

УДК 630*443.3

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СОСНЯКОВ МИНУСИНСКОЙ ВПАДИНЫ К КОРНЕВЫМ ПАТОГЕНАМ

И.Н. Павлов, П.В. Губарев, О.А. Барабанова,
А.А. Агеев, Ю.А. Орлов, А.И. Лобанов

ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»
660049 Красноярск, пр. Мира, 82; e-mail: forester24@mail.ru

В работе приведены результаты исследования влияния изменения климата, антропогенного воздействия, эдафических условий, биологической продуктивности, внутривидовой конкуренции на устойчивость сосновых лесов к корневым гнилям, вызываемым *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. и *Armillaria mellea* s.l.

Ключевые слова: *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str., *Armillaria mellea* s.l., Минусинская впадина

The results of climate change study, anthropogenic influence, edaphic conditions, bioproductivity, study of intraspecific competition in resistance of pine forests to root rot caused by *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. and *Armillaria mellea* s.l. are given in this work.

Key words: *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. и *Armillaria mellea* s.l., Minusinsk depression

ВВЕДЕНИЕ

Разрушительные процессы в лесах существовали всегда и носили как быстрый характер (вспышки массового размножения сибирского шелкопряда, пожары, ветровал и пр.), так и медленный (сукцессии по типу заболачивание — разболачивание или остепнение — залесение). В основе указанных процессов — климатические изменения. Тем не менее, всегда оставались лесные массивы, находящиеся в стабильном состоянии и в равновесии с климатическими условиями неопределенно долгое время (региональный климакс). Исследование лесных экосистем, находящихся в состоянии регионального (климатического) или эдафического климакса, особенно в условиях продолжающегося катастрофического антропогенного воздействия на них, представляет значительный интерес. Исключительно важно знать их закономерности роста, развития, строения для дальнейшего принятия хозяйственных решений при восстановлении нарушенных ранее ценозов. Биологические и экологические свойства корневых патогенов (*Armillaria mellea* s.l.; *Heterobasidion annosum* s.l.) определяют их достаточно высокую отзывчивость на любые изменения климата.

ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ

Ленточные боры Минусинской котловины из сосновых лесов наиболее удалены к югу и являются интразональными образованиями. Располагаясь среди степей, на значительном удалении от морей и океанов, они испытывают весь комплекс неблагоприятных климатических воздействий (большие годовые амплитуды колебания температур, малое количество осадков, сухость воздуха). Отмечаемое глобальное увеличение температуры приземного слоя воздуха (Изменение климата: физическая научная основа, 2007) в большей степени проявляется на границе природных зон, например, в экотоне лес-степь, где температура и, особенно, осадки являются лимитирующими факторами. Поэтому, именно в этих условиях произрастания, с изменением лесорастительных условий в первую очередь, и следует ожидать активизации воздействия корневых патогенов. Лесорастительные условия включают весь комплекс климатических, орографических, гидрологических и почвенных факторов, определяющих условия роста лесной растительности и динамику леса. Естественно, лесорастительные условия определяют и устойчивость древесных растений к неблагоприятным воздействиям как биотического, так и абиотического происхождения.

Наряду с климатом, на устойчивость древесных растений к возбудителям корневых гнилей и развитие заболевания чрезвычайно значимо влияние почвенных условий. Однако, исследование влияния почвенного плодородия на патогенность *Heterobasidion annosum* s.l. и *Armillaria mellea* s.l. в естественных условиях, а так же опыты с применением минеральных удобрений показали неоднозначные результаты (Федоров, 1984; Негруцкий, 1986; Shaw, Kile, 1991; *Heterobasidion annosum*, 1998).

Исследуемые нами сосняки по степени увеличения плодородия и увлажнения образуют ряд: мертвопокровный → бруснично-зеленомошный → разнотравно-зеленомошный → папоротниковый.

При закладке постоянных пробных площадей и их обследовании использовались общепринятые в лесоведении, дендрохронологии, лесной таксации, почвоведении методические подходы и положения (Уткин, 1975; Кузьмичев, 1977; Почвы СССР, 1979; Емшанов, 1999; Ваганов, Шашкин, 2000). Выделение видов грибов, входящих в комплекс *A. mellea* s.l., проведено по классификации К. Корхонена (1978, 2004). Принадлежность корневой губки к *H. annosum sensu stricto*, вызвавшей значительное куртинное усыхание сосновых древостоев в Минусинских ленточных борах, установлена в результате тест-скрещивания, проведенного К. Корхоненом.

ОБСУЖДЕНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате продолжающихся исследований изменения глобального климата подтвержден устойчивый рост температуры приземного слоя воздуха

(Изменение климата: физическая научная основа, 2007). Обновленный 100-летний тренд за 1906–2005 годы, составил $0,74^{\circ}\text{C} \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ и превышает 100-летний тренд потепления (1901–2000 годы), отмеченный на момент выпуска предыдущей версии доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата, равный $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. В целом, темпы потепления за последние 50 лет ($0,13^{\circ}\text{C} \pm 0,03^{\circ}\text{C}$ за десятилетие), почти вдвое выше, чем за последние 100 лет.

Годовое выпадение осадков на суше в течение 20 века возрастало в средних и высоких широтах Северного полушария (примерно 0,5-1 % в десятилетие), за исключением Восточной Азии (Technical Summary Working Group I, 2001). В свою очередь проведенная реконструкция климата за последние 450 лет по образцом древесины *Larix sibirica*, *Pinus sibirica* и *P. Sylvestris*, полученных из горных лесов Монголии, расположенных на высоте от 900 до 2440 м над уровнем моря показала, что сейчас климат данного региона значительно теплее и влажнее, чем прежде (Jacoby et al., 1999).

В последние десятилетия (1976 – 2007 гг.) в Европейской части России, Приморье и Приморье происходит уменьшение летних осадков. В то же время в Средней Сибири – устойчивое увеличение. Коэффициент линейного тренда составляет $+2,08^{\circ}\text{C}$ (максимальное значение для регионов России) (Обзор состояния ..., 2007).

По данным Средне-Сибирского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, для исследуемой территории характерен рост температуры приземного слоя воздуха, наиболее существенный в последние два десятилетия. Более теплая зима (с 1915 г. по 2007 г. изменение составило $+6^{\circ}\text{C}$) создает лучшие условия для зимовки вредителей и болезней. За этот же период средняя температура мая выросла на $2,7^{\circ}\text{C}$ и составила $+12,5^{\circ}\text{C}$, что обеспечивает более ранний и активный рост мицелия корневых патогенов.

Для района исследований установлено увеличение продолжительности вегетационного периода. Так, количество дней с температурой $>5^{\circ}\text{C}$ увеличилось на 10 дней. При этом в некоторые годы рост составлял более значимые величины (например, в 1997 г. – 19 дней). Возможно, это и было основой триггерного механизма, запустившего процесс усыхания сосняков в Минусинских борах.

Для ленточных боров Минусинской впадины характерна пестрота лесорастительных условий, обусловленная пересеченностью рельефа, разницей гранулометрического состава почв, наличием прослоек суглинка, коренными породами, гидрографической сетью (Почвенные факторы ..., 1976). Несмотря на то, что преобладают сосняки II-III классов бонитета, в особо благоприятных условиях произрастания встречаются насаждения I-Ia бонитета.

В наиболее сухих и бедных условиях произрастания (ППП 1, приенисейская часть Инской ленты) в 2007 г. произошел мозаичный ветровал сосны. Харак-

терные признаки гнили, плодовые тела, образовавшиеся естественно и с применением методов стимулирования (Павлов, 2007) свидетельствуют о патогенном воздействии *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. Влияние *Armillaria mellea* s.l. ограничивается ростом на угнетенных деревьях сосны и березы в естественных понижениях между грив и не представляет значительной опасности.

Наряду с ростом температуры приземного слоя воздуха по данным Средне-Сибирского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, для исследуемой территории характерно увеличение ветровой нагрузки. С 1936 г. по 2007 г. тренд увеличения максимальной скорости ветра при порыве составил 10 м/с. Возможно, это также, наряду с корневой губкой, явилось причиной образования исследуемого ветровала.

Ранее (Павлов и др., 2008) была установлена приуроченность очагов усыхания к наличию прослоек суглинка среди песчаных отложений, что способствует формированию оптимальной для корневой губки влажности (во влажный период - отвод избытка влаги благодаря песчаному обрамлению очагов; в засушливый период - её подъем (аккумуляция) по суглинистым элементам). За пределами суглинистых прослоек очаги усыхания обнаружены не были. Возможно, при отсутствии ветрового воздействия деревья могли еще надолго сохранить свою жизнеспособность. Влияние климата нелинейно. С одной стороны быстрое прогревание песчаных почв способствует увеличению скорости распространения мицелия корневой губки, с другой - сухость условий произрастания снижает её.

Радиальный прирост на ППП 1 значительно меньше, чем на 2 и 3 пробных площадях. Выделяется период (1982-1988 гг.) в течение которого происходит увеличение прироста до значений превышающих даже прирост деревьев с третьей пробной площади. Синхронность увеличения прироста в этот период на пробных площадях, заложенных на супесчаных почвах с дефицитом влаги позволяет сделать предположение об увеличении атмосферных осадков в этот период. И действительно, при анализе данных установлен рост осадков в конце мая - начале июня и снижение температуры приземного слоя воздуха в июне. Прохладная влажная погода в это время благоприятна для роста сосны на сухих супесчаных почвах.

Все ветровальные деревья в большей или меньшей степени имели гниль, вызываемую *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str.. По степени поражения корней все деревья сосны были распределены на три группы: 1- без признаков поражения; 2- среднее; 3- сильное. Подтверждается закономерность, отмечаемая нами ранее (Павлов, 2007). Для устойчивых деревьев (без признаков поражения возбудителями корневых гнилей) характерно достаточно свободное произрастание в молодом возрасте, о чем и свидетельствует их более интенсивный рост. Они смогли избежать влияния «эффекта группового угнетения»

(Погребняк, 1968; Романовский, 2002), который имеет место в условно-одновозрастном древостое при достаточно равномерном размещении отдельных особей на площади после смыкания крон и вступления соснового древостоя в фазу жесткой конкуренции и активной дифференциации. Это подтверждает высокую опасность длительного нахождения соснового древостоя в условиях избыточной загущенности без активной дифференциации и своевременного отпада.

На второй пробной площади установлено единичное усыхание деревьев сосны как от воздействия *Armillaria mellea* s.l. так и *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. Насаждение расположено на несколько повышенном элементе рельефа (в сравнении с третьей ППП) на почве более легкого гранулометрического состава. И как следствие – значительно меньший радиальный прирост.

Наиболее неблагоприятное лесопатологическое состояние характерно для третьей постоянной пробной площади, где наибольшую опасность для деревьев сосны представляет опенок. Сухостой, образовавшийся за достаточно короткий период (до 10 лет) достигает 26 % от общего запаса стволовой древесины сосны.

Веера мицелия опенка были обнаружены под корой усыхающих деревьев и свежего сухостоя. В местах предварительно проведенных раскопок корневых систем для стимулирования образования базидиом корневой губки (как предполагалось при постановке эксперимента) образовались плодовые тела *Armillaria mellea* s.l.. Базидиомы *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. были обнаружены только на верхней части исследуемого участка.

Распределение числа деревьев по диаметру является важным показателем, характеризующим состояние древостоя. Успешная аппроксимация распределения деревьев по диаметру в очагах корневых патогенов оказалась возможной только с использованием многокомпонентной смеси нормальных распределений. Ряды распределения усохших деревьев имеют ярко выраженную положительную асимметрию.

Наличие сухостоя диаметром 16-44 см свидетельствует об интенсивном патогенном характере отпада. Первая составляющая отпада (в нижних ступенях толщины) образована патогенным воздействием корневых патогенов на деревья сосны, ослабленные внутриценотическим давлением. В дальнейшем именно на их основе происходит усиление вирулентности и агрессивности опенка. Поэтому технологические решения, как при естественном возобновлении, так и при искусственном восстановлении должны быть направлены на предотвращение образования значительно угнетенного яруса деревьев. Например, за счет редкого размещения посадочного материала или своевременного проведения рубок ухода. Вторая составляющая отпада (в верхних ступенях толщины) образована действием опенка, как первичного патогена.

Двухвершинное распределение характерно и для живых деревьев. Причиной образования сложного строения живых деревьев является их возрастное

строение и патогенное воздействие корневых патогенов.

Анализ радиального прироста живых и усохших деревьев в очагах корневых патогенов выявил существенные различия в динамике.

Заметные различия в радиальном приросте прослеживаются в периоды 1900-1911 гг. и 1929-1943 гг. Это периоды активизации внутриценотической конкуренции, начавшейся после смыкания крон. Живым в настоящее время деревьям удалось успешно пройти стадии дифференциации и своевременного отпада без значительного снижения своего прироста и жизнеспособности (естественно за счет отпада рядом растущих деревьев). С 60-х годов наблюдается значительное снижение радиального прироста у усохших в настоящее время деревьев. Возможно, наряду с ростом конкуренции за свет, воду, питательные вещества, именно в этот период начался процесс поражения корневых систем возбудителями корневых гнилей.

На четвертой пробной площади (сосняк папоротниковый на темно-серой лесной почве, мощный гумусовый горизонт, благоприятный гидрологический режим), расположенной на территории, прилегающей к пойме р. Лугавка., в наиболее оптимальных для сосны обыкновенной условиях произрастания, несмотря на присутствие опенка в подстилке, на мертвом подросте сосны и ели, отсутствуют усыхающие деревья I-IV классов Крафта. Симптомы поражения корневой губкой отсутствуют. На более высоких элементах рельефа прилегающего леса из корневых патогенов доминирует *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str., ниже, в пойме р. Лугавка – *Armillaria mellea* s.l. (хотя и в том и другом случае были найдены плодовые тела и следы поражения обоими возбудителями корневых гнилей).

На темно-серых почвах Минусинских боров с непромывным типом водного режима, который определяется высокой влагоемкостью покровного суглинка, зависанием влаги осадков при переходе суглинка в связные супеси и пески, а также наличием (местами) на глубине 2—5 м подстилающего карбонатного суглинка и, наконец, экранирующим влиянием сезонной мерзлоты формируются высокопродуктивные сосняки I и II классов бонитета (Почвенные факторы ..., 1976). В этих условиях элементы питания, выносимые осадками вглубь, остаются в корнеобитаемой толще и с помощью десукции возвращаются в верхнюю высокогумусную плодородную толщу.

Только на данном участке, благодаря расположению на припойменной террасе, древостой не испытывает недостатка влаги, даже в неблагоприятные засушливые периоды. Следует отметить, что периодически наступающие засухи с характерными для них длительным бездождем, повышенными температурами, суховеями и пыльными бурями оказывают значительное влияние на состояние Минусинских боров. При выпадении осадков за май-июнь мене 80 мм водные запасы в верхней толще почвы падают почти до влажности завядания (Почвенные факторы ..., 1976). Это ведет к резкому снижению веса закладываемой хвои, происходит массовый отпад старой хвои, усыхание подроста,

снижение текущего прироста и биологической устойчивости.

Сочетание высокой продуктивности и устойчивости на 4ППП представляет наибольший интерес для исследования. Насколько велики различия между двумя крайними по условиям произрастания насаждениями видно из графиков распределения по высоте и диаметру.

Причина устойчивости древостоя в данных условиях произрастания заключается в ряде сопряженных факторов:

- большую биологическую устойчивость деревьев обеспечивает глубоко развитая корневая система, оптимальный водный и питательный режим, хорошо развитая крона;
- высокая микробиологическая активность почв обеспечивает быстрое разложение опада и других растительных остатков. Это ухудшает условия сапротрофного питания корневых патогенов и снижает скорость их распространения в почве. В то же время в подверженных засухе древостоях (ППП 1, 2), наряду со снижением микробиологической активности почвы, повышенный отпад подроста (или значительное снижение биологической устойчивости) обеспечивает благоприятные условия для развития *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. и *Armillaria mellea* s.l..
- хорошо развитый живой напочвенный покров из крупнотравных видов растений исключает развитие зеленых мхов. В их отсутствие корневая шейка сосны обыкновенной менее подвержена поражению ризоморфами опенка (в слое мха, растительного опада кора сосны размягчается и становится легко проницаемой для ризоморф).
- припойменное расположение древостоя обеспечивает устойчивое обеспечение деревьев сосны влагой в любой засушливый период (чрезвычайно важно в условиях недостатка осадков, сухости воздуха, типичных для Минусинской котловины).

ВЫВОДЫ

1. Тренд увеличения температуры приземного слоя воздуха на территории Минусинских боров за три последних десятилетия составил: по среднегодовой $+1,5^{\circ}\text{C}$; по зимней $+2,8^{\circ}\text{C}$; по температуре мая $+1,6^{\circ}\text{C}$. За тот же период продолжительность теплого периода с температурой более 10°C увеличилось на шесть дней. С 1936 г. по 2007 г. тренд увеличения максимальной скорости ветра при порыве составил 10 м/с.
2. Указанные климатические изменения в условиях дефицита влаги формируют условия стресса для древесных растений Минусинских боров. В то же время увеличение продолжительности вегетационного периода, ранняя весна, более мягкие зимы благоприятны для корневых патогенов. Рост ветровой нагрузки наряду с вывалом деревьев увеличивает вероятность механического повреждения корней, что способствует распространению

возбудителей корневых гнилей.

3. В сухих олиготрофных условиях произрастания на супесчаных дерново-боровых примитивных почвах установлена приуроченность очагов усыхания к наличию прослоек суглинка среди песчаных отложений, что обеспечивает формирование оптимальной для корневой губки влажности (во влажный период - отвод избытка влаги благодаря песчаному обрамлению очагов; в засушливый период - её подъем (аккумуляция) по суглинистым элементам). За пределами суглинистых прослоек очаги усыхания обнаружены не были. Влияние климата нелинейно. С одной стороны быстрое прогревание песчаных почв способствует увеличению скорости распространения мицелия *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str., с другой – сухость условий произрастания снижает её. Влияние *Armillaria mellea* s.l. ограничивается ростом на угнетенных деревьях сосны и березы в естественных понижениях между грив и не представляет значительной опасности.
4. В свежих мезотрофных условиях произрастания на серой лесной легко-суглинистой почве установлено наиболее неблагоприятное санитарное состояние. Наибольшую опасность для деревьев сосны представляет *Armillaria mellea* s.l. Веера мицелия опенка были обнаружены под корой усыхающих деревьев и свежего сухостоя. Базидиомы *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. были обнаружены только на верхней части исследуемого участка.
5. В свежих эвтрофных условиях произрастания на темно-серых лесных почвах высокая биологическая устойчивость и продуктивность древостоя сосны обеспечиваются глубоко развитой корневой системой; оптимальным водным и питательным режимом; хорошо развитой кроной; отсутствием толстой подстилки (за счет высокой микробиологической активности почв) – субстрата для распространения мицелия *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. и *Armillaria mellea* s.l.; отсутствием подушки из зеленых мхов, что обеспечивает естественное подсушивание корневой шейки сосны (в слое мха, растительного опада кора сосны размягчается и становится легко проницаемой для ризоморф опенка).
6. Во влажных и сырых эвтрофных условиях произрастания наибольшую опасность для сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, ели сибирской представляет *Armillaria mellea* s.l.. Базидиомы *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref s. str. были найдены только в одном случае на возвышенном месте на корнях елового вывала.
7. Устойчивость сосны к корневым патогенам формируется еще в стадии жердняка, когда интенсивный рост сочетается с резкой дифференциацией и отпадом отстающих в росте деревьев. Деревья, успешно и без значительного снижения прироста прошедшие этот период, избежавшие «эффект группового угнетения», более устойчивы к корневой губке и опенку.

Таким образом, при проведении лесовосстановительных работ в местах потенциального наличия инфекции корневых патогенов в почве следует стремиться к свободному произрастанию деревьев (обеспечивает высокую биологическую устойчивость сосны обыкновенной и препятствует распространению возбудителей гнили).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ваганов, Е.А. Рост и структура годовичных колец хвойных / Е.А. Ваганов, А.В. Шашкин. – Новосибирск: Наука, 2000. – 232 с.
- Емшанов Д.Г. Методы пространственной экологии в изучении лесных экосистем. - Киев, Меркьюри Глоуб Юкрейн, 1999. -220 с.
- Изменение климата, физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Четвертый доклад МГЭИК об оценках. – 2007. -163 с.
- Кузьмичев, В.В. Закономерности роста древостоев / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 135 с.
- Негруцкий, С.Ф. Корневая губка / С.Ф. Негруцкий. — М.: Агропромиздат, 1986, — 196 с.
- Обзор состояния и тенденций изменения климата России. – Москва: Институт Глобального Климата и Экологии. – 2007. -23 с.
- Павлов, И.Н. Закономерности образования очагов *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s. str. в географических культурах сосны обыкновенной (Минусинская котловина) / И.Н. Павлов [и др.] // Хвойные бореальной зоны. - 2008. – Т.25. – №. 1-2. – С. 28-36.
- Павлов, И.Н. Техногенные и биотические механизмы деструкции коренных лесов юга Сибири и их восстановление: автореферат дисс... по спец: 06.03.03; 03.00.16; –М. 2007. -44 с.
- Погребняк, П.С. Общее лесоводство / П.С. Погребняк. – М.: Колос, 1968. - 440 с.
- Почвенные факторы продуктивности сосняков (на примере Минусинских ленточных боров Красноярского края). – Новосибирск: Наука. – 1976. – 238 с.
- Почвы СССР. отв. ред. Г.В. Добровольский. – М.: Мысль, 1979. – 380 с.
- Романовский, М.Г. Продуктивность, устойчивость и биоразнообразие равнинных лесов европейской России / М.Г. Романовский. –М.: МГУЛ, 2002. – 97 с.
- Уткин, А.И. Биологическая продуктивность лесов: Методы изучения и результаты / А.И. Уткин // Лесоведение и лесоводство: [Итоги науки и техники]. – ВИНТИ, 1975. –Т.1. – С. 9-139.
- Федоров, Н.И. Корневые гнили хвойных пород / Н.И. Федоров.– М.: Лесн. пром. – 1984. – 160 с.
- Heterobasidion annosum*: biology, ecology, impact and control /edited by S. Woodward et al. CAB International, Wallingford, UK. -1998. - 590 p.
- Jacoby Gordon, D'Arrigo Rosanne, Pederson Neil, Buckley Brendan, Dugarjav Chultamiin, Mijiddorj R. Temperature and precipitation in Mongolia based on dendroclimatic investigations: Pap. Workshop Southeast Asian Dendrochronol, Chiang Mai, 16-20 Febr., 1998 // IAWA Journal. - 1999. -20, №3. - P. 339-350.
- Korhonen, K. Fungi belonging to the genera *Heterobasidion* and *Armillaria* in Eurasia / K. Korhonen // Грибные сообщества лесных экосистем: материалы координационных исследований – Москва-Петрозаводск, 2004. – Том 2. – С. 89-113.
- Korhonen, K. Interfertility and clonal size in the *Armillaria mellea* complex / K. Korhonen //

Karstenia. – №18. – 1978. – P. 31-42.

Shaw III, C.G. Kile G.A. *Armillaria* root disease / C.G. Shaw III, G.A. Kile // Agriculture handbook № 691. – Washington, USDA Forest Service – 1991.– 231 p.

Technical Summary Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. - Geneva, Switzerland. – 2001. - pp 98.
