхание пихтово-еловых лесов на российском Дальнем Востоке в XX в. происходило неоднократно и охватывало обширные площади. К сожалению, специалисты обращали внимание на этот феномен лишь тогда, когда процесс деградации и усыхания лесов проявлялся в значительных масштабах. При этом терялась важная информация, которая, возможно, могла бы помочь в установлении причин начала этого процесса.

2. Усыхание пихтово-еловых лесов происходило на разных элементах рельефа (плато, горные склоны различной экспозиции и крутизны, надпойменные и переходные террасы в долинах рек), находящихся на различной абсолютной высоте. Массовое усыхание темнохвойных древостоев наиболее характерно для субформации пихтово-еловых лесов, оно неоднократно проявлялось в Приморье и Приамурье. Оно происходит в том числе и на территориях, где ель аянская преобладает в растительном покрове и образует наиболее производительные древостои (например в бассейне оз. Кизи, Хабаровский край), то есть там, где ель находится в условиях, близких к оптимальным (Манько, 1987). Массовое усыхание не отмечено на территориях, где ель растет на пределе физиологических возможностей и где, казалось бы, воздействие дополнительных стрессов должно привести ее к отмиранию.

3. Отсутствие массового усыхания ели вблизи северо-западных и северных границ ее распространения, где она существует при неустойчивом режиме увлажнения и испытывает постоянные температурные стрессы, можно объяснить избирательным отношением этой породы к топологическим условиям. При нарастании континентальности климата, чему способствует и неустойчивый режим увлажнения, еловые группировки отодвигаются в верхний пояс гор на местообитания с поверхностно-проточным увлажнением и относительно стабильной влажностью воздуха. В устойчивости ели к неблагоприятным условиям увлажнения немаловажную роль играют интенсивное образование воска на эпидермисе хвои (Чернышев, 1996), а также поэтапное включение корневой системы в обеспечение растений влагой и питательными веществами по мере понижения уровня сезонной мерзлоты (Манько, Ворошилов, 1971).

На Камчатке, где в Центральной Камчатской депрессии отчетливо проявляется нестабильность увлажнения в первой половине вегетационного периода, а почвогрунты, образованные рыхлым вулканическим материалом,

характеризуются крайне низкой водоудерживающей способностью, еловые леса занимают преимущественно северные склоны, на которых задерживается оттаивание сезонной мерзлоты в корнеобитаемом слое почвы. Высвобождение влаги из мерзлоты, а также увлажнение горных склонов за счет конденсации влаги горными сооружениями (Ляхов, 1963) помогают ели пережить неблагоприятный период увлажнения, характерный для начала вегетационного периода.

Для Сахалина также не характерно массовое усыхание темнохвойных лесов, что связано, по-видимому, с меньшей напряженностью климатических факторов. Засушливость весенне-летнего периода свойственна и Сахалину, но там почвы промерзают под темнохвойными лесами менее интенсивно и на меньшую глубину, а на юге этой территории в отдельные годы почва не замерзает (Клинцов, 1965). Видимо, поэтому не создается дисбаланса между надземной и подземной частями деревьев, обычно приводящего к ослаблению ели и усыханию.

4. В развитии массового усыхания пихтово-еловых лесов на российском Дальнем Востоке повинен комплекс причин, но ведущими следует считать нестабильность природных условий в зоне перехода от суши к океану и особенности экологии и биологии основных лесообразователей, не устойчивых к резкому нарушению условий водоснабжения. Массовое усыхание темнохвойных лесов в большинстве случаев развивается в результате стрессовых ситуаций, вызываемых засухой, на фоне высокого возраста древостоев, в значительной степени пораженных гнилями и грибными болезнями, нередко в своеобразных почвенно-гидрологических условиях.

5. Массовое усыхание пихтово-еловых лесов имеет региональную специфику, зависящую от типологического состава, продуктивности и строения лесов, а также природных условий. Специфика этого процесса выражается также в несовпадении времени массового усыхания лесов в Приморье и Приамурье, что свидетельствует, прежде всего, о региональных особенностях погодно-климатической ситуации на этих территориях, на что обращали внимание Л.В. Любарский и К.П. Соловьев (1965, 1969).

6. Общей чертой массового усыхания пихтово-еловых лесов, происшедшего в разные годы и в различных районах, помимо отсутствия строгой приуроченности погибших древостоев к определенным элементам рельефа, является также интенсивная гибель ели и пихты в верхнем пологе древостоя. Как правило, в первую очередь отмирают крупные, чаще всего хорошо развитые деревья, не всегда имеющие высокий календарный и онтогенетический возраст; интенсивность усыхания деревьев в подчиненных пологих древостоях возрастает по мере расширения очага усыхания.

7. В отличие от деградации еловых лесов в Западной Европе на российском Дальнем Востоке чаще всего происходит внезапная гибель древостоев без начальных признаков ухудшения их состояния, выраженных обычно в степени охвоения кроны и особенностях роста («осветление» кроны за счет интенсивного отмирания старой хвои, заметное снижение прироста по диаметру и высоте перед усыханием). В нашем регионе обычно отсутствуют симптомы существенного ослабления и повреждения деревьев подчинен-

ного полога и подроста, что могло бы свидетельствовать о воздействии кислотных дождей или газообразных поллютантов, или же о неблагоприятных изменениях в эдафотопе. Для очагов усыхания характерно последовательное прохождение стадий усыхания, исключающее улучшение состояния начавших распадаться древостоев.

8. По степени гибели деревьев установлены такие типы усыхания древостоев (Куренцов, 1950а; Цуранов, 1965): 1) диффузно-рассеянное (единичные сухие деревья и группы из 3–5 стволов), 2) куртинно-групповое (группы до 10–20 сухих деревьев и небольшие участки сплошного сухостоя), 3) сплошное (площадь усохших древостоев сотни и тысячи гектаров). Эти типы нередко отражают последовательные стадии, которые проходят очаги усыхания, хотя имеется много примеров, когда усыхание останавливается на ранних стадиях и не заканчивается слиянием погибших групп и куртин в обширный усохший массив.

9. Возрастная структура усыхающих пихтово-еловых лесов характеризуется разновозрастностью. Преобладают два типа разновозрастных древостоев: абсолютно разновозрастные, формирующиеся чаще на местообитаниях с ослабленным дренажем, и относительно разновозрастные, в которых преобладающее поколение отличается небольшой амплитудой возраста, но в них представлены и более молодые поколения, нередко преобладающие по числу стволов в нижних пологах. Относительно разновозрастные древостои возникли после пожаров (о чем свидетельствует наличие древесных углей под подстилкой) и образованы первым послепожарным поколением темнохвойных пород.

Массивы темнохвойных лесов, состоящие из абсолютно разновозрастных древостоев (или близким к ним по структуре), менее страдают от усыхания, чем одновозрастные или относительно разновозрастные, которые в отдельных случаях подвержены сплошному усыханию.

10. Деградация древостоев, как временной процесс, характеризуется несколькими стадиями (возникновение очага, массовое усыхание деревьев, угасание очага) и нередко носит пульсирующий характер, зависящий от состояния древостоев, погодной обстановки, насекомых и грибных болезней. Для относительно разновозрастных древостоев иногда характерно «залповое» усыхание, происходящее в короткий отрезок времени и охватывающее обширную территорию. Подобное, например, произошло в бассейнах рек Большая Пейя и Кабанья в 1980–1990 гг.

Начальные этапы массового усыхания пихтово-еловых лесов и распад старых поколений при возрастной динамике древостоев во многих случаях отличаются лишь по состоянию естественного лесовозобновления темнохвойных пород. При возрастной динамике, проявляющейся мозаично-циклически, что обусловлено горизонтальной структурой древостоев, как правило, подроста ели и пихты достаточно для смены отмирающих поколений. В случае массового усыхания древостоев, особенно не достигших возраста естественной спелости, имеют место случаи, когда подрост темнохвойных пород малочислен.

11. Естественное возобновление темнохвойных пород в очагах усыхания в большинстве случаев проходит удовлетворительно с преобладанием ели и пихты, сформировавшихся под пологом древостоя. Молодое поколение этих пород характеризуется интенсивным ростом после усыхания основного полога древостоя. Последующее лесовозобновление на первых этапах после гибели древостоя не играет существенной роли в восстановлении лесной обстановки даже при наличии плодоносящих деревьев в очагах усыхания и на прилегающей к ним площади. Серьезным препятствием для поселения древесных пород выступает задернение площади войником, осоками и реже другими растениями. Последующее возобновление ели и пихты осуществляется под пологом тонкомера и формирующихся куртин молодняка, которые в первое время после распада основного полога древостоя отличаются неравномерной сомкнутостью.

12. Сохранившиеся живыми деревья и подрост ели и пихты после усыхания и распада древостоя, как правило, усиливают прирост в высоту и по диаметру. В первую очередь увеличивается прирост по диаметру, а усиление роста в высоту происходит на 2–3-й год после усыхания древостоя, но оно зависит от размеров и состояния подроста, а также от его размещения.

13. Хорошее естественное лесовозобновление темнохвойных пород в очагах усыхания, усиление роста живых деревьев и подроста после усыхания и распада древостоя позволяют подтвердить вывод (Манько, 1965; Любарский, Соловьев, 1965) о том, что массовое усыхание пихтово-еловых лесов не обусловлено постоянным изменением условий местопроизрастания в неблагоприятную сторону для ели и пихты. Об этом свидетельствуют также материалы изучения почв под усыхающими древостоями, согласно которым основные физические и химические параметры почв не претерпевают кардинальных изменений и обеспечивают жизнедеятельность главных лесобразующих пород.

14. Пихтово-еловые леса Дальнего Востока по причине их неоднократного усыхания на протяжении последних 70 лет являются объектом хозяйственного риска и должны постоянно находиться в поле зрения лесоводов. В связи с предполагаемым глобальным потеплением и усилением нестабильности климатических процессов эти леса могут использоваться как своеобразный индикатор глобальных и региональных изменений природных процессов. Необходима организация их постоянного мониторинга, сочетающего аэрокосмические наблюдения с сетью наземных постоянных пробных площадей, характеризующих наиболее распространенные лесные экосистемы в различных регионах их произрастания.

15. Мониторинг пихтово-еловых лесов позволит получить интегрированную информацию об их состоянии, что даст возможность прогнозировать их развитие в зависимости от природной обстановки и влияния экзогенных факторов. Для прогноза динамики пихтово-еловых лесов необходимо использовать материалы о состоянии древостоев, их календарном и онтогенетическом возрасте, составе, возрастном строении, полноте и других таксационных показателях, топографических, гидрологических и биогеохимических параметрах местообитаний, о периодичности стрессовых ситуа-

ций, связанных с погодно-климатическими условиями и биотическими факторами, а также с переносом загрязняющих веществ. На основе учета всех факторов, в том числе и способствующих деградации лесов, можно составлять прогнозные карты риска для лесохозяйственных предприятий или их частей. Опыт разработки таких карт был предпринят на примере учебного леса в Германии (Grossmann, 1991). Необходим поиск способов ранней диагностики ослабления темнохвойных лесов, основанных, возможно, на спектральной отражательной способности древостоев, что особенно важно для не освоенных дорожной сетью территорий.

16. Лесохозяйственные усилия в первую очередь должны быть направлены на предрасполагающие факторы, поскольку факторы, вызывающие массовое усыхание (прежде всего нестабильность климатических условий), еще не подвластны человеку. Таким образом, необходимо снизить долю спелых и перестойных темнохвойных лесов в лесном фонде путем своевременного их омоложения рубками главного пользования — в этом единодушны все исследователи феномена усыхания темнохвойных лесов, начиная с В.Ф. Овсянникова (1925). При проведении рубок главного и промежуточного пользования, а также при создании лесных культур необходимо формировать смешанные древостои, состав которых определяется лесорастительными и зонально-типологическими условиями. В частности, на местообитаниях с неустойчивым водным режимом предпочтение следует отдавать лиственнице и лиственным породам, а в неморальных пихтово-еловых и кедрово-еловых лесах — кедру корейскому с участием лиственных пород. При вовлечении естественных и девственных пихтово-еловых лесов в хозяйственный оборот необходимо стремиться к поддержанию разновозрастности древостоев, ибо разновозрастные древостои более устойчивы к стрессовым факторам. Эти меры помогут значительно снизить потери от усыхания лесов, но не исключат деградации древостоев, особенно в сильно засушливые годы.

17. Необходимо развернуть селекционно-генетические исследования по отбору форм ели, устойчивых к стрессовым ситуациям, вредителям и болезням, чтобы в будущем использовать ценные формы в лесокультурном производстве.

18. В числе первоочередных мер снижения нежелательных и даже опасных санитарных и экологических последствий массового усыхания пихтово-еловых лесов необходимо назвать обязательное своевременное удаление усохших деревьев. Как показали исследования В.А. Розенберга (1950), О.В. Морозовой и Р.П. Ивановой (1959), Л.В. Любарского и К.П. Соловьева (1962), И.Д. Пахомова (1963) и других авторов, древесина усохшей ели в зависимости от давности усыхания и степени повреждения насекомыми и грибами может быть использована для хозяйственных нужд. По данным Пахомова (1963), сухая древесина ели двухлетней и большей давности усыхания при отсутствии явных признаков поражения каким-либо пороком по техническим свойствам мало отличается от нормальной древесины; сухая древесина большей давности усыхания может быть использована для строительных целей и в целлюлозно-бумажном производстве. Показатели техни-

ческой пригодности древесины усохшей пихты значительно ниже вследствие быстрого поражения ее дереворазрушающими грибами. В целом чем скорее усыхающие древостои будут вовлечены в рубку, тем меньше ущерба принесет усыхание.

19. Районы массового усыхания пихтово-еловых лесов должны находиться под постоянным противопожарным и санитарным наблюдением. Для естественных пихтово-еловых лесов, особенно находящихся в малонаселенных районах, весьма эффективно авиапатрулирование, позволяющее своевременно обнаруживать очаги усыхания и отслеживать их динамику.

20. Более детальный комплекс лесохозяйственных мероприятий по снижению потерь в результате массового усыхания пихтово-еловых лесов был предложен в свое время Л.В. Любарским и К.П. Соловьевым (1962, 1965). Он предусматривает следующее: очередность вовлечения в рубку усыхающих и подверженных усыханию древостоев; способы рубок в зависимости от группы лесов и интенсивности усыхания; лесозащитные мероприятия, включая защиту лесоматериалов от насекомых; надзор за состоянием пихтово-еловых лесов и прогнозирование их усыхания. К этому перечню можно лишь предложить, вслед за В.П. Цурановым (1975), испытание химических или биологических мер борьбы с насекомыми, сопутствующими усыханию и играющими основную роль в развитии очага усыхания. Эффективное снижение численности насекомых на раннем этапе усыхания, возможно, будет способствовать более быстрому прекращению деятельности очага.

Для снижения ущерба от усыхания древостоев в пихтово-еловых лесах, находящихся в неустойчивом состоянии, можно по согласованию со специалистами лесозащиты и работниками лесного хозяйства сокращать срок примыкания лесосек при сплошных рубках до 1 года.

21. В числе дальнейших задач, связанных с проблемой деградации и массового усыхания пихтово-еловых лесов, можно назвать углубленное эколого-физиологическое изучение основных лесообразователей, обратив особое внимание на водный режим темнохвойных древостоев (Орлов, 1996), на поиск биохимических индикаторов стрессовых ситуаций (Судачкова, 1998; Baug et al., 1998), микробиологическую характеристику почв в очагах усыхания. Крайне необходимы комплексные междисциплинарные исследования, включающие в себя разные блоки: лесоводственно-таксационная характеристика темнохвойных лесов; физиолого-биохимические и анатомические исследования основных лесообразователей; почвы (химические, водно-физические и микробиологические параметры); метеорология (включая солнечно-земные связи, химический состав осадков, облачной влаги и туманов); насекомые; грибы и вирусы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние десятилетия мировая общественность обратила внимание на глобальное ухудшение бореальных лесов, в первую очередь на состояние темнохвойных древостоев, в которых происходило усыхание основных лесообразователей — ели и пихты.

Усыханию подвержены виды ели различной экологии, которые по-разному относятся прежде всего к теплу и влаге. Наряду с влаголюбивыми и относительно теплолюбивыми видами (ель красная, ель ситхинская) отмирают влаголюбивая, но более морозоустойчивая ель аянская, а также несколько более устойчивая к колебаниям влажности и пониженным температурам ель европейская; усыхают также ель белая, отличающаяся широкой экологической амплитудой, и ее гибрид с елью ситхинской — ель Лутца. Деградация древостоев происходит как в культурных и хозяйственных лесах, так и в девственных, не испытывающих прямого антропогенного воздействия.

Особо стоит обратить внимание на подверженность массовому усыханию темнохвойных лесов, которые растут на территориях, находящихся под сильным влиянием океанических воздушных масс; по крайней мере, естественное массовое усыхание лесов с преобладанием ели не отмечено в типично континентальных районах (например, в Сибири, в центральной части Аляски и Канады). Это позволяет предположить, что нестабильность погодноклиматической обстановки в зоне перехода от суши к океану является основной причиной, вызывающей массовое усыхание темнохвойных лесов. Особенно неблагоприятны резкие колебания условий увлажнения для видов ели, произрастающих на территориях, постоянно увлажняемых океаническими воздушными массами. Многие виды ели (*Picea jezoensis*, *P. sitchensis*, *P. rubens*, *P. abies*) крайне болезненно реагируют на недостаточное увлажнение, которое вызывает физиологический стресс, нередко приводящий к их гибели.

Мнение о глобальном синхронном усыхании разных видов ели в процессе возрастного развития древостоев (Козин, 1999) вряд ли справедливо, ибо климатические условия районов их произрастания формируются под влиянием различных воздушных потоков. Ареалы ели европейской и красной находятся в зоне господства в летний период атлантических воздушных масс, ареалы ели аянской, ситхинской и ели Лутца — в зоне тихоокеанских воздушных масс, а ареал ели белой размещен на территории, испытывающей влияние трех океанов, в том числе и Северного Ледовитого (Алисов, Полтараус, 1962). Но влагооборот на отдельных территориях формируется в процессе сложных взаимодействий воздушных масс, поступающих из различных районов. Например, в образовании осадков летом на Дальнем Вос-

токе тихоокеанские воздушные потоки участвуют примерно в 30% случаев, воздушные массы с Индийского океана — в 11–24%, а остальные случаи приходится на воздушные массы с континента или полярных морей; влагооборот над Европой связан с западным переносом (Дроздов, Григорьева, 1963). На разное развитие синоптических процессов в Европе и Северной Америке обращали внимание Г.В. Груза (1992) и многие другие климатологи.

Синхронность возрастной динамики темнохвойных лесов, произрастающих на разных континентах, о чем пишет Козин, также вызывает сомнение. Даже в отдельных лесных массивах смена поколений ели происходит мозаично-циклически, о чем свидетельствует «текстура» древостоев, отражающая их возрастную динамику. Кроме того, по имеющимся данным, календарные даты массового усыхания разных видов ели не совпадают.

Усыхание темнохвойных лесов — сложный многофакторный процесс, в развитии которого принимают участие стрессовые факторы различной природы (биотические, абиотические и антропогенные), значение каждого из них в усыхании лесов имеет региональную специфику и зависит от биологии вида и конкретных лесорастительных условий. Но воздействие ряда факторов на лесные экосистемы различных регионов могут иметь сходные последствия. Например, влияние воздушных поллютантов на темнохвойные леса из *Picea rubens*, произрастающие в верхнем поясе гор Северной Америки, и на горные леса из *P. abies* в Европе сопровождается повреждением, а затем усыханием их.

Ухудшение состояния темнохвойных лесов и их усыхание происходит на разных континентах на фоне глобальной нестабильности климатических условий, проявляющихся в чередовании засушливых и влажных, холодных и теплых периодов; а по мнению некоторых исследователей, эти негативные явления связаны с глобальным потеплением. Нестабильность погодноклиматических условий, которая особенно характерна для переходной полосы от суши к океану, возможно, является результатом влияния феномена Эль-Ниньо на атмосферные процессы в бореальной зоне. В связи с этим в разрабатываемые «модели опасности» повреждения темнохвойных лесов необходимо включать показатели стабильности климатических параметров.

Деградация древостоев и усыхание темнохвойных лесов происходят не только в зоне влияния промышленных загрязнений, но и на территориях, не испытывающих устойчивого и значительного загрязнения природной среды, в том числе и воздушными поллютантами, что, например, характерно для Приморья и Приамурья, а также для Аляски. Это позволяет относиться к загрязнению как к дополнительному стрессу, накладывающемуся на естественные процессы и в ряде случаев приводящему к разрушению лесных экосистем.

Усыхание темнохвойных лесов порождает существенные хозяйственные и экологические проблемы (потеря древесины и рекреационной привлекательности лесов, ухудшение санитарного и пожарного состояния, нарушение гидроклиматического режима территории, резкое изменение темпов круговорота вещества и энергии, включая кислородопroduцирующую и углерододепонирующую функции лесов), что вызывает необходимость органи-

зации мониторинга за состоянием этих лесов, играющих выдающуюся роль в стабилизации глобальной экологической обстановки. Проблема ухудшения темнохвойных лесов переросла национальные границы и требует координации исследований в международном масштабе. Во всех случаях проявления этого феномена необходимо организовывать комплексные междисциплинарные исследования, возможно, под эгидой Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО).

В целом проблема ухудшения состояния и усыхания темнохвойных лесов имеет общебиологическое значение, связанное как с устойчивостью природных систем к меняющимся параметрам среды, в том числе и под влиянием человеческого общества, так и с выяснением причин и прогнозированием этого явления. В зависимости от масштабов, периодичности и направленности происходящих процессов дегградации и усыхания древостоев к ним можно относиться как к индикатору глобальных изменений природных условий или как к последствиям флуктуации этих условий, вызванных солнечно-земными связями.

ABSTRACT

Forest decline has been going on for last decades in Europe, North America and in the Russian Far East. This process gives rise to negative ecological and economic problems. In many countries the monitoring activities have been undertaken, including surveys at national and sub-national level. A considerable number of the hypotheses have been proposed as the forest decline reasons, but neither has gained universal recognition. At first time for a main reason of the decline was taken industrial pollution of the environment, at present, however, majority of researchers are inclined to the opinion that both natural and industrial causes are to be blamed for forest decline.

Large-scale forest decline of natural *Picea jezoensis* and *Abies nephrolepis* forests in the Russian Far East has happened repeatedly and spread all over vast areas. The first reliable information about it is related to 1920s. In succeeding years forest decline was recorded in 1930s–1940s in Primorye and in 1950s in Priamurye. Once again forest decline spread all over enormous areas of fir-spruce forests in the Sikhote-Alin during 1970s–1980s.

The large-scale fir and spruce forest decline typical for Primorye and Priamurye was not observed in Sakhalin and Kamchatka, as well as in spruce formation in the northern areas of the Amur Region.

In this work the investigation materials of declining plots of fir-spruce forests in Primorye Territory and the main results of monitoring of fir-spruce forest decline in the basins of the rivers Svetlaya, Bol'shaya Peysa and Edinka are presented. In the light of global dark-conifer forest deterioration the critical review of the previous investigation is considered.

Picea jezoensis is the principal forest-forming species of fir-spruce forests in the Russian Far East; high hydrophily and low tolerance to drought conditions characterise it; horizontal root system makes spruce strongly depending upon temperature and moisture of the soil surface layers.

Fir-spruce forest decline has occurred on various elements of relief (mountain slopes of different aspects and steepness, plateau's surfaces, over-flood plain and transitional terraces in rivers valleys) placed on the different altitude heights (from sea level to 1000 m).

The declining plots by the extent of tree destruction are divided into: diffusive-spread (single dry trees and groups of 3–5 trunks), cluster-group (groups up to 10–20 dry trees and rather small plots of continuous dead standing trees) and continuous (dead standing groups occupied hundreds and thousands of hectares). Often, these types reflect the successive stages that plots of decline have been passing through.

The matters for monitoring were permanent sample plots established in stands with the different stages of decline. In most cases the largest and well-developed fir and spruce trees with high calendar and ontogenetic age die off in first turn.

An age structure of the declining fir-spruce forests is characterised by uneven age. Two types of uneven aged stands are predominated: perfectly uneven aged, forming on habitats with impeded drainage, and relatively uneven aged, having originated after fires. Large dark-conifer forest areas, forming by perfectly uneven aged stands, are less suffered from the decline than even aged stands or closely related to them by structure.

As a rule, natural regeneration of dark-conifer species in the plots of decline with predominance of fir and spruce under stand canopy is satisfactory. Dying off and decomposition of stands are accompanied by diameter and height growth increment of the majority of having been surviving trees and understorey. That all allows considering that the large-scale forest decline doesn't depend upon constant habitat changes to unfavourable for spruce and fir.

Soils under the declining fir-spruce forests are characterised by extremely acid soil reaction (especially humus horizons), base-exchange saturation with aluminum and hydrogen ions, in most cases unfavourable Ca/Mg ranges in the root horizons, low or extremely low content of mobile phosphorus, middle or increased mobile potassium supply, low nitrogen content, abundance of amorphous compounds of aluminum and iron, predominance of fulvic acids in the humus composition, high accumulation of zinc, nickel, cobalt and lead in the fine earth. Phosphorus and low level of soil reaction primarily limit forest growth conditions. Whereas, soil characteristics under declining forests are not differ essentially from living stands. This prevents to connect large-scale fir-spruce forest decline with the soil peculiarities.

Chemical analyses of the different organs allowed make a conclusion that the spruce has acute phosphorous deficiency. In some plots insufficient supply of spruce by nitrogen, magnesium and calcium was observed. Spruce needles are abundantly supplied with manganese and zinc, and roots with aluminum.

An investigation of chemical composition of solid precipitation in Primorye (Gladkova et al., 1993) allows to conclude that the transference of industrial pollutants into the regions of growing fir-spruce forests if it takes place has occurred irregularly and it does not cause any essential changes of environment parameters. Environmental pollution is not responsible for the large-scale fir-spruce forest decline.

Analysis of the weather-climatic situation during 1970–1994 is evidenced of its instability. So, on evidence of meteorological station Sosunovo, the annual precipitation during that period varied from 385 mm (1978) to 1162 mm (1984), while average annual precipitation is 585 mm. Air humidity deficit also was susceptible to fluctuations. In 1972, 1978, 1985 and 1989 the beginning of vegetative season was clear droughty; air humidity deficit in May-June 1972 and 1978 was more over 60% in comparison with multiyear average amount. The unfavourable moistening conditions as a whole was during all-vegetative season of 1972 and 1978–1979.

The beginning of large-scale fir-spruce forest decline in the basin of the river Bol'shaya Peysa is stating since early 1970s. In 1989 was happened a merging of some isolated plots, and the forest decline spread all over the vast territory. According to the detection of satellite images, carried out by Norihisa Kamibayashi, in 1983 area of declined forests range up to 122, in 1986 – 144, in 1989 – 189, and in 1991 – 222 km². In the basin of the river Edinka group plots of forest decline were beginning to appear in 1980, its square gradually increased but scale of

the decline didn't reached size of the plots as in the basin of the river Bol'shaya Peya. The results of the repeated inspections of constant sample plots testify that the forest decline is going by different rates, depending on stand condition and influence of external factors. Forest plots that have been occurred on the boundary with clear-cuttings dried during the investigation period to a greater degree; its stand practically dried. In the basin of the river Edinka declining plots had relatively stable condition.

The collected materials on large-scale forest decline in the Russian Far East undoubtedly testify that this process is developing under the influence of a complex of factors of different nature — biotic, abiotic and anthropogenic. The role of the individual factors in the forest decline is different. In this connection all the factors associated with the forest decline can be divided into causing, predisposing and accompanying (Man'ko, Gladkova, 1995). Among the factors, causing the large-scale fir-spruce forest decline in the Russian Far East should be named first of all the drought that periodically acts on the vast territory. Considering the peculiarities of the main forest forming species, the droughts create stress situation for stands which reaction depends on calendar and ontogenetic age. Furthermore, the droughts that deteriorate the stands can contribute to increase of number of defoliators and trunk pests, along with a development of fungi diseases that affect assimilative system. These factors can be related to accompanying but playing a great role in "functioning" and dynamics of declining plots.

Stress situation for dark-coniferous species was caused by influence of a drought owing to a sharp disturbance of water balance of trees with intensive transpiration of upper canopy, but not in the cause of strong desiccation of upper soil horizons to critical values. High safekeeping of understorey and its intensive growth after forest decline are demonstrated that.

Under the large-scale fir-spruce forest decline destabilisation of exchange of matter and energy happens, which is expressed by a rate of turnover and volume of products, participating in this process. When intensive forest decline takes place, volley supply of dead needles occurs, and relatively high increase of other woody components (bark, knots, trunks and its parts) goes on. In relatively short period up to 500 kg·ha⁻¹ of nitrogen and ash elements with deadwood may come to soil. The acceleration of forest litter decomposition, change of composition of lower vegetative layer, mosaic development of turf process — all of these may be considered as positive features of the turnover. However, accumulation of deadwood and woody components in forest litter influenced negatively on soil condition of forest growth.

In the development of large-scale fir-spruce forest decline in the region is blamed for complex of causes as a whole, but instability of nature conditions in a transition zone from land to ocean should be taken as leading ones. Especially unfavourable are drought periods that give rise to stress situation for spruce. For the most part forest decline is developed against the background of high age of stands, which to a large degree are struck by rots and fungi diseases. These stands are rather common in the peculiar soil-hydrological conditions.

The fir-spruce forests of the Russian Far East, considering their repeated large-scale declines, are presented a matter of the economic hazard. Existence of

vast areas of nature and virgin forests, which prevailing generation has a high calendar and ontogenetic age, do not eliminates the possibility of new large-scale decline in future under the influence of severe stress factors. Because of this, the fir-spruce forests ought to be into the constant view of foresters. First and foremost the forest-managing efforts must be directed on predisposing factors: reduction of the proportion of mature and over-mature stands in structure of the forests, a formation of mixed stands, maintaining of multi-age of stands, and selection of spruce tolerant to stress situation.

Deterioration of dark-conifer forest condition and their decline has been going on the different continents. Spruce species of different ecology, which above all variously disposed to warmth and moisture, are susceptible to decline. Hand in hand with hydrophilic and relatively thermophilic species (*Picea rubens*, *P. sitchensis*) dies hydrophilic and yet more frost-tolerant *P. jezoensis* as well as *P. abies*, which slightly higher tolerant to temperature and moisture fluctuations. *P. glauca* and its hybrid (*P. lutzii*) that characterised by wide ecological amplitude also die. Production as well as natural and virgin forests, not exhibiting direct anthropogenic influence, are susceptible to decline. Attention is drawn to the fact that dark-conifer forests subjected to decline exhibits influence of the ocean air masses. At least, natural large-scale forest decline with predominance of spruce was not noted in the typical continental areas. This allows proposing that the main cause that gives rise to large-scale forest decline is instability of weather-climatic situation in transition zone from land to ocean. This may be a result of phenomenon influence of El Niño on atmospheric processes in boreal zone.

Large-scale forest decline of dark-conifer forests occurs not only in the zone of influence of industrial pollution, but also in the areas free of stable air contamination (Primorye, Priamrye, Alaska); this allows to dispose to pollution as additional stress, superimposing on natural processes.

Dark-conifer forest decline gives rise to essential economic and ecological problems (loss of wood and recreation attractiveness, deterioration of sanitary and fire conditions, change of hydrological regimen of the area, acute change of the rate of exchange of matter and energy including oxygen-production and carbon-accumulation functions of forests). All these factors result in necessity to organise the monitoring of the forests, playing remarkable role in the stabilisation of global ecological situation. Forest deteriorating problem came out from the national boundaries and requires co-ordination of investigations in international scale; it is possible under the aegis of the IUFRO. The problem has universal biological significance connected with stability of nature systems to the changeable environmental conditions and with the elucidation of reasons, and forecasting of this phenomenon.

To include to further aims, connected with the large-scale dark-conifer forest decline, it is necessary to name: fundamental study of the main forest-forming species, looking for biochemical indicators of stress situations, searching of methods of early giving of diagnosis of stand's weakness, and microbiological soil characteristics in the declining stands. The integrated interdisciplinary research activities are the matter of necessary significance.

Литература

- Абражко В.И. Водный стресс в сообществах еловых лесов центральной части Русской равнины // Ботан. журн. 1988а. Т. 73, № 4. С. 563-573.
- Абражко В.И. Водный стресс в сообществах еловых лесов при избыточном увлажнении // Ботан. журн. 1988б. Т. 73, № 5. С. 709-716.
- Абражко В.И. Водный режим еловых лесов южной тайги // Проблемы лесоведения и лесной экологии: Тез. докл. Ч. I. М., 1990. С. 132-134.
- Абражко В.И. О водном режиме еловых деревьев в засуху // Лесоведение. 1994. № 6. С. 36-45.
- Абражко В.И., Абражко М.А. Водный режим растений еловых лесов в засуху // Ботан. журн. 1993. Т. 78, № 10. С. 32-44.
- Азбукина З.М. Ржавчинные грибы Дальнего Востока. М.: Наука, 1974. 527 с.
- Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 287 с.
- Алексеев А.М. Водный режим растения и влияние на него засухи. Казань: Татгосиздат, 1948. 355 с.
- Алексеев В.А. Цинк в растениях // Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. С. 37-48.
- Алешинская З.В., Болиховская Н.С., Болиховская В.Ф. Миграция высотных поясов растительности Среднего Сихотэ-Алиня в голоцене // Докл. АН СССР. 1980. Т. 254, № 4. С. 949-953.
- Алисов Б.П., Полтараус Б.В. Климатология. Изд. МГУ, 1962. 228 с.
- Андерсон П.М., Брубейкер Л.Б. История растительности и развития бореального леса на севере Центральной Аляски в позднечетвертичное время // Эволюция климата и растительности Берингии в позднем кайнозое. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1995. С. 24-71.
- Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия ландшафтов и техногенез. М.: Наука, 1990. 196 с.
- Бабурин А.А. К флоре и растительности Верхне-Бикинского плато // Бюл. Гл. ботан. сада. 1976. Вып. 99. С. 32-33.
- Бабурин А.А. Элементарный химический состав растений Дальнего Востока // Экосистемы юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 36-42.
- Базунова Г.Г., Ворошилова Г.И., Калужная С.П. Морфолого-анатомическая характеристика надземных органов хвойных Дальнего Востока // Стационарные исследования в лесах Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 59-72.
- Бардюк В.В., Ивашов П.В. О ландшафтно-геохимических исследованиях на касситеритово-сульфидном рудопроявлении юга Дальнего Востока // Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М.: Наука, 1968. С. 156-169.
- Башарина Л.А. Водные вытяжки пепла и газы пепловой тучи вулкана Безымянного // Бюл. вулканол. ст. 1958. № 27. С. 38-42.
- Белозерский Г.Н., Казаков М.И., Костенков Н.М. Превращение железа в почвах с переменным окислительно-восстановительным режимом // Процессы почвообразования и превращение элементов в почвах с переменным режимом увлажнения. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. С. 107-116.
- Бикин: опыт комплексной оценки природных условий, биоразнообразия и ресурсов. Владивосток: Дальнаука, 1997. 156 с. + 8 вкл.
- Бобров Е.Г. История и систематика рода *Picea* A. Dietr. // Новости систематики высших растений. 1970. Л.: Наука, 1971. Т. 7. С. 5-40.
- Богатырев К.П. Почвы и причины усыхания ельников на Майхэ-Даубихинском плато // Тр. ДВ фил. АН СССР. Сер. ботан. 1956. Т. 3 (5). С. 105-117.
- Богатырев Л.Г. Образование подстилок — один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501-511.
- Будзан В.И. Горизонтальная структура выдела ельников Сихотэ-Алиня // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск, 1980. С. 35-41.
- Будзан В.И. Хозяйственное использование ельников Сихотэ-Алиня с учетом их структуры // Итоги изучения лесов Дальнего Востока и задачи интенсификации многоцелевого лесопользования: Тез. докл. регион. науч.-практич. конф. Хабаровск, 26-29 сент. 1989 г. С. 148-149.
- Бузыкин А.И. Влияние лесной подстилки и мохового покрова на температурный режим почв // Роль подстилки в лесных биогеоценозах: Тез. докл. всесоюз. совещ. М., 1983. С. 30-31.
- Булах Е.М. Макромицеты пихтово-еловых лесов // Биоценологические исследования на Верхнеуссурийском стационаре. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 73-81.
- Бутовец Г.Н., Гладкова Г.А. Подзолистые иллювиально-гумусово-железистые почвы острова Большой Шантар // Почвоведение. 1989. № 2. С. 13-22.
- Бызова Е.В., Соколова Т.А. Аморфные и слабоокристаллизованные компоненты илистых фракций буроземов и подзолов южного Приморья // Тез. докл. VIII съезда ВОП. Ташкент, 1985. Т. 1. С. 155.
- Быковская Т.К. Влияние лесной подстилки различных типов леса на направление почвообразовательного процесса // Роль подстилки в лесных биогеоценозах: Тез. докл. всесоюз. совещ. М., 1983. С. 33-35.
- Вайцис М.В., Ворон В.П. Леса и охрана природы в Австрии // Лесн. хоз-во. 1991. № 3. С. 52-53.
- Васенев И.И., Таргулян В.О. Ветровал и таежное почвообразование. М.: Наука, 1995. 247 с.
- Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 182 с.
- Васильев В.Н. Ботанико-географическое районирование Восточной Сибири // Уч. зап. Ленингр. пед. ин-та им. А.И. Герцена. Каф. физ. географ. 1956. Т. 116. С. 61-102.
- Васильев И.С. Несколько данных о водном режиме подзолистых почв в засушливые 1938 и 1939 годы // Почвоведение. 1941. № 4. С. 30-41.
- Васильев Н.Е., Скрипченко А.Ф. Концентрация микроэлементов: олова, свинца, цинка, меди, титана, марганца, никеля и бария лесной растительностью на оловорудном месторождении (Западный Сихотэ-Алинь) // Уч. зап. ДВГУ. Владивосток, 1972. Т. 57. С. 66-73.
- Васильев Я.Я. Лесные ассоциации Супутинского заповедника Горнотаежной станции // Тр. Горнотаеж. ст. АН СССР. 1938. Т. 2. С. 5-136.
- Величко А.А. Зональные и макрорегиональные изменения ландшафтно-климатических условий, вызванных парниковым эффектом // Изв. РАН. Сер. географ. 1992. № 2. С. 89-102.
- Вильямс В.Р. Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения. 6-е изд. М.: Сельхозгиз, 1949. 472 с.
- Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555-571.
- Витвицкий Г.Н. Климат // Южная часть Дальнего Востока. М.: Наука, 1969. С. 70-96.
- Воронков П.П. Формирование химического состава атмосферных вод и влияние его на почвенные растворы и склоновые воды // Тр. ГТИ. 1963. Вып. 102. С. 7-42.
- Воронцов А.И. Некоторые закономерности усыхания лесов в различных физико-географических условиях // Науч.-техн. конф. Московск. лесотехн. ин-та: Тез. докл. М., 1958. С. 16-19.
- Воронцов А.И. Патология леса. М.: Лесн. пром-сть. 1978. 272 с.
- Ворошилов В.П. Масса хвой подроста ели аянской и пихты белокорой на сплошных вырубках пихтово-еловых лесов // Лесоведение. 1968. № 4. С. 90-93.
- Ворошилов В.П. Повреждение поздними заморозками подроста ели аянской и пихты белокорой на сплошных вырубках // Лесовосстановление в Приморском крае. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1969. С. 69-73.
- Воскресенский С.С. Геоморфология СССР. М.: Высш. шк., 1968. 368 с.
- Выгодская Н.Н., Лебедева М.Г. Влияние фотосинтетически активной радиации на рост и развитие подроста хвойных пород Дальнего Востока // Вестн. МГУ. Сер. географ. 1977. № 5. С. 119-126.
- Гавренков Г.И. Механический состав почв Верхнеуссурийского стационара // Комплексные исследования лесных биогеоценозов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 55-73.
- Гавренков Г.И., Костенкова А.Ф., Сапожников А.П. Сравнительная характеристика органического вещества почв ельников и кедровников Верхнеуссурийского стационара // Экология и продуктивность лесных биогеоценозов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 36-45.
- Глаголев В.А. Особенности лиственных лесов Среднего Сихотэ-Алиня в связи с пожарами // Лесоведение. 1976. № 5. С. 69-77.
- Глаголев В.А. Восстановительно-возрастная динамика лиственных лесов бассейна р. Бикин (Средний Сихотэ-Алинь) // Динамические процессы в лесах Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 91-103.

Гладкова Г.А. Особенности почвообразования в усыхающих пихтово-еловых лесах Приморья. Автореф. дис. канд. биол. наук. Владивосток: Дальнаука, 1997. 19 с.

Гладкова Г.А. Химический состав ели аянской в усыхающих пихтово-еловых лесах // Леса и лесообразовательный процесс на Дальнем Востоке: Материалы междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рожд. Б.П. Колесникова. Владивосток: БПИ ДВО РАН, 1999. С. 84-85.

Гладкова Г.А., Манько Ю.И. О круговороте веществ в усыхающих пихтово-еловых лесах // Растения муссонного климата: Тез. 2-й междунард. конф. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 49-51.

Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н. Лесные вулканические почвы острова Кунашир // Почвоведение. 1988. № 2. С. 54-67.

Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н. Содержание микроэлементов в почвах под усыхающими пихтово-еловыми лесами Центрального Сихотэ-Алиня // Тез. докл. II съезда Общества почвоведов. СПб., 27-30 июня 1996. Кн.2. СПб., 1996. С. 167-168.

Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н., Манько Ю.И., Захаров С.М. Исследование химического состава снеговых вод в связи с региональной деградацией пихтово-еловых лесов в Приморском крае // География и природные ресурсы. 1993. № 2. С. 58-62.

Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н., Манько Ю.И. Мониторинг лесных почв в зоне усыхания пихтово-еловых лесов Приморского края // Мониторинг лесных и сельскохозяйственных земель Дальнего Востока. Владивосток, 1997. С. 8-18.

Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высш. шк., 1988. 328 с.

Говоренков Б.Ф. К вопросу о почвенных условиях усыхающих ельников Хабаровского края // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1966. Вып. 8. С. 134-143.

Гожев А.Д. Леса Удского района // Тр. СОПС АН СССР. Сер. дальневост. 1934. Вып.3. С. 53-106.

Голов В.И. Содержание микроэлементов в основных почвах равнин Приморья и Приамурья // Генезис бурых лесных почв. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1972. С.161-171.

Григорьев А.Ю., Серебряный М.М. Влияние кислых атмосферных осадков на свойства лесных почв и устойчивость лесных экосистем // Диагностика деградации и воспроизводства лесных почв: Тез. докл. Всесоюз. конф. Тарту, 1987. С.51.

Гришина Л.А. Диагностические показатели лесорастительных свойств почв // Диагностика деградации и воспроизводства лесных почв: Тез. докл. Всесоюз. конф. Тарту, 1987. С. 133.

Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения: Советские почвоведы к XI Международному конгрессу. М.: Наука, 1978. С. 42-47.

Гришина Л.А., Самойлова Е.М. Учет биомассы и химический анализ растений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. 100 с.

Груза Г.В. Климатическая изменчивость и прогноз изменений климата // Природа. 1992. № 8. С. 28-36.

Гуральчук Ж.З. Эколого-физиологические аспекты действия повышенных концентраций цинка на растения // Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине: Тез. докл. XI Всесоюз. конф. Самарканд, 1990, С. 278-280.

Гурский А.В. Интродукция древесных растений в Таджикистане (основные результаты и задачи будущих лет) // Интродукция растений в Памирском ботаническом саду. Душанбе, 1972. С. 38-46.

Деревья и кустарники СССР: Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1949. Т. 1. 463 с.

Добровольский В.В. География микроэлементов и глобальное рассеяние. М.: Наука, 1983. 272 с.

Добровольский В.В. Основные черты геохимии цинка и кадмия в биосфере // Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. С. 7-18.

Добровольский В.В. Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы // Почвоведение. 1997. № 4. С. 431-441.

Добровольский В.В., Мельчаков Ю.Л. Динамика массообмена металлов в ландшафтно-геохимических условиях Среднего Урала // Природные и антропогенно измененные биохимические циклы. М.: Наука, 1990. С. 89-99: Тр. Биогеохим. лаб. Т. 21.

Добровольский В.В., Раскисинская М.В. Содержание и биологический круговорот рассеянных металлов в ельниках Южной Карелии // Геохимия ландшафтов древних массивов. М.: МФГО, 1976. С. 3-24.

Дождевые паводки 1984 г. и проблемы развития исследований экстремальных гидрометеорологических явлений на Дальнем Востоке / Ред. Глубоков В.Н. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 136 с. (Тр. Дальневост. Ордена Красн. Знамени регион. НИИ; Вып. 133).

Дорогина Ю.А. Флора и растительность бассейна Уды. Новосибирск: Наука, 1973. 150 с.

Дроздов О.А., Григорьева А.С. Влагооборот в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 315 с.

Дуплищев И.Т. Развитие, строение и особенности таксации разновозрастных елово-пихтовых насаждений Нижнего Амура // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1969. Вып. 9. С. 46-79.

Дуплищев И.Т. Спелости и возрасты рубки еловых насаждений нижнего Амура // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1971. Вып. 11. С. 86-95.

Дуплищев И.Т., Челышева Л.П. О качественном состоянии елово-пихтовых древостоев нижнего Амура // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1966. Вып. 8. С. 34-59.

Дылис Н.В., Вуппер П.Б. Леса западного склона Среднего Сихотэ-Алиня. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 335 с.

Дюшофур Ф. Основы почвоведения. М.: Прогресс, 1970. 591 с.

Еловые леса Шантарских островов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. 135 с.

Елпатьевский П.В. Химический анализ снеговых вод и его изменение техногенными факторами // Геохимия зоны гипергенеза и техническая деятельность человека. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 48-56.

Елпатьевский П.В., Аржанова В.С. Лизиметрические исследования как метод изучения современных процессов почвообразования // Генезис и биология почв юга Дальнего Востока: К 70-летию со дня рожд. Г.И. Иванова. Владивосток: ДВО РАН, 1994. С.16-21.

Еришов Ю.И. Бурные лесные почвы высокой поймы Нижнего Амура (Удиль-Кизинская низменность) // Ландшафты юга Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1973. С. 133-139.

Еришов Ю.И. Закономерности почвообразования и выветривания в зоне перехода от Евразийского континента к Тихому океану. М.: Наука, 1984. 262 с.

Еришов Ю.И., Илев А.М. Генезис и география некоторых почв Приамурья // Почвоведение. 1981. № 9. С. 5-18.

Ефимов Н.Н. Геохимическая нагрузка на животный организм в условиях техногенного загрязнения тяжелыми металлами // Биогеохимические ореолы рассеяния химических элементов в экосистемах Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. С. 36-50.

Ефремов Д.Ф., Выводцев Н.В. Типы сукцессий модельного леса «Гассинский» // Модельный лес «Гассинский»: Проблемы организации многоцелевого лесопользования. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1999. С. 31-40.

Жохов П.И., Волков О.В. Отчет по лесопатологическому обследованию массивов Селихинского и Комсомольского лесхозов, Комсомольского и Буреинского лесхозов Хабаровского края за 1960 год / (Рукопись). 5-я Московская экспедиция центрального аэрофотолесоустроительного треста В/О «Леспроект». М., 1961.

Журнал очередного заседания лесного общества // Лесн. журн. 1911. Вып. 1-2. С. 249-260.

Зайдельман Ф.Р. Глееобразование - глобальный почвообразовательный процесс // Почвоведение. 1994. № 4. С. 21-31.

Зегерева Т.С., Базилинская М.В. О взаимодействии воднорастворимого органического вещества с бентонитом // Почвоведение. 1976. № 11. С. 137-143.

Зеликов В.Д., Мальцев Г.И. Почвоведение с основами агрохимии. М.: Агропромиздат, 1986. 238 с.

Зиганшин З.А., Карбаинов Ю.М., Киселев В.В. и др. Пространственное распределение усыхающих темнохвойных насаждений Хамар-Дабана // Экологическая роль горных лесов: Тез. докл. Всесоюз. конф. Бабушкин, 1986. С. 107-108.

Зимовец Б.А. Особенности ортоэлювиального накопления и перераспределения железа при буроземообразовании в Приамурье // Почвоведение. 1962. № 7. С. 37-45.

Зимовец Б.А. Почвенно-геохимические процессы муссонно-мерзлотных ландшафтов. М.: Наука, 1967. 167 с.

Золотарев С.А. Влияние свойств почв на усыхание аянских темнохвойных лесов базальтовых плато Южного Приморья. Хабаровск. 1949. 147 с. (Рукопись). Фонды ДальНИИЛХ.

Золотарев С.А. Заболачивание и усыхание некоторых ельников в условиях базальтовых плато Южного Приморья // Сб. работ ДальНИИЛХ. 1950а. Вып. 2. С. 81-103.

Золотарев С.А. О биоэкологических свойствах ели аянской // Там же. 1950б. С. 29-47.

Золотарев С.А. О влиянии главнейших хвойных пород Дальнего Востока на почву // Почвоведение. 1953. № 2. С. 43-51.

Золотарев С.А. Взаимодействие между почвой и аянским темнохвойным лесом // Тр. Ин-та леса АН СССР. 1954. Т.23. С. 228-304.

Золотарев С.А. Леса и почвы Дальнего Востока. М.: Изд-во с.-х. лит.-ры, журн. и плакатов, 1962. 168 с.

Золотарев Т.Е. Хвойные экзоты в Чуйской долине. Фрунзе: Илим, 1971. 179 с.

Зонн С.В. Буроземообразование, псевдоподзоливание и подзолообразование // Почвоведение. 1966. № 7. С. 5-14.

Зонн С.В. О почвообразовании, генетических особенностях и освоении почв в КНДР // Генезис и география почв зарубежных стран по исследованиям советских географов. М.: Наука, 1978. С. 58-82.

Зонн С.В. Железо в почвах (генетические и географические аспекты). М.: Наука, 1982. 207 с.

Зонн С.В. Современные проблемы генезиса и географии почв. М.: Наука, 1983. 168 с.

Зонн С.В. Тропическое почвоведение (уч. пособие). М.: Изд-во УДН, 1986. 400с.

Зонн С.В., Карпачевский Л.О. Проблемы лесного почвоведения и современные методы лесорастительной оценки почв // Почвоведение. 1987. № 9. С. 6-15.

Зонн С.В., Карпачевский Л.О., Стефин В.В. Лесные почвы Камчатки. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 254 с.

Зонн С.В., Печаева Е.Г., Сапожников А.П. О контрастности почвообразования в юго-восточной части Дальневосточного Приморья // Проблемы типологии и классификации лесов. Свердловск, 1972. С. 135-145.

Зонн С.В., Рукава А.Н. Методы определения форм железа в почвах // Почвоведение. 1978. № 2. С. 89-101.

Зонн С.В., Травлев А.П. Географо-генетические аспекты почвообразования, эволюции и охраны почв. Киев: Наук. думка, 1989. 216 с.

Зонн С.В., Урушадзе Т.Ф. Научные основы и методические указания к биогеоценотическому изучению почв горных лесов. Тбилиси, 1974. 115 с.

Иванов Г.И. Почвы бассейна озера Кизи в Северном Сихотэ-Алине // Вопр. сельского и лесного хоз-ва Дальнего Востока. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1961. Вып. 3. С. 217-225.

Иванов Г.И. Почвы темнохвойных лесов Приморья // Особенности почвообразования в зоне бурых лесных почв. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1967а. С. 30-32.

Иванов Г.И. Почвенные условия некоторых типов хвойно-широколиственных лесов Сувунтинского заповедника // Комплексные стационарные исследования лесов Приморья. Л.: Наука, 1967б. С. 47-57.

Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.

Иванов Г.И. Проблемы генезиса и классификации почв // Процессы почвообразования и превращение элементов в почвах с переменным режимом увлажнения. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. С. 5-15.

Иванов Г.И. О некоторых тенденциях в трактовке вопросов генезиса почв // Почвоведение. 1984. № 1. С. 92-102.

Иванов Г.И., Днепровская Л.П., Колмеев И.И. Изменение минеральной части почв при буроземо- и подзолообразовании на плотных породах в Приморье // Почвы зоны БАМ. Новосибирск: Наука, 1979. С. 230-237.

Иванов Г.И., Хавкина Н.В. Некоторые данные о почвах темнохвойных лесов Южного Сихотэ-Алиня // Биогеоценотические исследования в лесах Приморья. Л.: Наука, 1968. С. 43-52.

Ивашкевич Б.А. Дальневосточные леса и их промышленная будущность. М.; Хабаровск: ОГИЗ-ДальГИЗ, 1933. 168 с.

Ивашов П.В. Влияние биогеохимических процессов на термодинамическое равновесие соединений марганца в почвах юга Дальнего Востока // Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М.: Наука, 1968. С. 175-187.

Ивашов П.В. Минералогический состав бурых лесных почв, сформированных на кислых изверженных породах юга Дальнего Востока // Ландшафты юга Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1973. С. 140-148.

Ивашов П.В. Биогеохимическая индикация оловянной минерализации. М.: Наука, 1987. 247 с.

Ивашов П.В. Биогеохимическая индикация загрязнения среды тяжелыми металлами // Биогеохимические ореолы рассеяния химических элементов в экосистемах Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. С. 157-164.

Ивашов П.В. Биогеохимия внутрипочвенного выветривания. М.: Наука, 1993. 379 с.

Ивашов П.В., Бардюк В.В. Минералогия и геохимия бурых лесных почв на оловорудном месторождении Дальнего Востока // Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М.: Наука, 1968. С. 88-103.

Ивлиев А.М., Бабуринов А.А. О роли растений в круговороте марганца в условиях юга Дальнего Востока // Уч. зап. ДВГУ. Владивосток, 1972. Т. 57. С. 56-65.

Ивлиев Л.А., Кащеев М.А. Характер и последствия вреда, причиняемого пихтовой листоверткой-толстушкой в лесах Приморского края // Лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1970. Сб. 4. С. 131-140.

Ивлиев Л.А., Синчилина Е.М., Кащеев М.А., Кононов Д.Г. О вспышке массового размножения пихтовой листовертки (*Choristoneura tipiana* НВ.) в Приморском крае // Энтомологические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1970. С. 13-39.

Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 129 с.

Ильина Л.С., Карпачевский Л.О. Формы соединений железа и их использование для диагностики бурых лесных почв Сихотэ-Алиня // Почвоведение. 1988. № 10. С. 16-26.

Ильина Т.М. Химический состав хвои ели аянской в зависимости от ее возраста и положения в кроне // Структура и продуктивность лесных биогеоценозов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 157-161.

Ильина Т.М. Химический состав хвои ели аянской // Ель на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. С. 144-153.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

Кайрюкитис Л.А. Гибель лесов в странах Западной Европы и возможные последствия // Лесное хоз-во. 1989. № 5. С. 34-38.

Калининченко Е.П. Изменение физиологической направленности водного обмена и адаптация хвойных пород в связи с недостаточным увлажнением почвы // Итоги изучения лесов Дальнего Востока. Владивосток: ДВ филиал СО АН СССР, 1967. С. 320-322.

Калининченко Е.П. Изменение направленности физиологии водообмена и засухоустойчивости хвойных пород в условиях различного влагоснабжения почвы // Использование и воспроизводство лесных ресурсов Дальнего Востока: Тез. докл. Хабаровск, 1972. С. 145-148.

Калининченко Е.П. Изменение показателей водообмена и адаптационные признаки хвойных пород в условиях различного водоснабжения почвы // Физиология и экология древесных растений Приморья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 38-52.

Калининченко Е.П. Водный обмен главнейших хвойных пород южного Приморья // Проблемы физиологии и биохимии древесных растений. Вып. 3: Водный режим. Минеральное питание. Красноярск, 1974. С. 15-16.

Калининченко Е.П., Калининченко В.П. Влияние температуры и влажности воздуха на прирост по высоте подроста хвойных пород в условиях влажности почвы, близкой к оптимальной // Экология. 1974. № 3. С. 43-50.

Калининченко Е.П., Москаев А.П. Морозное пучение почвы как экологический фактор в лесах из ели аянской // Экология. 1975. № 2. С. 28-36.

Камибаяси Н. Мониторинг северных лесов // Restec. 1996. № 38. Р. 32-34. Яп. яз.

Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 312 с.

Карпачевский Л.О. Современные подходы к классификации лесной подстилки // Биогеоценотические исследования в лесах Южного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 5-12.

Карпачевский Л.О., Ильина Л.С. Почвы лесных биогеоценозов и их диагностика // Диагностика деградации и воспроизводства лесных почв: Тез. докл. Всесоюз. конф. Тарту, 1987. С. 15-16.

Карпачевский Л.О., Рожков М.Л., Карпачевский М.Л., Швиденко А.З. Лес, почва и лесное почвоведение // Почвоведение. 1996. № 5. С. 586-598.

Катаев О.А. Короеды и усыхание еловых лесов // Доклад на 29-м ежегодн. чтении памяти Н.А. Холодковского. Л.: Наука, 1977. С. 22-43.

Каурчиев И.С., Карпухин А.И., Степанова А.П. Водорастворимые железоорганические соединения почв таежно-лесной зоны // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 73-79.

Качур А.Н. Некоторые особенности химического состава атмосферных осадков в связи с техногенезом // Геохимия зоны гипергенеза и техническая деятельность человека. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 28-47.

Киселев В.Н., Киселева Е.В. Причины усыхания ельников на плакорах Беларуси // Лесн. хоз-во. 1999. № 4. С. 27-28.

Кислотные дожди. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 269 с.

Классификация почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1997. 235 с.

Клинов А.П. О глубине промерзания лесных почв Сахалина // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1965. Вып. 7. С. 183-194.

Кобрин Н.Ю., Беленец Ю.Е. Параметры почвенного плодородия, обеспечивающие заданный рост хвойных лесных культур плантационного типа // Продуктивность таежных биогеоценозов: Тез. докл. краев. науч. конф. Красноярск, 1986. С. 74.

Ковалев Б.И. Особенности массового усыхания еловых лесов в Вятско-Камском междуречье // Лесн. хоз-во. 1997. № 1. С. 42-43.

Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 263 с.

Козин Е.К. О цикличности развития девственных лесов Сихотэ-Алиня // Лесоведение. 1982. № 37. С. 24-31.

Козин Е.К. О цикличности и причинах массовых усыханий лесов // Общие проблемы биогеоценологии: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. М., 1986. Кн. 1. С. 83-85.

Козин Е.К. Глобальная цикличность возрастного развития девственных хвойных лесов // Девственные леса мира и их роль в глобальных процессах: Тез. докл. междунар. конф. 15-20 авг. 1999. Хабаровск, 1999. С. 22-23.

Козина Л.В. Распределение радиоуглерода в разновозрастной хвое ели аянской и кедра корейского // Стационарные исследования в лесах Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 35-44.

Колесников Б.П. Растительность восточных склонов Среднего Сихотэ-Алиня // Тр. Сихотэ-Алинского заповедника. 1938. Вып. 1. С. 25-207.

Колесников Б.П. Очерк растительности Дальнего Востока. Хабаровск, 1955. 104 с.

Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 2 (4). С. 1-261: Тр. ДВ фил. АН СССР. Сер. ботан.

Колесников Б.П. К вопросу о классификации форм динамики лесного покрова // Материалы по динамике растительного покрова. Владимир, 1968. С. 33-36.

Коломеец И.И. Внутрипочвенное перераспределение полуторных окислов и кремнезема в горно-лесных почвах восточного макросклона Среднего Сихотэ-Алиня. Владивосток, 1987а. 89 с. Рукопись деп. в ВИНТИ.

Коломеец И.И. Горно-подзолистые почвы Среднего Сихотэ-Алиня в ландшафтах быстрого водообмена // Генезис, химия и биология почв Приморья и Приамурья. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987б. С. 15-31.

Комин Г.Е. Возможная реакция лесообразовательного процесса на грядущие изменения климата // Лесоведение. 1996. № 5. С.34-41.

Короткий А.М. Мерзлотные и нивационные образования в вершинном поясе Сихотэ-Алиня // Климатическая геоморфология Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 100-123.

Короткий А.М., Никольская В.В., Скрыльник Г.П. Сходство и различие в общем и частном морфолитогенезе в условиях муссонного и континентального климата Дальнего Востока // Климатическая геоморфология Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 124-138.

Костенкова А.Ф. Химический состав почв хвойно-широколиственных лесов в зависимости от топологических условий // Экология и продуктивность лесных биогеоценозов (Верхнеуссурийский стационар). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 46-58.

Костенкова А.Ф. Роль подстилки в биогеохимическом круговороте веществ в хвойно-широколиственных лесах // Роль подстилки в лесных биогеоценозах: Тез. Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1983. С. 99.

Кошкарёв А.В. Дистанционные методы в крупномасштабном картографировании интенсивности и динамики усыхания пихтово-еловых лесов верховий реки Большая Уссувка // Локальный мониторинг растительного покрова. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 22-36.

Кошкарёв А.В., Майорова Л.А., Петропавловский Б.С. Методы мониторинга усыхающих пихтово-еловых лесов верховий реки Большая Уссувка // Прикладные аспекты программы «Человек и биосфера». М., 1983. С. 181-195.

Кошкарёв А.В., Майорова Л.А., Петропавловский Б.С., Пшеничникова Н.Ф. Принципы организации комплексных исследований с целью разработки методов локального мониторинга растительного покрова (на примере усыхающих пихтово-еловых лесов Среднего Сихотэ-Алиня) // Локальный мониторинг растительного покрова. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 11-21.

Кошкарёв А.В., Петропавловский Б.С. К методике анализа и прогнозного картографирования усыхания пихтово-еловых лесов Среднего Сихотэ-Алиня по многозональным аэрофотоматериалам // Географ. и природ. ресурсы. 1980. № 2. С. 137-143.

Критерии и индикаторы устойчивого управления лесами Российской Федерации. М.: ВНИИЦлесресурс, 1996. 15 с.

Кузенева О.И. Палы тайги Приамурья // Лесн. журн. 1914. Вып. 9, 10. С.1371-1405.

Кузнецов Н. Задвинские ельники. К вопросу о массовом подсыхании ели и в связи с ним о некоторых изменениях в хозяйстве пиловочных дач // Лесн. журн. 1912. Вып.10. С. 1165-1204.

Кулакова А.П. О развитии в четвертичный период береговых линий Охотского и Японского морей // История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Юг Дальнего Востока. М.: Наука, 1972. С. 307-339.

Куренцов А.И. К вопросу об усыхании ели аянской в горах Сихотэ-Алиня // Комаровские чтения. Владивосток: ДВ фил. АН СССР, 1950а. Вып. 2. С. 3-19.

Куренцов А.И. Вредные насекомые хвойных пород Приморского края / Тр. ДВ фил. АН СССР. Сер. зоолог. Владивосток, 1950б. Т. 1 (4). С. 1-256.

Куренцова Г.Э. Растительный покров приуссурийской части бассейна среднего Амура. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1965. 72 с.

Куренцова Г.Э. Естественные и антропогенные смены растительности Приморья и Южного Приамурья. Новосибирск: Наука, 1973. 230 с.

Лесное хозяйство на рубеже ХХ1 века / Ред. Исаев А.С. М.: Экология, 1991. 333 с.

Летунова С.В. Биогеохимические критерии оценки ответных реакций микроорганизмов на загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами // Природные и антропогенно измененные биохимические циклы: Тр. Биогеохим. лаб. М.: Наука, 1990. Т. 21. С. 72-88.

Ливеровский Ю.А. Почвы // Южная часть Дальнего Востока. М.: Наука, 1969. С. 159-205.

Ливеровский Ю.А. Основные особенности географии и генезиса почв южной половины Дальнего Востока // Генезис бурых лесных почв. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1972. С. 7-19 / Тр. БПИ. Т. 10 (113).

Ливеровский Ю.А. Почвы СССР. Географическая характеристика. М.: Мысль, 1974. 462с.

Ливеровский Ю.А., Рубцова Л.П. Таежные почвы Приамурья // Генезис и география почв. М.: Наука, 1966. С.140-156.

Любарский Л.В. Усыхание горных пихтово-еловых лесов Майхинского опытного лесхоза ДальНИИЛХ. Хабаровск, 1949. 186 с. (Рукопись). Фонды ДальНИИЛХ.

Любарский Л.В. Санитарное состояние лесов Дальнего Востока и пути их оздоровления // Вопросы развития лесного хозяйства и лесной промышленности Дальнего Востока. М.; Л.: Изд. АН СССР, 1955. С. 94-112.

Любарский Л.В. Пути улучшения санитарного состояния лесов Дальнего Востока // Сб. тр. ДальНИИЛХ, 1964. Вып. 6. С. 40-55.

Любарский Л.В., Васильева Л.Н. Дереворазрушающие грибы Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1975. 164 с.

Любарский Л.В., Соловьев К.П. Об усыхании елово-пихтовых лесов Приамурья и Приморья // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1962. Вып. 4. С. 84-105.

Любарский Л.В., Соловьев К.П. Лесохозяйственные мероприятия, направленные на снижение потерь, вызванных массовым усыханием елово-пихтовых лесов на Дальнем Востоке // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1965. Вып. 7. С. 329-344.

Любарский Л.В., Соловьев К.П. Явление усыхания ельников // Леса Дальнего Востока. М.: Лесн. пром-сть, 1969. С. 127-131.

Ляхов М.Е. Влияние рельефа и морей на температуру воздуха Камчатки // Природные условия и районирование Камчатской области. М.: Изд. АН СССР. 1963. С. 98-115.

Майорова Л.А. Изучение пространственно-временной динамики возобновительного процесса в усыхающих пихтово-еловых лесах (стационар «Верховья реки Большая Уссувка») // Итоги изучения лесов Дальнего Востока и задачи интенсификации многоцелевого лесопользования: Тез. докл. Хабаровск, 1989. С. 111-112.

Майорова Л.А. Усыхание пихтово-еловых лесов в Приморском крае // Природоохранные территории и акватории Дальнего Востока и проблемы сохранения биологического разнообразия: Материалы 2-й науч. конф., посвящ. 60-летию Уссурийского заповедника. Владивосток: Дальнаука, 1994. С. 125-127.

Майорова Л.А., Максимова В.Ф., Петропавловский Б.С., Пишеничникова Н.Ф. Особенности усыхания пихтово-еловых лесов верховий р. Большая Уссурка Приморского края // Леса и лесообразовательный процесс на Дальнем Востоке: Материалы междунар. конф., посвящ. 90-летию Б.П. Колесникова. Владивосток: БПИ ДВО РАН, 1999. С. 42-44.

Майорова Л.А., Пишеничникова Н.Ф., Пишеничников Б.Ф. Некоторые результаты комплексных исследований в усыхающих пихтово-еловых лесах Среднего Сихотэ-Алиня // Локальный мониторинг растительного покрова. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 37-53.

Макаревич Р.А., Обухов А.И., Зырин Н.Г. Влияние техногенных факторов на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях Приморского края // Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине: Тез. докл. Ивано-Франковск, 1978. Т.2. С. 204.

Макеев О.В. Криогенные почвы // Криогенные почвы и их рациональное использование. М.: Наука, 1977. С. 5-13.

Максимова В.Ф., Майорова Л.А., Петропавловский Б.С. и др. Межкомпонентные связи в усыхающих пихтово-еловых лесах Среднего Сихотэ-Алиня // Общие проблемы биогеоценологии: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. М., 1986. Ч. 1. С. 85-87.

Манько Ю.И. Массовое усыхание пихтово-еловых лесов в левобережном Приамурье // Тез. докл. на юбил. сессии, посвящ. 30-летию ДВ филиала СО АН СССР. Сер. биолог. Владивосток, 1962. С. 53-55.

Манько Ю.И. Материалы к изучению усыхания пихтово-еловых лесов левобережного Приамурья // Лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВ филиал СО АН СССР, 1965. Вып. 1. С. 21-73.

Манько Ю.И. Пихтово-еловые леса северного Сихотэ-Алиня. Л.: Наука, 1967. 244 с.

Манько Ю.И. Ель аянская. Л.: Наука, 1987. 280 с.

Манько Ю.И. Региональная деградация темнохвойных лесов // Вестн. ДВО АН СССР. 1990. № 4. С. 82-91.

Манько Ю.И., Азбукина З.М. Грибные болезни хвои *Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr. и *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim. в насаждениях Дальнего Востока, пораженных усыханием // Микология и фитопатология. 1992. Т.26. С. 461-465.

Манько Ю.И., Ворошилов В.П. О северном пределе распространения ели *Picea ajanensis* в материковой части Дальнего Востока // Ботан. журн. 1971. Т. 56, № 9. С. 1343-1351.

Манько Ю.И., Ворошилов В.П. Аянские ельники верхней части бассейна р. Селемджа // Лесоводственные аспекты изучения растительного покрова Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1974. С. 22-71.

Манько Ю.И., Ворошилов В.П. Морфология *Picea ajanensis* в суровых ветровых условиях // Ботан. журн. 1976. Т. 61, № 1. С. 78-84.

Манько Ю.И., Ворошилов В.П. Еловые леса Камчатки. М.: Наука, 1978. 256 с.

Манько Ю.И., Ворошилов В.П., Сидельников А.Н. Ель *Picea ajanensis* s.l. на северо-западной границе своего распространения // Ботан. журн. 1977. Т. 62, № 1. С. 15-27.

Манько Ю.И., Гладкова Г.А. К истории гипотезы об усыхании пихтово-еловых лесов на Дальнем Востоке // Почвоведение. 1993. № 9. С. 94-97.

Манько Ю.И., Гладкова Г.А. О факторах усыхания пихтово-еловых лесов на Дальнем Востоке // Лесоведение. 1995. № 2. С. 3-12.

Манько Ю.И., Гладкова Г.А. Об усыхании темнохвойных лесов в Северной Америке // Лесоведение, 1999. № 5. С. 56-62.

Манько Ю.И., Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н. Почвы усыхающих темнохвойных лесов севера Приморского края // Почвоведение. 1992. № 6. С. 25-37.

Манько Ю.И., Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н., Камбияси Н. Мониторинг усыхания пихтово-еловых лесов в Центральном Сихотэ-Алине // Лесоведение. 1998. № 1. С. 3-16.

Манько Ю.И., Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н., Камбияси Н. Опыт мониторинга усыхания пихтово-еловых лесов в Центральном Сихотэ-Алине // Леса и лесообразовательный процесс на Дальнем Востоке: Материалы междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рожд. Б.П. Колесникова. Владивосток: БПИ ДВО РАН, 1999. С. 148-150.

Манько Ю.И., Розенберг В.А. Очерк растительности междуречья Амур-Амгунь // Растительность северных районов Дальнего Востока. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1967. С. 59-86.

Манько Ю.И., Сидельников А.Н. Влияние вулканизма на растительность. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 161 с.

Маслов А.Д. Усыхание еловых лесов от засух на европейской территории СССР // Лесоведение. 1972. № 6. С. 77-87.

Матвеева Л.А. Механизм разрушения алломосиликатных и силикатных минералов // Кора выветривания. 1974. Вып. 14, № 4. С. 227-238.

Махинова А.Ф. Почвенный покров Нижнего Приамурья. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 144 с.

Маценко А.Е. Пихты восточного полушария // Флора и систематика высших растений. М.: Л.: Наука, 1964. С. 3-103.

Маючая Л.В. О цикличности колебаний гидротермического режима юга Дальнего Востока // Сихотэ-Алинский биосферный район: фоновое состояние природных компонентов. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. С. 17-25.

Методические указания по изучению и морфологической характеристике лесных подстилок. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1988. 21 с.

Мигин К.В., Тагильцева В.М. Основные типы зимних термических повреждений деревьев и кустарников на юге Дальнего Востока // Эколого-физиологические особенности древесных пород на Дальнем Востоке в связи с перезимовкой. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 89-112.

Миньковский Г.М., Шоба С.А. Морфология и классификация органопротилей почв южной тайги // Почвоведение. 1994. № 9. С. 90-101.

Мозолева Е.Г., Галасева Т.В., Коршункова В.П. Анализ состояния ельников Волжско-Камского заповедника и причин их усыхания // Изв. вузов. Лесн. журн. 1980. № 4. С. 20-25.

Молчанов А.А. Лес и окружающая среда. М.: Наука, 1968. 246 с.

Мониторинг лесов Литвы. Каунас: Гирионис, 1991. 63 с.

Морозова О.В., Иванова Р.П. Химический состав усохшей древесины кедр корейского и ели аянской и возможности ее хозяйственного использования // Тез. докл. на сессии совета ДВ фил. СО АН СССР по итогам исследований 1958 г. Владивосток, 1959. С. 24.

Мотузова Г.В., Садовникова Л.К. Почвенно-химический мониторинг при локальном и глобальном загрязнении почв тяжелыми металлами // Проблемы почвоведения: Советские почвоведы к XIV Междунар. конгрессу почвоведов. М.: Наука, 1990. С. 37-45.

Мотузова Г.В., Смирнова Е.В. Медь, цинк и марганец в геохимически сопряженных рядах некоторых почв Сихотэ-Алинского заповедника // Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. С. 37-46.

Музарок Г.Г., Ильина Т.М. О накоплении элементов питания в хвойном подросте пихтово-елового леса // Вопросы генезиса, плодородия и охраны почв Дальнего Востока. Владивосток: ДВГУ, 1978. С. 124-137.

Мусорок Г.Г. К вопросу об обеспеченности элементами питания основных лесобразующих пород Сихотэ-Алиня // Лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВ филиал СО АН СССР, 1970. Вып. 4. С. 47-54.

Назарова М.М. К изучению грибов макромицетов в лесных фитоценозах Южного Приморья // Итоги изучения лесов Дальнего Востока. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1967. С. 67-69.

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Приморский край. Л.: Гидрометеоздат, 1988. Ч. 1-6, вып. 26. 416 с.

Недолужко В.А. Конспект дендрофлоры российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1995. 208 с.

Нестерович Н.Д., Дерюгина Т.Ф., Лучков А.И. Структурные особенности листьев хвойных. Минск: Наука и техника, 1986. 143 с.

Нечаева Е.Г. О некоторых вопросах генезиса горно-лесных почв Приморского края // Особенности почвообразования в зоне бурых лесных почв. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1967. С. 50-51.

Никольская В.В. Рельеф // Дальний Восток: физико-географическая характеристика. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С.59-92.

Новохатка В.Г. Этиология полетания сеянцев в лесных питомниках Сахалина // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1969. Вып. 9. С. 345-362.

Обухов А.И., Плеханова И.О., Ли С.К. Цинк и кадмий в почвообразующих породах и почвах // Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. С. 19-37.

Обухов А.И., Ромашкевич Е.В., Лепнева О.М. Содержание и вариабельность тяжелых металлов в почвах Сихотэ-Алинского заповедника // Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. С. 30-37.

Овсянников В.Ф. Гибель лесов у истоков Матая // Советское Приморье. 1925. № 3. С. 96-107.

Орлов А.Я. Хвойные леса Амгунь-Буреинского междуречья. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 208 с.

Орлов А.Я. Особенности отношения ели европейской и некоторых других видов ели к недостаточной влагообеспеченности // Лесоведение. 1996. № 1. С. 84-93.

Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Садовникова Л.К., Фридланд Е.Ф. Использование группового состава гумуса и некоторых биохимических показателей для диагностики почв // Почвоведение. 1979. № 4. С. 10-22.

Отчет по лесопатологическому обследованию части лесов Охотничьего лесничества Верхне-Перевальнинского лесхоза территориального производственного объединения «Приморсклеспром» Министерства лесной промышленности СССР. М., 1990-1991 гг. Фонды «Приморсклеспром». Владивосток.

Отчет по лесопатологическому обследованию части лесов Светловодского лесничества Светлинского леспромхоза и Самаргинского лесничества Самаргинского леспромхоза территориального производственного объединения «Приморсклеспром». М., 1991-1992. Фонды «Приморсклеспром». Владивосток.

Паавилайнэн Э. Применение минеральных удобрений в лесу. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 96 с.

Парамагнетизмы микроэлементов магнетита. М.: Наука, 1980. 147 с.

Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1989. 528 с.

Пахомов И.Д. Технические свойства древесины сухостойной ели и пихты и пути рационального использования ее в народном хозяйстве // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1963. Вып. 5. С. 278-295.

Петропавловский Б.С. Оценка состояния пихтово-еловых лесов Сихотэ-Алинского биосферного района // Методы оценки природной среды. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. С. 88-97.

Петропавловский Б.С. Экологические особенности лесообразующих пород Приморского края // Комаровские чтения. Владивосток: Дальнаука, 1993. Вып. 41. С. 16-28.

Полухатов К.К. Ель в районах северной лесостепи Горьковского Поволжья (строение, состав, продуктивность, распространение еловых лесов и эколого-лесоводственные особенности ели) // Биологическая продуктивность ельников. Тарту, 1971. С. 145-148.

Пономарева В.В. Теория подзолообразовательного процесса. М.; Л.: Наука, 1964. 379 с.

Пономарева В.В., Николаева Т.А. Некоторые особенности взаимодействия гетерогенной системы гумусовых веществ с Fe, Al, Ca // Генезис и география почв зарубежных стран по исследованиям советских географов. М.: Наука, 1964. С. 157-165.

Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах. Л.: Изд-во Почв. музея им. В.В. Докучаева, 1975. 105 с.

Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 221 с.

Пономаренко В.М. О динамике верхней границы леса в горах Южного Сихотэ-Алиня // Изв. СО АН СССР. 1961. № 5. С. 100-109.

Попов В.К. Петрология палеоген-неогеновых вулканических комплексов восточного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 156 с.

Почвообразование и особенности биологического круговорота веществ в горных лесах Южного Сихотэ-Алиня (на примере Верхнеуссурийского стационара). Хабаровск, 1993. 269 с.

Пояркова Л.В. Особенности развития деревьев и кустарников Раифского леса в необычных погодных условиях 1971-1980 гг. // Сезонная и разногодичная динамика растительного покрова в заповедниках РСФСР. М., 1983. С. 101-106.

Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука, 1975. 177 с.

Прокопович Е.В. Экологические условия формирования почв и биологический круговорот веществ в еловых лесах Среднего Урала: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 1995. 24 с.

Пшеничников Б.Ф. Подзолистые иллювиально-гумусовые почвы северной части Приморья // Науч. докл. высш. шк. 1975. № 9. С. 123-127.

Пшеничников Б.Ф. Подзолистые иллювиально-гумусовые почвы Приморья // Почвоведение. 1976. № 11. С. 14-23.

Пшеничников Б.Ф. Состав гумуса подзолистых иллювиально-гумусовых почв Приморья // Почвоведение. 1978. № 6. С. 30-35.

Пшеничников Б.Ф. Почвы темнохвойных лесов Сихотэ-Алиня // Тез. докл. VI съезда ВОП. Тбилиси, 1981. Кн. 4. С. 124-125.

Пшеничников Б.Ф., Пшеничникова Н.Ф. Буротаежные оподзоленные иллювиально-гумусовые почвы Сихотэ-Алиня // Вопросы генезиса, плодородия и охраны почв Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1978. С. 31-49.

Пшеничникова Н.Ф. Оценка лесорастительных свойств почв усыхающих пихтово-еловых лесов Среднего Сихотэ-Алиня // Диагностика деградации и воспроизводства лесных почв: Тез. всесоюз. конф. Тарту, 1987. С. 157.

Пшеничникова Н.Ф. Почвы усыхающих пихтово-еловых лесов Среднего Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989а. 132 с.

Пшеничникова Н.Ф. Итоги изучения почв усыхающих пихтово-еловых лесов Сихотэ-Алиня // Итоги изучения лесов Дальнего Востока и задачи интенсификации многоцелевого лесопользования: Тез. докл. Хабаровск, 1989б. С. 29-30.

Розжков А.А., Козак В.Т. Устойчивость лесов. М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.

Розенберг В.А. О выходе деловой древесины из усыхающих и сухих стволов ели аянской // Сообщения ДВ фил. АН СССР. 1950. Вып. 1. С. 3-7.

Розенберг В.А. Пихтово-еловые леса Южного Сихотэ-Алиня. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 1955. 18 с.

Розенберг В.А. Некоторые вопросы развития пихтово-еловых лесов Южного Сихотэ-Алиня // Вопр. сельс. и лесн. хоз-ва Дальнего Востока. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1961. Вып. 3. С. 195-215.

Розенберг В.А., Дюкарев В.Н., Осипов Б.А. Лесной комплекс // Долговременная программа охраны природы и рационального использования природных ресурсов Приморского края до 2005 года (экологическая программа). Владивосток, 1993. Ч. 1. С. 143-188.

Рыбаков И.Е. Типы отмирания ели в очагах массового усыхания на Среднем Сихотэ-Алине // Лесохозяйственная информация. 1993. Вып. 9. М.: ВНИИЦресурс, 1993. С. 32-33.

Рысин Л.П. Использование постоянных пробных площадей в лесном мониторинге // Лесн. хоз-во. 1995. № 3. С. 33-35.

Сапожников А.П. Сравнительная характеристика бурых горно-лесных почв в хвойно-широколиственных лесах южного Приморья // Особенности почвообразования в зоне бурых лесных почв. Владивосток: ДВ фил. СО АН СССР, 1967а. С. 45-48.

Сапожников А.П. Влияние ели аянской на формирование бурых горно-лесных почв и их лесорастительных свойств в хвойно-широколиственных лесах Южного Приморья // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 1967б. 29 с.

Сапожников А.П. О восстановительной способности подстилок в хвойно-широколиственных лесах Супутинского заповедника // Лес и почва. Красноярск, 1968. С. 234-237.

Сапожников А.П. Зольный состав хвои и листьев в широколиственных лесах южного Приморья // Физиология и экология древесных растений Приморья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 129-133.

Сапожников А.П. Опыт биогеоценотического изучения горных лесных почв Приморья // Почвы Дальнего Востока: Тез. докл. советско-японского симпозиума. Хабаровск, 1976. С. 31-32.

Сапожников А.П. Региональные черты формирования лесных подстилок на Дальнем Востоке // Биогеоценотические исследования в лесах Южного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 13-21.

Сапожников А.П. Лесная подстилка - номенклатура, классификация и индексация // Почвоведение. 1984. № 5. С. 96-105.

Сапожников А.П. Генетические особенности подстилок в темнохвойных лесах Дальнего Востока // Генезис, химия и биология почв Приморья и Приамурья. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. С. 68-81.

Сапожников А.П. Некоторые проблемы лесного почвоведения // Почвоведение. 1996. № 4. С. 512-516.

Сапожников А.П., Гавренков Г.И., Киселева Г.А. и др. К диагностике горно-лесных почв Приморья и Приамурья по железу // Лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1979а. С. 91-102.

Сапожников А.П., Крупская Л.Т., Сибгатуллина Л.Х. К биоэнергетической диагностике горно-лесных почв Приамурья // Почвы зоны БАМ. Новосибирск: СО АН СССР, 1979б. С. 224-230.

Сапожников А.П., Мусорок Г.Г. Роль травяно-мохового покрова некоторых типов ельников Приморья в круговороте веществ // Физиология и экология древесных растений Приморья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 134-138.

Сапожников А.П., Сибгатулина Л.Х. К характеристике подстилок в лесах Верхнеуссурийского стационара // Экология и продуктивность лесных биогеоценозов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 31-35.

Светогорский Ю.П. Изучение состава лесных формаций с учетом геомагнитных и геохимических аномалий по материалам космической съемки Сибири // Системный наземно-аэрокосмоэкологический мониторинг природной среды: Тез. докл. Свердловск, 1991. С. 189-190.

Сви́нец в окружающей среде. М.: Наука, 1987. 181 с.

Селиванова Г.А. Генетико-биогеоэкологическая характеристика горно-лесных почв западного макросклона Сихотэ-Алиня: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1985. 17 с.

Селиванова Г.А., Музарок Г.Г., Сапожников А.П. Подвижность железа в почвах горно-лесных биогеоценозов Среднего Сихотэ-Алиня // Почвоведение. 1978. № 9. С.99-108.

Селиванова Г.А., Музарок Г.Г., Сапожников А.П. О подвижности железа в почвах некоторых биогеоценозов Верхнеуссурийского стационара // Экология и продуктивность лесных биогеоценозов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 59-65.

Славкина Т.Н. Голосеменные // Дендрология Узбекистана. Ташкент: ФАН, 1968. Т. 2. С. 1-498.

Смагин В.Н. Леса бассейна р. Уссури. М.: Наука. 1965. 271 с.

Соколов И.А. Вулканизм и почвообразование (на примере Камчатки). М.: Наука, 1973. 224 с.

Соловьев В.А., Киранов В.М., Темнухин В.Б., Мальцев М.Г. Кислотность (рН) древесных остатков в таежном лесу // Экология и защита леса. СПб.: лесотехн. акад., 1992. С. 102-106.

Соловьев К.П. Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока и хозяйство в них. Хабаровск, 1958. 367 с.

Соловьев К.П., Любарский Л.В., Розенберг В.А., Манько Ю.И. Усыхание пихтово-еловых лесов Приморья и Приамурья. (Докл. на секции лесн. хоз-ва и деревообр. пром-сти совещания по развитию производительных сил Приморья). Владивосток, 1961. 25 с.

Сочава В.Б. Динамика воздушных масс и распределение растительности // Природа. 1944. № 1. С. 74-76.

Сочава В.Б. Темнохвойные леса // Растительный покров СССР. Пояснительный текст к «Геоботанической карте СССР». М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 1. С. 139-216.

Старилов Г.Ф. Леса северной части Хабаровского края. Хабаровск, 1961. 208 с.

Степанова М.Д. Микроэлементы в органическом веществе почв. Новосибирск: Наука, 1976. 106 с.

Стороженко В.Г. Датировка разложения валежника ели // Экология. 1990. № 6. С. 66-69.

Стратосферный озон (подборка текущих научных сообщений по проблеме озона) // Природа. 1993. № 9. С. 28-34.

Судачкова Н.Е. Состояние и перспективы изучения влияния стрессов на древесные растения // Лесоведение. 1998. № 2. С. 3-9.

Судачкова Н.Е., Шеин И.В., Романова Л.И. и др. Биохимические индикаторы стрессового состояния древесных растений. Новосибирск: Наука, 1997. 176 с.

Сукачев В.Н. Динамика лесных биогеоценозов // Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 458-486.

Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.

Сурина Н.И., Таргульян В.О., Шоба С.А. Морфология и химизм гумус-аккумулятивного и иллювиально-гумусового процессов в буроземах Дальнего Востока // Почвоведение. 1985. № 6. С. 33-48.

Схематическая карта расположения площадей усыхающих ельников на части территории Хабаровского края. М. 1:500000. 1963. Фонды Дальневосточного лесохозяйственного предприятия. Хабаровск.

Сывороткин В.Л. Дегазация Земли и разрушение озонового слоя // Природа. 1993. № 9. С. 35-45.

Сью Веньдо. Начальные исследования соотношения между распределением эдификатора и сопутствующих видов зональной растительности Северо-Востока и водно-температурными условиями // Acta Botanica Sinica. 1983. V. 25, N 3. Р. 264-274. Кит. яз.

Таранков В.И. Распределение осадков у верхнего предела леса в Южном Сихотэ-Алине // Биогеоэкологические исследования в лесах Приморья. Л.: Наука, 1968. С. 30-42.

Таранков В.И. Микроклимат лесов Южного Приморья. Новосибирск: Наука. 1974. 224 с.

Таранков В.И., Пономаренко В.М. Микроклимат у верхнего предела лесов в горах Южного Сихотэ-Алиня // Растительный мир высокогорий и вопросы его использования. Фрунзе: Илим, 1967. С. 152-163.

Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 267 с.

Тимофеев В.П. Отмирание ели в связи с недостатком влаги в почве // Лесное хоз-во. 1939. № 9. С. 6-15.

Тимофеев В.П. Борьба с усыханием ели. М.: Гослестехиздат, 1944. 48 с.

Ткаченко М.Е. Усыхание лесов Башкирии и меры к их оздоровлению // Сб. тр. Башкирской ЛОС, 1948. Вып. 2. С. 3-13.

Толмачев А.И. К истории возникновения и развития темнохвойной тайги. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 156 с.

Трегубов Г.А. Растительные ресурсы Комсомольского района // Амурский сборник. Хабаровск, 1960. С. 310-329.

Трофимов Т.Т. Влияние засушливого лета 1938-1939 гг. и суровой зимы 1939-1940 гг. на некоторые виды растений // Науч.-метод. зап. Гл. упр. по заповедникам. 1949. Вып. 12. С. 121-126.

Турова Г.И., Юрченко Г.И. Массовое размножение пяденицы *Egashis jacobsoni* Djak. (Lepidoptera, Geometridae) в пихтово-еловых лесах Хабаровского края // Чтения памяти А. И. Куренцова. Владивосток, 1996. Вып. 4. С. 105-112.

Турский М.К. О последствиях климатических влияний на леса в окрестностях Москвы летом 1897 г. // Отчеты Моск. лесн. об-ва за 1897 г. М., 1902. С. 45-55.

Тышкевич Г.Л. Еловые леса советских Карпат. М.: Изд. АН СССР, 1962. 174 с.

Тюлина Л.Н. На озере Токо и северном склоне Станового хребта (краткий геоботанический очерк) // Академику В.Н. Сукачеву к 75-летию со дня рождения. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 558-571.

Унифицированные методы анализа вод СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 144 с.

Урусов В.М. Будущее лесных экосистем юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 48 с.

Урусов В.М. Эколого-географические предпосылки интродукции на юг Дальнего Востока // Исследование и конструирование ландшафтов Дальнего Востока и Сибири. Владивосток: ДВО РАН, 1996. С. 257-262.

Усова Н.П. Некоторые физиологические особенности подроста ели аянской // Лесн. хоз-во. 1971. № 1. С. 36-38.

Усольцева Л.А., Петропавловский Б.С., Алексанина М.Г. Опыт автоматизации дешифрирования тоновых фотоснимков лесной растительности // Методы оценки состояния природной среды. Владивосток: ДВО РАН, 1987. С. 98-102.

Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3-20.

Уватов В.П. Цинк и кадмий в атмосферных осадках // Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. С. 56-73.

Федоров Н.И., Сарнацкий В.В., Рихтер Н.Э. и др. Особенности массового усыхания ели в Беларуси // Лесоведение. 1998. № 6. С.12-23.

Фокин А.Д. Почва, биосфера и жизнь на Земле // Сер. Человек и окружающая среда. М.: Наука, 1986. 176 с.

Фрей Т.Э.-А., Фрей Дж. М. Высыхание лесных массивов в Европе: зарубежный опыт // Тез. докл. всесоюз. совещ. «Общие проблемы биогеоценологии». М., 1986. Кн. 2. С.10-12.

Хавкина Н.В. Качественный состав гумуса почв темнохвойных лесов южной части Сихотэ-Алиня // Лес и почва. Красноярск, 1968. С. 231-233.

Хавкина Н.В. О некоторых особенностях органического вещества горно-лесных почв Сихотэ-Алиня // Генезис бурных лесных почв. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1972. С. 126-132.

Хавкина Н.В. Состав гумуса бурных лесных почв прибрежной полосы восточных склонов Сихотэ-Алиня // Почвенно-лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С.27-32.

Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 208 с.

Хорват Л. Кислотный дождь. М.: Стройиздат, 1990. 80 с.

Цуранов В.П. Некоторые особенности усыхания ельников Нижнего Амура // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1965. Вып. 7. С. 311-318.

Цуранов В.П. Динамика усыхания ельников и характер лесовосстановления на севере Сихотэ-Алиня // Повышение продуктивности лесов Дальнего Востока. М.: Лесн. пром-сть, 1973. С. 241-244.

Цуранов В.П. Некоторые особенности усыхания ельников Северного Сихотэ-Алиня. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Хабаровск, 1975. 25 с.

Цуранов В.П., Арефьев Ю.Ф. Динамика усыхания ельников Кизинского леспромхоза // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1965. Вып. 7. С. 319-328.

Чавтур Н.А., Петропавловский Б.С. Геоботаническая индикация факторов среды для задач прогнозирования усыхания пихтово-еловых лесов Среднего Сихотэ-Алиня // Всесоюз. шк. «Влияние пром. предприятий на окружающую среду»: Тез. докл. Пушкино, 1984. С. 209-211.

Челышева Л.П. Важнейшие дереворазрушающие грибы в усыхающих ельниках Северного Сихотэ-Алиня // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1965. Вып. 7. С. 345-355.

Челышева Л.П. К изучению болезней хвойного подроста на Дальнем Востоке // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1966. Вып. 8. С. 409-412.

Черемисинов Н.А., Негруцкий С.Ф., Лешковцева И.И. Грибы и грибные болезни деревьев и кустарников. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 391 с.

Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб: Мир и семья, 1995. 992 с.

Черкинский А.Е. ЭПП метаморфизма органического вещества // Элементарные почвообразовательные процессы: Опыт концептуального анализа, характеристика, систематика. М.: Наука, 1992. С. 44-58.

Чернышев В.Д. Состав и количество пигментов хвои подроста в различных фитоценологических условиях // Физиология и экология древесных растений Приморья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 22-33.

Чернышев В.Д. Воск на эпидерме хвои голосеменных Дальнего Востока // Лесоведение. 1984. №1. С. 68-73.

Чернышев В.Д. Своеобразие биосферных функций леса на Дальнем Востоке // Проблемы лесоведения и лесной экологии: Тез. докл. М., 1990. Ч. 1. С. 73-76.

Чернышев В.Д. Возможные причины усыхания хвойных лесов // Лесн. хоз-во. 1994. № 5. С. 49-51.

Чернышев В.Д. Принципы адаптации живых организмов. Владивосток: Дальнаука, 1996. 384 с.

Чертовский В.Г. Еловые леса европейской части СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 176 с.

Шавнин А.Г. Таблицы хода роста, полнот и запасов ельников Приморского края. Хабаровск, 1966. 10 с.

Шавнин А.Г. Возрастное развитие ельников Приморского края // Материалы по динамике растительного покрова. Владимир, 1968. С. 55-58.

Шварцев С.А. Гидрохимия зоны гипергенеза. М.: Наука, 1978. 288 с.

Шейнгауз А.С. Классификация динамики лесных ресурсов (на примере Дальнего Востока) // Лесоведение. 1976. № 6. С. 11-20.

Шулькин В.М. Химический состав снежного покрова как индикатор разноса газопылевых выбросов // Сихотэ-Алинский биосферный район: принципы и методы экологического мониторинга. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 101-109.

Шербин-Парфененко А.Л. Бактериальные заболевания лесных пород. М.: Гослесбумиздат, 1963. 148 с.

Юкнис Р.А., Лекене М.И. Рост и продуктивность древесного яруса лесных экосистем в условиях загрязнения природной среды // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. Т. 10. С. 145-161.

Юркевич И.Д., Гельтман В.С. Биогеоэкологические взаимоотношения эдификаторов лесных формаций в зоне сопряженности ареалов ели, граба и дуба // Лесоведение. 1967. № 1. С. 24-33.

Юркевич И.Д., Смоляк Л.П. Особенности типов леса Полесья и некоторые хозяйственные мероприятия // Сб. науч. тр. Белорус. лесотехн. ин-та. Минск, 1957. Вып. 10. С. 69-76.

Юрченко Г.И. Рогохвосты (Hymenoptera, Siricidae) - вредители елово-пихтовых лесов Северного Сихотэ-Алиня // Сб. тр. ДальНИИЛХ. 1965. Вып. 7. С. 356-361.

Юрченко Г.И. Опасность очагов короёда-типографа (Ips typographus, Scolytidae) и усыхания ельников в Нижнем Приамурье // Девственные леса и их роль в глобальных процессах: Тез. докл. междунар. конф., 5-20 авг. 1999 г. Хабаровск, 1999. С. 106-108.

Юрченко Г.И., Турова Г.И., Моисеенко М.К. Рекомендации по надзору за пихтовой листовёрткой-толстухой (Choristoneura multipuncta Hb.) и яленицей Якобсона (Eranis jacobsoni Djak.) в лесах Нижнего Приамурья и Сихотэ-Алиня. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1996. 23 с.

Яруткин И.А. Влияние погодных условий на рост ели в северной лесостепи Среднего Поволжья // Лесоведение. 1972. № 1. С. 12-17.

Несцярович М.Д., Дзяругіна Т.Ф. Адносіны да вільгаці інтрадупцыраваных відаву сасны і елі // Весці АН БССР. Сер. біял. 1978. № 4. С. 5-9.

Павлова Е., Райнов С., Дончева-Бонева М., Малинова Л. Организация на мониторинг на горските экосистемы // Гор. стоп., 1990. 46. № 9. С. 4-6.

Aamlid D., Venn K., Stuanes A.O. Forest decline in Norway: monitoring results, international links and hypotheses // Norw. J. Agr. Sci. 1990. Suppl. 4. P. 1-27.

Aamlid D., Venn K., Stevens A.O. European forests // Johnson D.W., Lindberg S.E. (Eds.) Atmospheric deposition and forest nutrient cycling a synthesis of the integrated forest study. New York: Springer-Verlag, 1992. P. 543-570.

Abetz P. Forschungsprojekte des Institutes und Empfehlungen zur Durchforstung // Forstwiss. Gbl. 1987. H. 3. S. 145-161.

Adams H.S., Stephenson S.L., Blasing T.J., Duveck D.N. Growth-trend declines of spruce and fir in mid-Appalachian subalpine forests // Environ. Exp. Bot. 1985. V. 25, N 4. P. 315-325.

Adams M.B. Acidic deposition and sustainable forest management in the central Appalachians, USA // Forest Ecol. Management. 1999. V. 122. P. 17-28.

Addison P.A. Monitoring the health of a forest: a Canadian approach // Environ. Monit. Assess. 1989. V. 12. N 1. P. 39-48.

Anthony S.R.J., Stanley A.B. The retention of strontium by soils as influenced by pH, organic matter and saturation cations // Soil Sci. 1970. V. 109. N 3. P. 143-148.

April R., Newton R. Mineralogy and mineral weathering // Johnson D.W., Lindberg S.E. (Eds.) Atmospheric deposition and forest nutrient cycling a synthesis of the integrated forest study. New York: Springer-Verlag, 1992. P. 378-425.

Arndt U. Ozon als möglicher Verursacher von Waldschäden // Kortzfleisch G. von. (Hrsg.). Waldschäden: Theorie und Praxis auf der Suche nach Antworten. München, Wien: Oldenbourg, 1985. S. 195-212.

Aronsson A., Elowson S., Forsberg N.-G. Torkskador på gran i Västmanland // Sver. skogsvårdsförb. tidskr. 1978. Årg. 76. H. 5. S. 441-456.

Augustin S., Schall P., Schmieden U. Modeling aspects of forest decline in Germany: 1. Theoretical aspects and cause-effect relationships // Chemosphere. 1998. V. 36, N 4-5. P. 965-970.

Badot P.-M. Le point sur le dépérissement forestier en Franche-Comté en regard des hypothèses couramment retenues // Ann. Sci. Univ. Franche-Comte, Besancon, Biol. Ecol. 1988-1989. N 1. P. 31-37.

Bäumler R., Zech W. Atmospheric deposition and impact of forest thinning on the throughfall of mountain forest ecosystems in the Bavarian Alps // Forest Ecol. Management. 1997. V. 95. P. 243-251.

Baur M., Lauchert U., Wild A. Biochemical indicators for novel forest decline in spruce // Chemosphere. 1998. V. 36, N 4-5. P. 865-870.

Becker M., Lévy G. A propos du dépérissement des forêts: Climat, sylviculture et vitalité de la sapinière Vosgienne // Rev. forest. fr. 1988. V. 40. N 5. P. 345-358.

Becker M., Lévy G. A proposito del deperimento delle foreste: clima, selvicoltura e vitalità dell'abetina del Vosg // Ital. forest. e mont. 1989. V. 44, N 2. P. 85-106.

Berki I. Di Rolle des Nährstoffmangels // Allg. Forstr. 1991. V. 46, N 2. S. 74-78.

Beznier D., Levis K.J. Site and soil characteristics related to the incidence of Inonotus tomentosus // Forest Ecol. Management. 1999. V. 120 (1-3). P. 131-142.

Binkley D., Högberg P. Does atmospheric deposition of nitrogen threaten Swedish forests? // Forest Ecol. Management. 1997. V. 92. P. 119-152.

Blais J.R. Mortality of balsam fir and white spruce following a spruce budworm outbreak in the Ottawa River watershed in Quebec // *Canad. J. Forest Res.* 1981. V. 11, N 3. P. 620-629.

Blaschke H., Brehmer U., Schwarz H. Wurzelschäden und Waldsterben: Zur Bestimmung morphometrischer Kenngrößen von Feinwurzelsystemen mit den IBAS- erste Ergebnisse // *Forstwiss. Cbl.* 1985. Bd. 104, N 3-4. S. 199-205.

Bolhar-Nordenkamp H.R. Streßphysiologisches Konzept einer kausalanalytischen Waldschadensforschung // *Phyton.* 1989. Bd. 29, N 3. S. 11-14.

Bosch C., Pfannkuch E., Baum U., Rehfuess K.E. Über die Erkrankung der Fichte (*Picea abies* L. Karst.) in der Hochlagen des Bayerischen Waldes // *Forstwiss. Cbl.* 1983. Bd. 102. S. 167-181.

Cheshire M.V., Berrow M.L., Goodman B., Mundie C.M. Metal distribution and nature of some Cu, Mn and V complexes in humic and fulvic acid fractions of soil organic matter // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1977. V. 41. P. 1131.

Cline G. R., Powell P.E., Szaniszo P.J., Reid C. P.P. Comparison of the abilities of hydroxamic synthetic, and other natural organic acids to chelate iron and other ions in nutrient solution // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1982. V. 46. P. 1158-1164.

Cook E.R., Johnson A. Climate change and forest decline: a review of the red spruce case // *Water. Air. Soil Pollut.* 1989. V. 48, N 1-2. P. 127-140.

Courchesne F., Gobran G.R. Mineralogical variations of bulk and rhizosphere soils from a Norway spruce stand // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1997. V. 61. P. 1245-1249.

Cowling E.B. Regional declines of forests in Europe and North America: The possible role of air-borne chemicals // *Aerosols: Res. Risk Assess. and Contr. Strateg.: Proc. 2nd US-Dutsch. Int. Symp.* Williamsburg, 5a, May 19-25, 1985. Chelsea, Mich., 1986. P. 855-864.

Cowling E., Kral-Urbán B., Schimansky Chr. Wissenschaftliche Hypothesen zur Erklärung der Ursachen // *Österr. Chem.-Z.* 1987. Bd. 88, N 10. S. 228-233.

Cramer H.H. Über die Disposition mitteleuropäischer Forsten für Waldschäden // *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer.* 1984. Bd. 37. S. 97-207.

Cramer H.H., Cramer-Middendorf M. Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Schadensperioden und Klimafaktoren in mitteleuropäischen Forsten seit 1851 // *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer.* 1984. 37. S. 208-334.

Crocker R.L., Dickson B.A. Soil development on the regressional moraines of the Herbert and Mendenhall glaciers, South Eastern Alaska // *J. Ecol.* 1957. V. 45, N 1. P. 169-185.

Cronan C.S., April R., Bartlett R.J. et al. Aluminum toxicity in forest exposed to acidic deposition: The ALBIOS results // *Water, Air and Soil Pollut.* 1989. V. 48, N 1-2. P. 181-192.

Das österreichische Forschungsprojekt Fichte. Lassen sich die Wälder durch vegetative Vermehrung von vitalen Baum retten? // *Wald und Holz Rdsch.* 1987. Bd. 43, N 5. S. 35-37.

Däfler H.-G. Einfluss von Luftverunreinigungen die Vegetation. Ursachen – Wirkungen – Gegenmassnahmen. 4. Auflag. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991. 266 s.

Daubenmire R. Some geographic variations in *Picea sitchensis* and their ecology interpretation // *Can. J. Bot.* 1968. V. 46. P. 787-798.

Duinker P.N. Resolutions from the workshop on forest decline and reproduction: regional and global consequences // *Environ. Conserv.* 1987. V. 14, N 2. P. 173-174.

Eagar C., Adams M. B. (Eds.) Ecology and decline of red spruce in the Eastern United States. New York: Springer-Verlag, 1992. 417 p.

Evans L.S., Cocchiaara J., Jaklitsch P., Feliciano J. Needle and stem injuries of *Picea rubens* (Pinaceae) in the Andirondack Mountains, USA // *Environ. Exper. Bot.* 1999. V. 41. P. 267-280.

Elstner E.F., Osswald W. Fichtensterben in "Reinluftgebieten": Strukturresistenzverlust // *Naturwiss. Rundschau.* 1984. Bd. 37. S. 52-61.

Fang Jing-yun, Yoda Kyoji. Climate and vegetation in China. 11. Distribution of main vegetation types and thermal climate // *Ecolog. Research.* 1989. V. 4. P. 71-83.

Fernandez I.J. Air pollution: synthesis of the role of major air pollutants in determining forest health and productivity // *Stress physiology and forest productivity.* Dordrecht; Boston; Lancaster: Martinus Nijhoff Publ., 1986. P. 217-239.

Fiedler H.J. Zur Zinkausstattung der Fichtenökosysteme in Gebieten mit "neuartigen" Waldschäden // *Beitr. Forstwirtschaft.* 1988. N 2. S. 61-66.

Fidler H.J. Die "Hochlagenerkrankung" der Fichte in bodenkundlich-standortkundlicher Sicht // *Arch. Naturschutz und Landschaftsforsch.* 1989. Bd. 29, N 2. S. 91-103.

Filon L., Marin P. Modifications morphologiques de é Épinette blanche soumise à la sédimentation éolienne en milieu dunaire Québec Subarctique // *Can. J. Bot.* 1988. V. 66. P. 1862-1869.

Forest Health Management Report. Forest Insect and Disease Conditions in Alaska - 1996. General Technical Report R10-TP-67. 1997. 42 p.

Friedland A.J., Battles J.J. Red spruce (*Picea rubens* Sarg.) decline in the north-western United States: review and recent data from Whiteface mountain // *Proceedings of the Workshop on Forest Decline and Reproduction: Regional and Global Consequences.* Kraków, Poland (23-27 March, 1987). IIASA, A2361, Laxenburg, Austria, 1987. P. 287-296.

Gehrmann J. Waldschäden und Bodenschutz // *LOLF-Mitt.* 1989. N 1. S. 21-30, 39.

Giertych M. Zamieranie świerka *Picea abies* (L.) Karst. w Suchych latach 1982-1984 a zmienność genetyczna // *Sylvan.* 1987. V. 131, N 4. P. 23-29.

Gimingham C.H. Forest decline and dieback from a global perspective: concluding remarks // *Geo J.* 1988. V. 17, N 2. P. 301-302.

Glattes F., Bolhar-Nordenkamp H.R., Gabler K. et al. Die Biotope der Probestämme im Höhenprofil "Zillertal" // *Phyton.* 1989. V. 29, N 3. S. 15-37.

Göbl F. Mykorrhiza- und Feinwurzeluntersuchungen im Waldschadesgebiet Gleingsben und Gleinalpe (Stmk.) // *Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt, Wien.* 1991. Bd. 63, N 4. S. 31-49.

Göbl F., Thurner S. Bewertung von Waldstandorten durch eine Zustandserhebung von Mykorrhizen und Feinwurzeln // *FBVA-Berichte.* 1995. N 87. S. 105-112.

Gordon A.G. Red spruce in Ontario // *Sylva.* 1957. V. 13, N 1. P. 1-7.

Gordon A.G. Productivity and nutrient cycling by site in spruce forest ecosystems. Energy flow- its biological dimensions. A summary of the IBP in Canada, 1964-1974/ CCIBP, Roy. Soc. Can. Ottawa. 1975. № 6. P. 119-126.

Gordon A.G. The taxonomy and genetics of *Picea rubens* and its relationship to *Picea mariana* // *Canad. J. Bot.* 1976. V. 54, N 9. P. 781-813.

Grier C.C. Foliage loss to snow, wind, and drying damage its effects on leaf biomass of some western conifer forests // *Can. J. For. Res.* 1988. V.18. P. 1097-1102.

Gross K., Pham-Nguyen T. Einfluss von langfristigem konstanten Wassermangelstress auf die Netto-Photosynthese und das Wachstum junger Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) und Douglasien (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) im Freiland // *Forstwiss. Cbl.* 1987. 106. S. 7-26.

Grossmann W.D. Einsatz von Risicocarten in der Waldschaden problematik, Konzept, Probleme und Ergebnisse im Projekt Lehr forst Rosalia // *Centralbl. Gesamte Forstw.* 1991. Bd. 108, N 1-2. S. 3-13.

Hadley J.L., Amudson R.G. Winter desiccation and solar radiation in relation to red spruce decline in the northern Appalachians // *Can. J. For. Res.* 1991. V. 21. P. 269-272.

Haemmerli F., Krauchi N., Stark M. The Swiss national research program «Forest damage and air pollution» (NFP 14+) // *Acidificat. Res: Eval. And Policy Appl.: Proc. Int. Conf., Maastricht, 14-18 oct., 1991.* Amsterdam, 1992. P. 449-459.

Hard J.S., Holsten E.H. Managing white and Lutz spruce stands in south central Alaska for increased resistance to spruce beetle // *Gen.Tech. Rep. PNW-188.* Portland, OR: U.S. Dep. of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. 1985. 21 p.

Harlow W.M., Harrar E.S. Textbook of dendrology, covering the important forest trees of the U.S.A. and Canada. Ed. 3. McGraw-Hill, N.Y., 1950. 555 p.

Harrington T.C. Growth decline of wind-exposed red spruce and balsam fir in the White Mountains // *Can. J. For. Res.* 1986. V. 16. P. 232-238.

Harvey A.E., Larsen M.J., Jurgensen M.F. Ecology of ectomycorrhizae in Northern Rocky Mountain forests // *Environ. Consequences of Timber Harvesting in Rocky Mt. Coniferous forests.* USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-90. 1980. P. 189-208.

Haynes R.J., Swift R.S. Effects of soil acidification and subsequent leaching on levels of extractable nutrients in a soil // *Plant and Soil.* 1986. 95. P. 327-336.

Hecht-Buchholz C., Jorns C.A., Keil P. Effect of excess aluminum and manganese on Norway spruce seedlings as related to magnesium nutrition // *J. Plant Nutr.* 1987. V. 10, N 9-10. P. 1103-1110.

Heinsdorf D., Krauß H.H., Hippeli P. Ernährungs- und bodenkundliche Untersuchungen in Fichtenbeständen des mittleren Thüringer Waldes unter Berücksichtigung der in den letzten Jahren aufgetretenen Umweltbelastungen // *Beitr. Forstwir.* 1988. V. 22, N 4. S.160-167.

Hennon P.E. Yellow-cedar decline. Additional information on this forest problem or any forest insect or disease can be obtained from: Forest Health Office State and Private Forestry USDA Forest Service. Juneau. 1993.

Herman F., Lütz C., Smidt S. Description and evaluation of pollution impacts on forest ecosystems: results of long-term experiments // Environ. Sci. Pollut. Res. Spec. Issue. 1998a. N 1. P. 16-24.

Herman F., Lütz C., Smidt S. Pollution-related stress factors for forest ecosystems // Environ. Sci. Pollut. Res. Spec. Issue. 1998b. N 1. P. 2-15.

Hinrichsen Don. Multiple pollutants and forest decline // Ambio. 1986. V. 15, N 5. P. 258-265.

Hinrichsen Don. The forest decline enigma. What underlies extensive dieback on two continents // BioScience. 1987. V. 37. P. 542-546.

Holsten E.H., Hennon P.E., Werner R.A. Insects and diseases of Alaskan forests // U.S. Dep. of Agriculture, Forest Service. Alaska Region Report. 1985. N 18. P. 217.

Holsten E.H., Burnside R. Forest health in Alaska: An update // Western Forester. 1997. V. 42, N 4. P. 1-4.

Holsten E.H., Thier R.W., Schmid J.M. The spruce beetle // Forest insect and disease. 1991. Leaflet 127. U.S. Dep. of Agriculture Forest Service. 12 p.

Hosie R.C. Native trees of Canada. Ottawa, 1975. 380 p.

Husted L., Lavender D. P. Effect of soil temperature upon the root growth and mycorrhizal formation of white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) seedlings grown in controlled environments // Ann. Sci. forest. 1989. N 46. P. 750-753.

Hüttl R.E., Schneider B.U., Farrell E.P. Forests of the temperate region: gaps in knowledge and research needs // Forest. Ecol. Management, 2000. V. 132. P. 83-96.

Ignatov M.S., Afonina O.M. (Eds.) Checklist of mosses of the former USSR // Arctoa. 1992. N 1. P. 1-85.

Impeus R.A., Laitat E., Fagot J. Pollution et dépérissement des forêts // Santé homme environ: Symp. int., Luxembourg, 3-5 mars, 1988. Luxembourg, 1988. P. 84-90.

Innes J.L. Some problems with the interpretation of international assessments of forest damage // 19th World Cong. "Sci. Forest. IUFRO's 2nd Century", Montreal. 1990. Div. 2. P. 380-387.

Ishizuka K. Mountain Vegetation // The flora and vegetation of Japan. Tokyo; Kodansha, 1974. P. 173-210.

Johansson M., Wästerlund I. Root and transpiration studies of young Norway spruce trees with dieback symptoms in Sweden // Europ. J. Forest Pathol. 1979. V. 9, N 5. P. 257-264.

Johnson A.H., Friedland A.J., Dushoff J.G. Recent and historic red spruce mortality: Evidence of climatic influence // Water, Air and Soil Pollut. 1986. V. 30, N 1-2. P. 319-330.

Johnson A.H., Friedland A.J., Miller E.K., Battles J.J. et al. Eastern spruce-fir // Johnson D.W., Lindberg S.E. (Eds.) Atmospheric deposition and forest nutrient cycling a synthesis of the integrated forest study. New York: Springer-Verlag, 1992. P. 496-525.

Johnson A.H., Siccama T.G. Acid deposition and forest decline // Environ. Sci. Technol. 1983. 17. P. 294A-305A.

Johnson A.H., Cook E.R., Siccama T.G. Climate and red spruce growth and decline in the northern Appalachians // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1988. V. 85. P. 5369-5373.

Johnson D.W. Role of air pollution in forest decline in Eastern North America // Water, Air and Soil Pollut. 1989. N 1-2. P. 21-43.

Johnson D.W. Relationships among atmospheric deposition, forest nutrient status, and forest decline // Johnson D.W., Lindberg S.E. (Eds.) Atmospheric deposition and forest nutrient cycling a synthesis of the integrated forest study. New York: Springer-Verlag, 1992. P. 577-580.

Johnson D.W., Ball J.T. Environmental pollution and impacts on soils and forests nutrition in North America // Water, Air and Soil Pollut. 1990. N 54. P. 3-20.

Johnson J.E., Smith O.W., Burger J.A. Effects on the forest floor on whole-tree harvesting in the Appalachian Oak Forest // Amer. Midl. Nat. 1985. V. 114. P. 51-61.

Jurgensen M.F., Harvey A. E., Graham R.T. et al. Timber harvesting and site preparation effects on soil organic contents // Forest Soil and Modern Forest Management: Proc. of the I Int. Symp. on Forest Soil. Harbin, 1990. P. 229-236.

Kaiser K., Zech W. Soil dissolved organic matter sorption as influenced by organic and sesquioxide coatings and sorbed sulphate // Soil Sci. Soc. Am. J. 1998. V. 62. P. 129-136.

Kaji M. Studies on the ecological geography of subalpine conifers. Distribution pattern of *Abies mariesii* in relation to the effect climate in the postglacial warm period // Bull. Tokyo Univ. Forest. 1982. N 72. P. 31-120.

Kamibayashi N., Manko Yu., Kondho A., Gladkova G. Detection of forest decline in Northeast Primorsky Russia // Photogrammetry and Remote Sensing. 1994. N 5. P. 213-216. (Japan.).

Kandler O. The air pollution forest decline connection: the "Waldsterben" theory refuted // Unsylvia. 1993. V. 44, N 174. P. 29-49.

Kira T. A climatological interpretation of Japanese vegetation zones // Vegetation science and environmental protection. Tokyo, 1977. P. 21-29.

Kiyoura R. Negative proofs for acid deposition as the major cause of forest decline. An analysis of the process of soil acidification and recommendation of its cure // Man and Ecosyst.: Proc. 8th World Clean Air Congr. Amsterdam, 1989. P. 225-230.

Klein R.M., Perkins T.D., Tricon J. et al. Factors affecting red spruce regeneration in declining areas of Camels Hump mountain, Vermont // Amer. J. Bot. 1991. V. 78, N 9. P. 1191-1198.

Knabe W., Pohlmann H., Urfer W. Statistische Überprüfung der Silizium-Hypothese in der Waldschadenforschung // Forsarchiv. 1989. 60. N 6. S. 223-227.

Kojima S. Biogeoclimatic zones of Hokkaido Island, Japan // J. Coll. Lib. Arts, Toyama Univ. 1979. V. 12. P. 97-141.

Kojima S. Effects of global climatic warming on the boreal forest // J. Plant. Res. 1994. V. 107. P. 91-97.

Kojima S. Boreal forest phytogeocoenoses of Hokkaido Island, Japan // Vegetation Science in Forestry, Netherlands: Kluwer Acad. Publ., 1995. P. 367-389.

Kojima S., Kamibayashi N., Awaya Y. Forest decline due to smelter emission in Monchegorsk, Russia, and its implications to sustainable resource use // Photogrammetry and Remote Sensing. 1997. V. 36, N 6. P. 72-78.

Kreutzer K. Nitrogen turnover in central European forests // Forest Soil and Modern Forest Management: Proc. of the I Int. Symp. on Forest Soil. Harbin, 1990. P. 111-120.

Lacier A.A. The US forest industry's air quality and forest health program // Pulp and Pap. Con., 1987. V. 88, N 4. P. 60-61.

Landmann G. Dépérissement des forêts et pollution atmosphérique: mythes et réalités // Phytoma. 1991a. N 434. P. 62-67.

Landmann G. Dépérissement des forêts et pollution atmosphérique Bilan de cinq années de recherches (1985-1990) dans le cadre du Programme DEFORFA // Pollut. Atmos. 1991b. V. 33, N 129. P. 64-69.

Lange O.L., Weikert R. M., Wedler M., Gebel J., Heber U.I. Photosynthese und Nährstoffversorgung von Fichten aus einem Waldschadensgebiet auf basenarmem Untergrund // Allg. Forstz. 1989. Bd. 21, N 3. P. 55-64.

Larsen J. B. Das Tannensterben: Eine neue Hypothese zur Klärung des Hintergrundes dieser rätselhaften Komplexkrankheit der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) // Forstw. Cbl. 1986. Bd. 105. S. 381-396.

LeBlanc D.C., Raynal D.J. Red spruce decline on Whiteface Mountain, New York. II. Relationships between apical and radial growth decline // Can. J. Forest Res. 1990. N 9. P. 1415-1421.

Leckie D.G., Ostaff D.P. Classification of airborne multispectral scanner data for mapping current defoliation caused by the spruce budworm // Forest Science. 1988. V. 34, N 2. P. 259-275.

Le Goaster S., Dambrine E., Ranger J. Mineral supply of healthy and declining trees of a young spruce stand // Water, Air and Soil Pollut. 1990. 54. Spec. Issue. P. 269-280.

Le Goaster S., Dambrine E., Ranger J. Croissance et nutrition minérale d'un peuplement d'épicéa sur sol pauvre. I. Evolution de la biomasse et dynamique d'incorporation d'éléments mineurs // Acta oecol. 1991. Liv. 12, N 6. S. 771-789.

Leibundgut H. Zum Problem des Tannensterbens // Schweiz. Zeitschrift f. Forstwesen. 1974. Jg. 125, N 7. S. 476-484.

Leibundgut H. Europäische Urwälder der Bergstufe. Berlin, Stuttgart: Paul Haupt, 1982. 308 S.

Little E.L. Atlas of United States trees. V.1. Conifers and important hardwoods. Washington, D.C., 1971. V+9 p. +200 m.

Lochman V., Běle J. Příspěvek k objasnění vlivu suchých let na odumírání smrkových porostů. Práce Výzk. Ústavu Lesn. Hospod. Mysl. Jilovistě-Strnady, 1982. Bd. 62. S. 7-22.

Loopstra E.M., Shaw G.G., Sidle R.C. Ectomycorrhizal inoculation fails to improve performance of Sitka spruce seedlings on clearcuts in southeastern Alaska // W.J. Appl. For. 1988. V. 3. P. 110-112.

MacLean D.A., Ebert P. The impact of hemlock looper (*Lambdina fuscicollis* (Guen.) on balsam fir and spruce in New Brunswick, Canada // Forest Ecol. Management. 1999. V. 120, N 1-3. P. 77-87.

- Macrez V., Hubac C. Exposure SO₂ and water stress in *Picea abies* (L.) Karsten // Water, Air and Soil Pollut. 1988. V. 40, N 3-4. P. 251-259.
- Man'ko Yu. *Picea jezoensis* (Sieb. et Zucc.) Carr., 1855 // Enzyklopädie der Holzgewächse, 17. Erg. Lfg. 9/99. 1999. 8 S.
- Manko Yu.I., Gladkova G.A. Regional decline of fir-spruce forests in the Sikhote-Alin // Symposium on community ecology and conservation biology. Abstracts. Bern, 1994a. WE/1b.
- Man'ko Yu.I., Gladkova G.A. Critique of an explanation of the drying off of fir-spruce forests in the Russian Far East // Eurasian Soil Sci. 1994b. V. 26, N 12. P. 60-63.
- Man'ko Yu.I., Gladkova G.A., Butovets G.N. Soils of deteriorating dark-coniferous forests in the northern Primorye area // Eurasian Soil Sci. 1992. V. 24, N 6. P. 64-77.
- Mask R.A. Black-headed budworm. U.S. Dep. of Agriculture, Forest Service, Alaska Region. 1993. Aug. Leaflet, R10-TP-39.
- McBride M.B. Electron spin resonance investigation of Mn²⁺ complexation in natural and synthetic organic // Soil Sci. Soc. Am. J. 1982. V. 46. P. 1137-1143.
- McFee W.W., Stone E. L. The persistence of decaying wood in the humus layers of northern forests // Soil Sci. Society of America: Proceedings. 1966. V. 30, N 4. P. 513-516.
- Mohr H. Die Erforschung der neuartigen Waldschäden // Biol. i. u. Zeit. 1986. 16. S. 83-89.
- Möhring K. Ursachen für Waldsterben noch nicht schlüssig nachzuweisen // Unser Wald. 1994. Bd. 46, N 3. S. 11-12.
- Moosmayer H.-U. Stand der Forschung über Waldsterben und Forstschritte seit 1984 // Allg. Forstz. 1986. N 41. S. 1150-1153.
- Moosmayer H.-U. Die Forstschritte seit 1986: Stand der Forschung über das "Waldsterben" // Allg. Forstz. 1988. N 43. S. 1365-1373.
- Mutch F. Indication of long-range transport of heavy metals based on the Austrian Forest Soil Monitoring System // Environ. Sci. Pollut. Res. Spec. Issue. 1998. N 1. P. 81-87.
- Nebe W., Ilgen G., Gastinger W. Immissionsbedingte Ernährungsstörungen in Fichtenbeständen auf Standort unterschiedlicher Trophie // Beitr. Forstwirtschaft. 1989. V. 23, N 1. S. 17-25.
- Neumann M. Forest damage assessments in Austria // Environ. Monit. Assess. 1993. V. 28, N 2. P. 183-188.
- Nicholas N.S., Zedaker S.M. Ice damage in spruce-fir forests of the Black Mountains, North Carolina // Can. J. For. Res. 1989. V. 19. P. 1487-1491.
- Niesslein E., Hauff D. Forstgeschichtliche Untersuchungen zum Waldsterben // Forstwiss. Cbl. 1984. H. 3. S. 153-163.
- Nihlgård B. The ammonium hypothesis – an additional explanation to the forest dieback in Europe // Ambio. 1985. 14. P. 2-8.
- Ohwi J. Flora of Japan. Washington. D.C., 1965. 1067 p.
- Ott E. Wie ist die Frage der Überalterung für unsere Schweizer Gebirgswälder zu beurteilen? // Schweiz. Z. Forstw. 1985. Bd. 136, N 11. S. 931-944.
- Payette S., Filion L. White spruce expansion at the tree line and recent climate change // Can. J. For. Res. 1985. V. 15, N 9. P. 241-251.
- Perkins T.D., Adams G.T., Klein R. Desiccation or freezing? Mechanisms of winter injury to red spruce foliage // Amer. J. Bot. 1991. V. 78, N 9. P. 1207-1217.
- Prinz B. Zur Problematik der neuartigen Waldschäden // Niesslein E., Voss G. Was wir über das Waldsterben wissen. Köln: Deutscher Instituts-Verl., 1985. S. 175-189.
- Raynal D.J., Joslin J.D., Thornton F.C. et al. Sensitivity of tree seedlings to aluminium. III. Red spruce and loblolly pine // J. Environ. Qual. 1990. V. 19, N 2. P. 180-187.
- Rehfuess K.E. Walderkrankungen und Immissionen – eine Zwischenbilanz // Allg. Forstz. 1983. V. 38. S. 601-610.
- Rehfuess K.E. Perceptions on forest diseases in Central Europe // Forestry. 1987. V. 60. P. 1-11.
- Rehfuess K.E. Wirkungen von Luftschadstoffen in mitteleuropäischen Wäldern // Energiewirt. Tagesfragen. 1990. V. 40, N 1. S. 38-45.
- Rehfuess K.E. Review of forest decline research activities and results in the Federal Republic of Germany // J. Environ. Sci. and Health. 1991. V. 26, N 3. P. 415-445.
- Rehfuess K.E., Bosch Ch. Experimentelle Untersuchungen zur Erkrankung der Fichte (*Picea abies* L.Karst.) auf sauren Böden der Hochlagen: Arbeitshypothese und Versuchsplan // Forstwiss. Cbl. 1986. Bd. 105. S. 201-206.
- Rehfuess K.E., Rodenkirchen H. Über die Nadelröte-Erkrankung und der Fichte (*Picea abies* Karst.) in Süddeutschland // Forstwiss. Cbl. 1984. Bd. 103. S. 248-262.

- Reynolds K.M., Holsten E.H. Classification of spruce beetle hazard in Lutz spruce (*Picea x lutzii* Little) stands on the Kenai Peninsula, Alaska // Can. J. Forest Res. 1994. N 24. P. 2089-2095.
- Reynolds K.M., Holsten E.H. Classification of spruce beetle hazard in Lutz and Sitka spruce stands on the Kenai Peninsula, Alaska // Forest Ecol. Management. 1996. V. 84. P. 251-262.
- Roche L., Fowler D.P. Genetics of Sitka spruce. 1975. USDA For. Serv. Res. Pap. WO-26. 15 p.
- Rubner K. Die pflanzengeographischen Grundlagen der Waldbaus. Radebeul u. Berlin: Neumann Verlag. 1953. 583 S.
- Salenius P.O. Effects of organic – mineral soil mixtures and increasing temperature on the respiration of coniferous raw humus material // Can. J. For. Res. 1983. N 13. P. 102-107.
- Schade J., Zöhrer F. Zur Konzeption und Methodik der Erfassung von regionalen und großräumigen Waldschäden // Allg. Forst. Zeitschrift. 1983. V. 30. S. 770-772.
- Schlaepfer R. Kranker Wald: Eine Analyse der Kenntnisse aus der Forschung // Schweiz. Landtechn. 1990. 52. N 3. S. 40-43, 45-46.
- Schmid-Haas P. Der Nachweis der Ursache des Tannensterbens an einem Beispiel // Forstw. Cbl. 1989.108. S. 244-254.
- Schmidt P.A. Beitrag zur Systematik und Evaluation der Gattung *Picea* A.Dietr. // Flora. 1989. Bd. 182. S. 435-461.
- Schmidt-Vogt H. Die Fichte. Bd 1. Taxonomie. Verbreitung. Morphologie. Ökologie. Waldgesellschaften. Hamburg; Berlin: Paul Parey, 1977. 647 S.
- Schmidt-Vogt H. Nadelwald-Ökosysteme. Bedeutung-Struktur-Dynamik-Gefährdung // Allg. Forst. Zeitschr. 1983. Bd. 50. S. 1355-1359.
- Schmidt-Vogt H. Die Fichte. B. 2/2. Krankheiten. Schäden. Fichtensterben. Hamburg; Berlin: Paul Parey, 1989. 607 S.
- Schmidt-Vogt H. Die Fichte. B. 2/3. Waldbau. Ökosysteme. Urwald. Wirtschaftswald. Ernährung. Düngung. Ausblick. Hamburg; Berlin: Paul Parey, 1991. 781 S.
- Schnitzer M. Quo vadis organic matter research // Whither Soil Res. 12 Int. Congr. Soil Sci. New Delhi, 1982. P. 67-78.
- Schnitzer M., Kerndorff H. Reactions of fulvic acid with metal ions // Water, Air, Soil Pollut. 1981. N 15. P. 97.
- Schulze E.D., Freer-Smith P.H. An evaluation of forest decline based on field observations focussed on Norway spruce, *Picea abies* // Proc. Roy. Soc. Edinburgh: B., 1991. V. 97. P. 155-168.
- Schütt P. Waldsterben – Wichtung der Ursachenhypothesen // Forstarch. 1988. Bd. 59. S. 17-18.
- Schütt P., Blaschke H., Hoque E. et al. Erste Ergebnisse einer botanischen Inventur des "Fichtensterbens" // Forstwiss. Cbl. 1983. Bd. 102. S. 158-166.
- Schütt P. et al. Der Wald stirbt an Streß. München: Bertelsmann. 1984. 264 S.
- Schütt P., Lang U.M. *Picea sitchensis* // Enzyklopädie der Holzgewächse. 3. Erg.Lfg. 12 / 1995. 14 S.
- Serrasolsas I., Khanna P.K. Mineralization of phosphorus and nitrogen in some forest soils heated to different temperatures // 11 Int. Symp. Environ. Biogeochem., Salamaca, Sept. 27- Oct. 1, 1993. Abstr. Salamaca, 1993.P.5.
- Shelford V.E. The ecology of North America. Urbana, 1963. 610 p. + XXII.
- Shortle W.C. Induced calcium deficiency syndrome in forests affected by acid deposition // 19th Congr. "Sci. Forest: IUFRO's 2nd century", Montreal, 5-11 Aug. , 1990. Div. 2/ Int. Union Forest Res. Organ. Montreal. 1990. P. 526.
- Shortle W.C., Smith K.T. Aluminum-induced calcium deficiency syndrome in declining red spruce // Science. 1988. V. 240. P. 1017-1018.
- Smith W.H. Air pollution and forests. New York: Springer-Verlag, 1981. 379 p.
- Steenbjerg F. Yield curves and chemical plant analyses // Plant Soil. 1951. 3. P. 97-109.
- Stefan K., Fürst A. Indication of S and N inputs by means of needle analyses based on the Austrian Bio-indicator Grid // Environ. Sci. Pollut. Res. Spec. Issue. 1998. N 1. P. 63-69.
- Stefan K., Gabler K. Connection between climatic conditions and the nutritional status of spruce needles determined from the Austrian Bio-Indicator Grid // Environ. Sci. Pollut. Res. Spec. Issue. 1998. N 1. P. 59-62.
- Stephenson S.L., Clovis J.F. Spruce forests of the Allegheny Mountains in Central West Virginia // Castanea. 1983. V. 48 (1). P. 1-12.

Stienen H. Vergleichende Untersuchungen der Nährund Shadelementgehalte in Feinwurzeln von Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.) aus Waldschadensgebieten // Forstarchiv. 1989. Bd. 60, N 1. S. 13-17.

Stone E.L., Leaf A.L. Potassium deficiency and response in young conifer forests in Eastern North America // Proc. of the Colloq. on Forest Fertilization. Jyväskylä, Finland. Intern. Potash Inst. Bern, 1967. P. 217-229.

Takahashi K., Koike T., Sanada M. Current topic of the forest declining problems and research activities in the Hokkaido Research Center of the FFPR // Annual Report of Hokkaido Research Center Forestry Forest Products Research Institute. 1992. P. 70-74.

Tesche M. Umweltstreß // Schmidt-Vogt H. Die Fichte. B. 2/2. Krankheiten. Schäden. Fichtensterben. Hamburg, Berlin: Paul Parey, 1989. S. 346-384.

Tiller K.G. Geochemistry of basaltic materials and associated soils. Sections: Soils in relation to nutrition of pines. CSIRO Melbourne Div. Rep. 3. 1957. 28 p.

Tiller K.G. The geochemistry of basaltic materials and associated soils of south-eastern South Australia // J. Soil Sci. 1958. V. 9. P. 225-241.

Tsukada M. Late-quaternary spruce decline and rise in Japan and Sakhalin // Bot. Mag. Tokyo. 1983. V. 96. P. 127-133.

Turvey N.D., Grant B. R. Copper deficiency in coniferous trees // For. Ecol. Management. 1990. V. 37. P. 95-122.

Ulrich B. Die Wälder in Mitteleuropa: Messergebnisse ihrer Umweltbelastung, Theorie ihrer Gefährdung, Prognose, ihrer Entwicklung // Allg. Forstz. 1980. Bd. 35. S. 1198-1202.

Ulrich B. Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluss des "sauren Regens" // Allg. Forstz. 1983a. Bd. 38. S. 670-677.

Ulrich B. Belastung und Belastbarkeit von Waldökosystemen mit Luftferunreinigungen // Allg. Forst- u. Jagdztg. 1983b. Bd. 154. S. 76-82.

Ulrich B., Matzner E. Ökosystemare Wirkungsketten beim Wald- und Baumsterben // Forst- u. Holzwirt. 1983. Bd. 38. S. 468-474.

Van Cleve K., Dyrness C. T. Introduction and overview of a multidisciplinary research project: the structure and function of a black spruce (*Picea mariana*) forest in relation to other fire-affected taiga ecosystems // Can. J. Res. 1983. V. 13. P. 695-702.

Viereck L.A., Little E.L. Guide to Alaska trees // Agriculture handbook. N 472. Washington, 1974. 98 p.

Vierhaus-Wunderwald D. Der Abgang von Nadelhölzern in der oberen Piviera (Kt. Tessin) und seine Ursachen // Schweiz. Z. Forstw. 1991. Bd. 142, N 8. S. 661-669.

Vogel-Daniels A. Die begrenzenden Standortsfaktoren für die Verbreitung der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) in Westen Europas // Allg. Forst- u. Jagdztg. 1968. Bd. 139. S. 263-275.

Vogelmann H.W., Badger G.J., Bliss M., Klein R.M. Forest decline on Camels Hump, Vermont // Bull. of the Torrey Botanical Club. 1985. V.112, N 3. P. 274-287.

Waldkrankung und Immissionseinflüsse. Eine Information des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg. Stuttgart, 1983. 24+8 S.

Wang Ch.W. The forests of China with a survey of grassland and desert vegetation. Maria Moors Gabot Found. 5. Cambridge, 1961. 313 p.

Wang G.G. White spruce site index in relation to soil, understory vegetation and foliar nutrients // Can. J. For. Res. 1995. V. 25. P. 29-38.

Wang G.G., Klinka K. White spruce foliar nutrient concentrations in relations to tree growth and soil nutrient amounts // Forest Ecol. Management. 1997. V. 98. P. 89-99.

Waring R.H. Characteristics of trees predisposed to die stress causes distinctive changes in photosynthate allocation // BioScience. 1987. V. 37. N 8. P. 569-574.

Weiss M.J., McCreery L.R., Millers I.R., O'Brien J.T., Miller-Weeks M. Cooperative survey of red spruce and balsam fir decline in New York, New Hampshire and Vermont, 1984. Inter. Report. USDA Forest Service, Forest Pest Management. Durham, New Hampshire, 1985.

Weiss M. J., Rizzo D.M. Forest declines in major forest types of the Eastern United States // Proceedings of the Workshop on Forest Decline and Reproduction: Regional and Global Consequences. Kraków, Poland (23-27 March, 1987). IASA, A2361, Laxenburg, Austria, 1987. P. 297-305.

Wellburn A.R., Higginson C., Robinson D., Walmsley C. Biochemical explanation of more than additive inhibitory effects of low atmospheric levels of sulphur dioxide plus nitrogen dioxide upon plants // New Phytol. 1981. V. 88. P. 223-237.

Wentzel K.F. Hypothesen und Theorien zum Waldsterben // Forstarch. 1985. V. 56. S. 51-56.

Wilde S.A., Iyer J.G., Tanzer C., Trautman W.L., Watterstone K.G. Growth of Wisconsin coniferous plantations in relation to soils // Res. Bull. 262. University of Wisconsin, Madison, WI., 1965. 81 p.

Wite P.S., Cogbill Ch.V. Spruce-fir forests of Eastern North America // Eagar C., Adams M. B. (Eds.) Ecology and decline of red spruce in the Eastern United States. New York: Springer Verlag, 1992. P. 3-39.

Wright J.W. Spices crossability in spruce in relation to distribution and taxonomy // Forest Sci. 1955. V.1. P. 319-349.

Wright R.F., Rasmussen L. Introduction to the NITREX and EXMAN projects // Forest Ecol. Management. 1998. V. 101. P. 1-7.

YimYang-Jai. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula // Japan. J.Ecol. 1977. V. 27, N 3. P. 177-189; N 4. P. 269-278.

YimYang-Jai, Kira T. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula. 1. Distribution of some indices of thermal climate // Japan. J.Ecol. 1975. V. 25, N 2. P. 77-88.

Zasoski R.J., Porada H.J., Ryan P.J., Greenleaf-Jenkins J., Gessel S.P. Observation of copper, zinc, iron and manganese status in Western Washington forests // Forest. Ecol. Management. 1990. V. 37. P. 7-25.

Zech W., Popp E. Magnesiummangel, einer der Gründe für das Fichten- und Tannensterben in NO-Bayern // Forstwiss. Cbl. 1983. Bd. 102. S. 50-55.

Zotrin R., Krapfenbauer A. Perspektiven zum Waldsterben -von der Rosalia gesehen // Forst und Holz. 1990. Bd. 45, N 4. S. 95-98., *Pohlmann H., Urfer W.* Statistische Überprüfung der Silizium-Hypothese in der Waldschadensforschung // Forstarchiv. 1989. V. 60, N 6. S. 223-227.

Zöttl H.W. Waldschäden und Nährelementversorgung // Düsseldorf Geobot. Kolleg. 1985. Bd. 2. S. 31-41.

Zöttl H.W., Hättl R. Schadsymptome und Ernährungszustand von Fichtenbeständen im südwest-deutschen Alpenvorland // Allg. Forstz. 1985. Bd. 40. S. 197-199.

Zöttl H.W., Mies E. Die Fichtenerkrankung in Hochlagen des Südschwarzwaldes // Allg. Forst- u. Jagdztg. 1983. Bd. 154. S. 110-114.

Оглавление

Введение	5
<i>Глава 1.</i> Усыхание темнохвойных лесов в Европе и в Северной Америке	9
1.1. Западная и Восточная Европа	9
1.2. Северная Америка	20
<i>Глава 2.</i> Ретроспективный обзор проблемы усыхания пихтово-еловых лесов на российском Дальнем Востоке	32
2.1. Усыхание хвойных лесов в бассейне р. Хор	32
2.2. Усыхание пихтово-еловых лесов в Южном Приморье в 1930–1940-х годах	33
2.3. Усыхание пихтово-еловых лесов в Приамурье	37
2.4. Усыхание пихтово-еловых лесов в Центральном Сихотэ-Алине	43
<i>Глава 3.</i> Ареал, особенности экологии и биологии основных лесообразователей	49
3.1. Ель аянская	49
3.2. Пихта белокорая	57
3.3. Другие древесные породы	59
<i>Глава 4.</i> Лесорастительные условия территории, на которой проявляется усыхание лесов	60
4.1. Рельеф	60
4.2. Климат	62
4.3. Почвы	65
4.4. Растительность	67
<i>Глава 5.</i> Методика работ и объекты исследования	70
5.1. Методика работ	70
5.2. Объекты исследования	74
<i>Глава 6.</i> Характеристика пихтово-еловых лесов в очагах усыхания	81
6.1. Состояние древостоев	81
6.2. Возрастная структура древостоев	90
6.3. Естественное лесовозобновление в очагах усыхания	96
6.4. Состав подлеска и нижних ярусов растительности на постоянных пробных площадях	101
<i>Глава 7.</i> Почвы под усыхающими пихтово-еловыми лесами	108
7.1. Почвообразующие породы	108
7.2. Морфологическая характеристика подстилок	108
7.3. Морфологические особенности почв	111
7.4. Химический состав подстилок	116

7.5. Реакция почвы и поглощающий комплекс	117
7.6. Гранулометрический состав	120
7.7. Запасы минеральных элементов, гумуса и азота	120
7.8. Состав органического вещества	122
7.9. Состав 0,5 н H ₂ SO ₄ вытяжки	126
7.10. Валовой состав почв	129
7.11. Содержание микроэлементов в почвах	132
7.12. Распределение соединений Fe в почве	137
<i>Глава 8.</i> Химический состав растений и мицелия	143
8.1. Содержание в хвое ели аянской макро- и мезоэлементов	143
8.2. Содержание в хвое ели аянской микроэлементов	145
8.3. Содержание химических элементов в коре ели аянской	148
8.4. Содержание химических элементов в корнях ели аянской	149
8.5. Содержание химических элементов в зеленых мхах	151
8.6. Химический состав мицелия	153
8.7. Химический состав валежа	154
8.8. Особенности круговорота веществ	154
<i>Глава 9.</i> Грибные болезни и насекомые в очагах усыхания	157
9.1. Грибные болезни	157
9.2. Насекомые	159
<i>Глава 10.</i> Динамика усыхания пихтово-еловых лесов	161
10.1. Погодно-климатические условия	161
10.2. Химический состав твердых осадков	163
10.3. Краткие итоги аэрокосмического мониторинга усыхания пихтово-еловых лесов	167
10.4. Динамика усыхания	169
<i>Глава 11.</i> Обсуждение проблемы усыхания пихтово-еловых лесов	175
Выводы и предложения	187
Заключение	193
Литература	200

Contents

Introduction	5
<i>Chapter 1.</i> Dark conifer forest decline in Europe and North America	9
1.1. Western and Eastern Europe	9
1.2. North America	20
<i>Chapter 2.</i> A retrospective review of problem of fir-spruce forest decline in the Russian Far East	32
2.1. Conifer forest decline in the basin of the river Khor	32
2.2. Fir-spruce forest decline in the South Primorye in 1930–1940s years	33
2.3. Fir-spruce forest decline in Priamurye	37
2.4. Fir-spruce forest decline in the Central Sikhote-Alin	43
<i>Chapter 3.</i> Area, peculiarities of ecology and biology of basic forest-forming species	49
3.1. <i>Picea jezoensis</i>	49
3.2. <i>Abies nephrolepis</i>	57
3.3. Other woody species	59
<i>Chapter 4.</i> Forest growth conditions in the territory where forest decline is appeared	60
4.1. Relief	60
4.2. Climate	62
4.3. Soils	65
4.4. Vegetation	67
<i>Chapter 5.</i> Methods and subjects of investigation	70
5.1. Investigation methods	70
5.2. Subjects of investigation	74
<i>Chapter 6.</i> Characteristics of fir-spruce forests in centers of decline	81
6.1. Condition of stands	81
6.2. Stand age structure	90
6.3. Natural regeneration in the centers of decline	96
6.4. Composition of undergrowth and herb, and shrub layers in the permanent sample plots	101
<i>Chapter 7.</i> Soils under declining fir-spruce forests	108
7.1. Soil forming rocks	108
7.2. Morphological characteristic of litter	108
7.3. Morphological soil peculiarities	111
7.4. Chemical composition of litter	116
7.5. Soil reaction and base exchange complex	117
7.6. Texture	120

7.7. Nutrient storage, carbon and nitrogen	120
7.8. Composition of organic matter	122
7.9. Composition of 0,5 N H ₂ SO ₄ extract	126
7.10. Total composition of soils	129
7.11. Content of minor elements in soils	132
7.12. Distribution of Fe-complexes in soils	137
<i>Chapter 8.</i> Chemical composition of plants and mycelium	143
8.1. Content of major and secondary nutrient elements in Jeddo spruce needles	143
8.2. Content of minor elements in spruce needles	145
8.3. Content of chemical elements in spruce bark	148
8.4. Content of chemical elements in spruce roots	149
8.5. Content of chemical elements in green mosses	151
8.6. Content of chemical elements in mycelium	153
8.7. Content of chemical elements in fallen deadwood	
8.8. Turnover peculiarities	154
<i>Chapter 9.</i> Fungi diseases and insects in centers of decline	157
9.1. Fungi diseases	157
9.2. Insects	159
<i>Chapter 10.</i> Decline dynamics of fir-spruce forests	161
10.1. Weather-climatic conditions	161
10.2. Chemical composition of solid precipitation	163
10.3. Brief results of aerospace monitoring of the fir-spruce forest decline	167
10.4. Dynamics of decline	169
<i>Chapter 11.</i> Discussion of the forest decline problem	175
Inferences and proposals	187
Conclusion	193
Abstract	196
References	200

*Юрий Иванович Манько,
Галина Александровна Гладкова*

УСЫХАНИЕ ЕЛИ
В СВЕТЕ ГЛОБАЛЬНОГО УХУДШЕНИЯ
ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ

Научное издание

Редактор *Л.М. Смирнова*
Художник *Р.В. Гаева*
Технический редактор *В.М. Мошкина*
Оператор набора *Н.И. Чикичева*
Оператор верстки *О.Ю. Полянская*
Корректор *Н.В. Давыденко*

Изд. лиц. ЛР № 040118 от 15.10.96 г. Подписано к печати 16.05.2001 г.
Бумага офсетная. Формат 70×100/16. Печать офсетная. Гарнитура «Ньютон».
Усл.п.л. 18,86. Уч.-изд.л. 18,31. Тираж 200 экз. Заказ 124

Отпечатано в типографии издательства «Дальнаука» ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7

.)