



УДК 630*11+630*160.21+630*416.16

О факторах усыхания пихтовых лесов в горах Южной Сибири

Е. В. Бажина

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
E-mail: genetics@ksc.krasn.ru

Аннотация. Проведена комплексная оценка состояния темнохвойных древостоев в лесных экосистемах гор Южной Сибири. Выявлено, что повреждение лесов носит преимущественно очаговый характер. Усыхание деревьев кедр сибирского идет по классическому для хвойных типу, деревьев пихты сибирской – по характерному для данного вида «подверхушечному» типу. Для выяснения причин и прогноза развития этого явления необходим тщательный анализ региональных условий, обуславливающих усыхание.

Ключевые слова: пихта сибирская, кедр сибирский, жизненное состояние, факторы усыхания.

Введение

В настоящее время во многих регионах планеты наблюдается ухудшение состояния и усыхание темнохвойных лесов различных видов, вызванное комбинацией различных стрессовых факторов биотической и абиотической природы. В числе видов, наиболее подверженных усыханию, оказались виды рода *Abies* (Mill.). Пихтовые леса усыхают на территории Европы, Азии, Северной Америки, Японии [7; 8; 16–20]. Усыхание пихты сибирской (*A. sibirica* Ledeb.) наблюдается и в горных лесах Южной Сибири: в горах Хамар-Дабана – с середины 1970-х гг. [6], Западного Саяна – с начала 1980-х гг. [13], Восточного Саяна и Кузнецкого Алатау – с середины 1990-х гг. [10]. Усыхающие пихтовые деревья характеризуются уменьшением продуктивности, преждевременным старением, снижением линейного и радиального приростов, уменьшением роста побегов, хлорозами, некрозами и преждевременным опадом хвои, возникновением стволовых гнилей, нарушением репродуктивных функций [1; 6; 13–20]. У старых деревьев пихты белой (*A. alba* Mill.) в верхней части кроны наблюдается формирование т. н. «аистова гнезда» [16]. Усыхание пихты сибирской видоспецифично: повреждение побегов, хвои, почек и микростробилов наблюдается в подверхушечной части дерева, на расстоянии 0,3–2,5 м от вершины (верхняя граница мужского генеративного яруса), повреждение деревьев начинается после устойчивого вступления деревьев в репродуктивную фазу в возрасте 90 и более лет [13–15].

Цель настоящего исследования заключалась в анализе особенностей усыхания темнохвойных лесов в горах Южной Сибири и определении повреждающих факторов.

Материалы и методы

Исследования проводились в различных частях гор Южной Сибири: хр. Хамар-Дабан, Восточный и Западный Саян, в южной части нагорья Кузнецкого Алатау (заповедник «Кузнецкий Алатау») и северо-восточном Алтае (рис. 1). Климат района континентальный, в значительной степени определяемый горным рельефом [12].

Для оценки состояния темнохвойных лесов в течение ряда лет на различных абсолютных высотах (450–1514 м над ур. м.) на различном расстоянии от источников загрязнения в пихтарниках подгольцовых, разнотравной и крупнотравной группах типов леса закладывались пробные площади. На пробных площадях была проведена оценка жизненного состояния деревьев по методике В. А. Алексеева [1], общее число обследованных деревьев на пробной площади (ПП) составляло 100–300 шт. Для анализа морфоструктуры кроны и состояния генеративной сферы с учетом видовой специфики пихты сибирской (узкопирамидальная форма кроны, диагеотропизм побегов) и особенностей её повреждения на всех ПП отбирались здоровые и усыхающие деревья в возрасте от 90 до 250 лет с устойчивым семеношением. Измеряли следующие показатели: высота дерева, диаметр на высоте груди, проекция кроны, форма кроны [13].

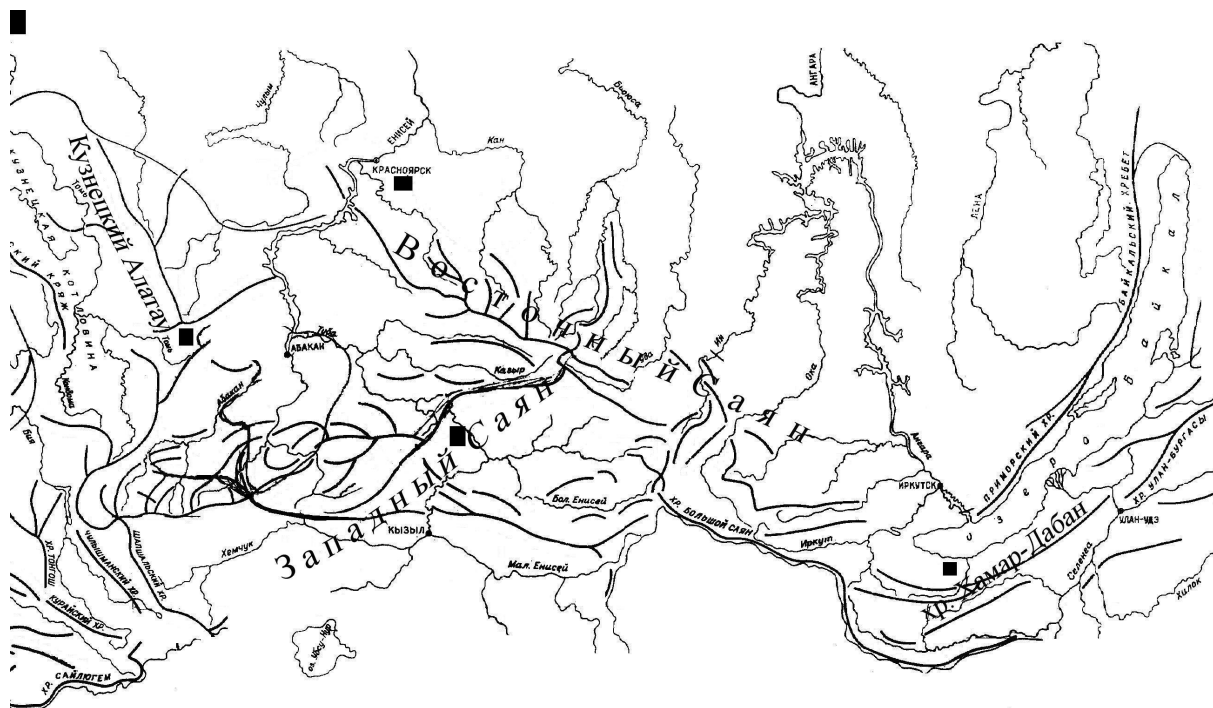


Рис. 1. Схема расположения пробных площадей

Результаты и обсуждение

Исследования пихтовых древостоев в горах Южной Сибири показали, что усыхание лесов носит очаговый характер. Очаги усыхания пихты сибирской наблюдаются в горах (650–700 м над ур. м. и выше) на наветренных склонах горных хребтов (табл. 1). Жизненное состояние биоценозов различается в зависимости от условий места произрастания. К классам биоценозов с начальной стадией повреждения относятся районы низкогорий и подветренные склоны южных и восточных экспозиций. Сильно поврежденные биоценозы сосредоточены в районе среднегорий и высокогорий на наветренных склонах северных и западных экспозиций. Лишь в горах северо-восточного Алтая усыхание деревьев пихты и кедра наблюдается повсеместно.

Усыхание деревьев пихты сибирской в горах идет по характерному для данного вида «подверхушечному» типу: на расстоянии 0,5–3,5 м от вершины дерева появляется зона усыхания, уменьшается количество хвои на единицу побега, ее длина, увеличивается угол отхождения ветвей от оси ствола [3; 14]. У усыхающих деревьев увеличивается угол отхожде-

ния ветвей от оси ствола дерева, вследствие чего форма кроны из характерной для вида узкопирамидальной становится плакучей. При этом сохраняется строгая полярность в расположении генеративных органов в кроне дерева и на побеге. Вершина дерева, где локализуется женский генеративный ярус, не имеет признаков повреждения и продуцирует макростробилы в течение десятков лет после начала усыхания дерева. Степень усыхания не зависит от возраста дерева.

В горах Кузнецкого Алатау у деревьев пихты, растущих на высоте 713–765 м над ур. м., а также в горах северо-восточного Алтая усыхание происходит по всей кроне, иногда в большей степени повреждается нижняя часть кроны. В начальной стадии оно выражается в покраснении и усыхании одно-двухлетней хвои, по всей кроне диффузно и постепенно охватывает как отдельные ветви, так и ярусы (мутовки целиком) [5]. Усыхание кедра сибирского происходит по классическому для хвойных типу. Покраснение и усыхание хвои наблюдается по всей кроне дерева, уменьшается ее количество на побеге и длина хвои, что приводит к изреживанию кроны.

Таблица 1

Индекс жизненного состояния лесных биоценозов

Экспозиция склона	Высота над ур. м., м	Состав древостоя	Индекс жизненного состояния	Класс лесных биоценозов
хр. Западный Саян				
Низкогорье	450	6П4К	81,1	Начальное повреждение
Северный наветренный	800	6П4К	36,4	Сильно поврежденный
Северный наветренный	1450	8П2К	66,6	Поврежденный
Северный наветренный	1450	6П4К	55,4	Поврежденный
Южный подветренный	1130	7Е2К1П	80,0	Начальное повреждение
Южный подветренный	1514	6П4К	81,5	Начальное повреждение
хр. Кузнецкий Алатау				
Северо-восточный подветренный	713	9П1К	92,3	Ненарушенный
Северо-западный наветренный	765	9П1К	59,0	Поврежденный
Юго-западный подветренный	799	9П1К	71,9	Поврежденный
Юго-восточный подветренный	768	8П2К	79,1	Поврежденный
Юго-западный подветренный	1248	9П1К	71,5	Поврежденный
хр. Восточный Саян				
Низкогорье	550	5П2К1Л1Е1 Ос+С	80,9	Начальное повреждение
Низкогорье	450	8П1С1Е+Б	80,6	Начальное повреждение
Юго-западный подветренный	640	8П2К+Е	85,3	Начальное повреждение
Северо-западный наветренный	640	8П2К+Е	82,2	Начальное повреждение
хр. Хамар-Дабан				
Низкогорье	450	5П3К2Ос	90,5	Ненарушенный
Низкогорье	500	6П3К1Ос	92,3	Ненарушенный
Низкогорье	550	7П3К	91,2	Ненарушенный
Низкогорье	450	5П2К3Ос	85,5	Начальное повреждение
Юго-западный подветренный	1100	7П3К	64,1	Поврежденный
Северо-западный наветренный	1190	7П3К	54,8	Поврежденный
Северо-восточный Алтай				
Низкогорье	550	8К2П	70,0	Поврежденный
Западный	1200	8П2К	79,4	Поврежденный

Анализ модельных деревьев показал, что у пихты сибирской сохраняются видовые особенности: узкопирамидальная форма кроны, ярко выраженная апикальная доминантность и плагиотропизм ветвей, ярусность кроны по типам сексуализации [14]. Усыхание деревьев с разной скоростью (от 1 до 66 мм в год) распространяется вниз по стволу в мужском генеративном ярусе, который составляет большую часть протяженности кроны дерева (до 80,2 %). Сроки начала усыхания модельных деревьев варьируют от 1960–1981 гг. в горах Хамар-Дабана и 1981–1983 гг. в горах Зап. Саяна до 1991–1999 гг. в горах Кузнецкого Алатау. Не-

смотря на то, что повреждение деревьев в горах Кузнецкого Алатау началось гораздо позже, чем в горах хр. Хамар-Дабан, усыхание здесь более катастрофично – протяженность усохшей части у отдельных деревьев достигает 12,4 м (более 62 % общей протяженности кроны).

Характер усыхания деревьев в различных частях гор Южной Сибири одинаков, однако динамика повреждения несколько различается. Наименьшим средним расстоянием от вершины дерева до верхней границы усохшей части, максимальной протяженностью усохшей части по оси ствола, а также минимальными значениями угла отхождения ветвей от оси ствола

характеризуются деревья, растущие в пихтачах хр. Зап. Саян (табл. 2). В горах Вост. Саяна деревья пихты сибирской, напротив, характеризуются максимальной протяженностью живой верхней зоны, тогда как протяженность усохшей части меньше. Здесь же встречаются деревья с усохшей вершиной, у которых еще остались несколько живых ветвей женской сексуализации (протяженность этой части – до 0,6 м), ниже которых идет усохшая часть кроны протяженностью до 3,3 м. Переходная зона от женского к мужскому генеративному ярусу и мужской генеративный ярус усохли полно-

стью, нижняя часть живых ветвей кроны представлена вегетативными побегами [5]. Возможно, в данном случае наблюдается одна из последних стадий усыхания, когда после гибели мужских побегов отмирают побеги женской сексуализации. Различия в динамике повреждения деревьев пихты в различных частях гор Южной Сибири могут быть обусловлены генотипическими особенностями отдельных деревьев, а также местными климатическими и высотными различиями в условиях произрастания.

Таблица 2

Характеристика модельных деревьев пихты сибирской

Место произрастания	Расстояние от вершины до усохшей части, м	Протяженность усохшей части, м	Скорость усыхания, мм/год	Угол отхождения ветвей, °	
				до усохшей части	после усохшей части
хр. Западный Саян	$\frac{0,5-1,2}{0,6\pm 0,19}$	$\frac{1,2-7,4}{3,4\pm 0,76}$	$\frac{8-15}{11\pm 0,8}$	$\frac{53-67}{62\pm 1,7}$	$\frac{91-122}{108\pm 4,7}$
хр. Восточный Саян	$\frac{0,5-2,5}{1,1\pm 0,9}$	$\frac{0,7-3,0}{1,7\pm 0,33}$	$\frac{4-9,6}{7\pm 0,06}$	$\frac{67-86}{77\pm 3,0}$	$\frac{107-116}{112\pm 9,4}$
хр. Хамар-Дабан	$\frac{0,3-2,0}{1,0\pm 0,07}$	$\frac{0,3-7,3}{1,7\pm 0,17}$	$\frac{1-66}{13\pm 1,6}$	$\frac{43-90}{70\pm 1,4}$	$\frac{84-144}{108\pm 1,2}$
хр. Кузнецкий Алатау	$\frac{0,6-1,46}{1,0\pm 0,48}$	$\frac{3,5-12,4}{2,4\pm 0,52}$	$\frac{4-12,1}{6\pm 3,2}$	$\frac{56-62}{63\pm 3,8}$	$\frac{113-128}{114\pm 6,4}$

Примечание: числитель – крайние значения признаков, знаменатель – средние значения

Специфический характер усыхания деревьев пихты сибирской, вероятно, обусловлен нарушениями обменных процессов: у усыхающих деревьев происходит накопление азота в минеральной форме, снижение соотношения белковой фракции по отношению к небелковой в мужском генеративном ярусе пихты, очевидно, вследствие ослабления синтеза белков при усыхании дерева [2; 4]. Нарушение гомеостаза деревьев пихты отражается на процессах их половой репродукции: нарушаются микроспорогенез и развитие пыльцы, снижается ее жизнеспособность, наблюдается тенденция к снижению семенной продуктивности женских шишек, увеличивается стерильность семян [12; 13]. Ослабленные древостои становятся объектами нападения энтомовредителей и болезней [6; 9].

Несмотря на длительный период исследований феномена усыхания пихты сибирской в горах Южной Сибири, повреждающие факторы до сих пор не определены. Безусловное значение имеют естественные факторы (вековые смены растительности, засухи, сильные морозы, избыток осадков). В качестве возможных причин усыхания рассматриваются изменения

климата, неблагоприятные условия произрастания (химический состав почв, их заболоченность и пр.), возрастной состав древостоя, повреждение насекомыми, грибными болезнями, вирусами, бактериями, антропогенное загрязнение среды (различные эмиссии, повышенная кислотность атмосферных осадков) и всевозможные их комбинации [3; 6–9; 12; 13–20]. Прогноз изменения климата в горах Южной Сибири благоприятен для пихты сибирской. Анализ трендов основных метеоэлементов показал, что за последние 30 лет небольшие положительные тренды зимних температур и отрицательные годовых осадков создают в высокогорьях гор Южной Сибири условия, более оптимальные для обитания вида [21]. Уменьшение количества осадков в сочетании с потеплением может привести к перемещению оптимальных для кедра и пихты местообитаний в более высокогорные высотные пояса, тогда как в низкогорьях создадутся условия для распространения степей, а лес поднимется вверх по склону. В связи с этим сомнительно, что основной причиной усыхания пихты сибирской в горах являются изменения климата.

Не исключено, что определенную роль играет загрязнение атмосферы, особенно усиливающееся в последние четыре десятилетия. Так, в частности, отрицательное влияние загрязнения среды на состояние пихтовых древостоев наглядно прослеживается в горах Хамар-Дабана и Кузнецкого Алатау, где индекс жизненного состояния кедрово-пихтовых биоценозов значительно снижается в непосредственной близости от источников загрязнения (БЦБК в Байкальском регионе и нефелиновый рудник в Кузнецком Алатау) [6; 12–13]. В хвое деревьев здесь наблюдается повышенное содержание кадмия, а также серы, свинца и цинка [10; 12]. Зона усыхания пихтовых древостоев в горах Южной Сибири практически совпадает с границами избыточно влажного высотного поясного комплекса (ВПК) [11]. Градиент осадков в этом ВПК за счет «подпора» влагоносных воздушных масс достигает 150–180 мм/100 м высоты, что способствует выпадению токсических веществ из атмосферы. Аккумуляция их в растительных тканях может привести к усыханию деревьев.

Исследования особенностей усыхания видов р. *Abies* в различных лесорастительных условиях выявили отсутствие зависимости между интенсивностью усыхания и составом древостоя [16]. В то же время между деревьями, растущими на одном участке, выявлены большие индивидуальные различия по степени поражения. Для пихты белой показано, что доминантные деревья, относящиеся к 1-му и 2-му классам Крафта, менее устойчивы к повреждению, чем деревья 3-го и 4-го классов [22]. Регрессионная модель зависимости реакции прироста дерева от условий внешней среды [21] показала, что различия в приросте здоровых и поврежденных деревьев пихты не могут быть объяснены исключительно метеорологическими условиями. Найдена прямая зависимость между концентрациями выбросов диоксида серы и изменениями ширины годичного кольца поврежденных деревьев. Установлено также, что изменяется чувствительность пихты к осадкам, т. е. к диоксиду серы и сере, которыми богаты осадки. У усыхающих деревьев пихты сибирской наблюдается тенденция к снижению содержания общей серы в хвое, накоплению ее в мужском генеративном ярусе, что, возможно, связано с дефолиацией, и незначительному понижению содержания в женском [4]. В условиях техногенного стресса у древесных растений, помимо неспецифических реакций, наблюдается также изменение отношения содержания

белкового азота к небелковому в пользу последнего [9]. Снижение этого соотношения в мужском генеративном ярусе пихты [4] также может быть обусловлено перераспределением азотных метаболитов и ослаблением синтеза белков при усыхании дерева. Учитывая увеличение содержания в мужском ярусе общего азота, можно предположить, что вследствие нарушения обменных процессов у усыхающих деревьев происходит его накопление в минеральной форме.

Заключение

Усыхание пихтовых лесов в настоящее время приобрело глобальный характер. Повышенная смертность пихтовых древостоев вследствие влияния комплекса повреждающих факторов может быть обусловлена вековыми сменами растительности, древностью этого рода, повышенной чувствительностью деревьев к различным условиям среды, в частности, к загрязнению. Для выяснения причин и прогноза развития этого явления необходим тщательный анализ региональных условий, обуславливающих усыхание.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и «ККФПН и НТД», проект № 09-04-98000.

Литература

1. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев / В. А. Алексеев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51–57.
2. Бажина Е. В. Состояние пихты сибирской в пригородной зоне заповедника «Столбы» / Е. В. Бажина // Тр. Гос. заповедника «Столбы». – Красноярск, 2010. – Вып. XIX. – С. 59–70.
3. Бажина Е. В. К проблеме усыхания пихтовых лесов / Е. В. Бажина, И. Н. Третьякова // Успехи соврем. биологии. – 2001. – Т. 121, № 6. – С. 626–631.
4. Бажина Е. В. Содержание различных форм азота в хвое пихты сибирской при усыхании / Е. В. Бажина, О. Н. Зубарева // Природная и антропогенная динамика наземных экосистем: материалы Всерос. конф. (Иркутск, 11–15 октября 2005 г.). – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2005. – С. 523–525.
5. Бажина Е. В. О факторах усыхания пихтовых лесов в горах Южной Сибири / Е. В. Бажина, С. Г. Жильцова // Проблемы экологии: Чтения памяти проф. М. М. Кожова: тез. докл. междунар. науч. конф. и междунар. шк. для мол. ученых (Иркутск, 20–25 сентября 2010 г.). – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. – С. 124.
6. Воронин В. И. Действие серосодержащих эмиссий на пихту сибирскую в Южном Прибайкалье: автореф. дис. ... канд. биол. наук / В. И. Воронин. – Красноярск, 1989. – 19 с.

7. Манько Ю. И. О факторах усыхания пихтово-еловых лесов на Дальнем Востоке / Ю. И. Манько, Г. А. Гладкова // Лесоведение. – 1995. – № 2. – С. 3–12.
8. Манько Ю. И. Об усыхании темнохвойных лесов в Северной Америке / Ю. И. Манько, Г. А. Гладкова // Лесоведение. – 1999. – № 5. – С. 56–62.
9. Михайлова Т. А. Эколого-физиологическое состояние лесов, загрязняемых промышленными эмиссиями : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Т. А. Михайлова. – Иркутск, 1997. – 47 с.
10. Оценка жизненного состояния кедровых и пихтовых лесов ООПТ Алтае-Саянского региона / В. П. Сторожев и [др.] // Мониторинг биоразнообразия на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского региона : науч. тр. Ассоциации заповедников и нац. парков Алтае-Саянского экорегиона. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. – Вып 1. – С. 62–68.
11. Поликарпов Н. И. Климат и горные леса Южной Сибири / Н. И. Поликарпов, Н. М. Чебакова, Д. И. Назимова. – Новосибирск : Наука, 1986. – 226 с.
12. Санина Н. Б. Химический состав растительности Байкальского биосферного заповедника (в связи с проблемой деградации пихтовых лесов северного склона хр. Хамар-Дабан) / Н. Б. Санина, Е. В. Чупарина, А. А. Нестерова // Сиб. экол. журн. – 2004. – № 1. – С. 57–65.
13. Третьякова И. Н. Жизнеспособность пыльцы пихты сибирской в нарушенных лесных экосистемах гор Южной Сибири / И. Н. Третьякова, Е. В. Бажина // Экология. – 1994. – № 6. – С. 20–28.
14. Третьякова И. Н. Морфоструктура кроны и состояние генеративной сферы у пихты сибирской в нарушенных лесных экосистемах близ озера Байкал / И. Н. Третьякова, Е. В. Бажина // Изв. РАН. Сер. биол. – 1995. – № 6. – С. 685–692.
15. Третьякова И. Н. Семенная продуктивность макростробилов и качество семян у пихты сибирской в нарушенных лесных экосистемах гор Южной Сибири / И. Н. Третьякова, Е. В. Бажина // Экология. – 1996. – № 6. – С. 430–436.
16. Aldinger E. Zuwachsuntersuchungen an gesunden und geschädigten Fichten und Tannen auf alten Praxiskalkungsflächen / E. Aldinger, W. L. Kremer // Forstw. Cbl. – 1985. – Vol. 104, N 6. – P. 360–372.
17. Decline of *Abies firma* on mountain Ohyama Dev. / A. Furucawa et [al.] // Ecol. Perspect. 21st Cent. 5th Int. Congr. Ecol. – Yokohama, 1990. – P. 402.
18. Donaubaue E. On the Decline of Fir (*Abies densa* Griff.) in Bhutan / E. Donaubaue // Forest Decline in the Atlantic and Pacific Region / R. F. Huettl, D. Mueller-Dombois (eds.). – Springer-Verlag, 1993. – P. 332–339.
19. Forest decline and air pollution: a study of Spruce (*Picea*, *Abies*) on acid soils / ed. Schulze D.E.B. – Springer-Verlag, 1989. – 475 p.
20. Forest Decline in the Atlantic and Pacific Region / R. F. Huettl, D. Mueller-Dombois (eds.). – Springer-Verlag, 1993. – 366 p.
21. Parfenova E. I. Conifer trees of the South Siberia Mountains in a changing climate of XXI century. / E. I. Parfenova, N. M. Tchebakova // Beyond 4 degrees. – Int. Climate Conference, 28–30 Sept. 2009. – Oxford, 2009. – P. 91–94.
22. Visser H. Estimating trends and stochastic Response Functions in Dendroecology with an Application to fir decline / H. Visser, I. Molinaar // Forest Science. – 1992. – Vol. 38, N 2. – P. 221–237.
23. Wagner F. Ausmab und Verlaux des Tannensterbens in Ostbayern von 1975 bis 1980 / F. Wagner // Forstw. Cbl. – 1981. – Jahrgang 100, H. 3–4. – S. 148–16.

On the factors of *Abies sibirica* drying in the Southern Siberia mountains

Bazhina E. V.

V. N. Sukachev Institute of Forest, Krasnoyarsk

Abstract: The integrated assessment of dark-forest ecosystems in the Southern Siberia mountains demonstrates the existence of damage foci on the windward slopes of the most mountain ranges at the elevation 650–700 a.s.l. At the north-east of Altai only the drying is observed everywhere. The beginning stages of biocenosis damage in low mountains and leeward south and east slopes and strong damage in high and middle mountains on the windward north and west ones are observed. The study is shown that *Pinus sibirica* drying process is characteristic for conifers type, but drying of *Abies sibirica* has the specific character. A description of declining factors has been presented and the basic hypotheses of fir forest declining is considered. A conclusion about the complex character of causes of the decline which has a regional specific has been made.

Key words: *Abies sibirica*, *Pinus sibirica*, vital state, drying, damaging factors.

Бажина Елена Васильевна
Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск-36, Академгородок, 50, стр. 28
кандидат биологических наук, старший научный
сотрудник
тел: (391)2494625, факс (391)243–36–86
E-mail: genetics@ksc.krasn.ru .

Bazhina Elena Vasilyevna
V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS
50-28 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036
Ph.D. of Biology, senior research scientist
phone: (392) 249–46–25
E-mail: genetics@ksc.krasn.ru