

ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ УРО РАН

ЭКОЛОГИЯ. ГЕНЕТИКА. ЭВОЛЮЦИЯ

Материалы Всероссийской конференции
молодых ученых,
посвященной 115-летию Н.В. Тимофеева-Ресовского



Екатеринбург

ЮШККИ

2015

УДК 574 (061.3)

Э 40

Экология. Генетика. Эволюция. Материалы конф. молодых ученых, 13–17 апреля 2015 г. / ИЭРиЖ УрО РАН — Екатеринбург: Гощицкий, 2015 — 160 с.

В сборнике опубликованы материалы Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 115-летию Н.В. Тимофеева-Ресовского «Экология. Генетика. Эволюция». Мероприятие проходило в Институте экологии растений и животных УрО РАН с 13 по 17 апреля 2015 г. Работы посвящены проблемам изучения биологического разнообразия на популяционном, видовом и экосистемном уровнях, этологии, анализу экологических закономерностей эволюции, поиску механизмов адаптации биологических систем к экстремальным условиям, а также популяционным аспектам экотоксикологии, радиобиологии и радиоэкологии.

В оформлении обложки использован рисунок Олега Цингера © Zinger, 1945

ISBN 978-5-98829-048-3

© Авторы, 2015

© ИЭРиЖ УрО РАН, 2015

© Оформление. Издательство «Гощицкий», 2015

Изменение запаса крупных древесных остатков в градиенте загрязнения выбросами медеплавильного завода

И.Е. Бергман, П.Г. Пищулин

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: промышленное загрязнение, медеплавильный завод, тяжелые металлы, крупные древесные остатки, сухостой, валеж.

ВВЕДЕНИЕ

Под крупными древесными остатками (КДО) обычно понимают мертвое вещество стволов деревьев (сухостой, валеж, пни) всех стадий разложения, вплоть до его перехода в детрит. КДО часто упоминают, как важный аспект в сохранении биоразнообразия, формирующий среду обитания для многих видов флоры и фауны (Harmon et al., 1990; Siitonen, 2001; Stokland et al., 2012). Пни и упавшие древесные стволы служат местом интенсивного возобновления для ряда бореальных видов деревьев (Юсупов, 2011). КДО влияют на микроклимат в лесу (Кривец и др., 2015), служат важным источником питательных веществ (Радюкина, 2007) и накапливают значительное количество углерода (Замолотчиков, Грабовский, 2013; Karjalainen, Kuuluvainen, 2002). Процесс разложения детрита обеспечивает постоянное поступление питательных веществ в почву и углекислого газа в атмосферу (Швиденко и др., 2009).

В то же время, большинство работ по КДО касается ненарушенных биотопов. Значительно меньше публикаций посвящено влиянию промышленного загрязнения на изменение основных показателей КДО (Залесов и др., 2002; Цветков, Цветков, 2003; Волчатова и др., 2007; Ставишенко, 2010; Ставишенко, Кшнясев, 2013; Бергман и др., 2015 а, б). Результаты этих работ противоречивы: продемонстрирована как активизация процессов отпада по мере возрастания уровня загрязнения (Фимушин, 1979; Ившин, 1993; Цветков, Цветков, 2003; и др.), так и отсутствие закономерных изменений (Поляков, Полякова 2005; Ставишенко, 2010; Тарханов, 2011; Ставишенко, Кшнясев, 2013; Бергман и др., 2015 а).

Таким образом, существенный дефицит информации по влиянию промышленного загрязнения на формирование запасов КДО и наличие противоречивых результатов определили цель настоящей работы. В ходе исследования тестировали следующую гипотезу: на загрязненных территориях запас/количество элементов КДО выше, чем в

аналогичных фоновых условиях (такое увеличение может возникать как из-за интенсификации отпада, так и торможения деструкции). Гипотеза вытекает из хорошо документированных фактов угнетения древесных растений (Фимушин, 1979; Цветков, Цветков, 2003; Усольцев и др., 2012; Muhlbauer, 1987; и др.) и торможения деструкционных процессов (Воробейчик, 1991, 1995, 2002, 2007; Волчатова и др., 2007; Воробейчик, Пищулин, 2011) под действием промышленного загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в районе действия Среднеуральского медеплавильного завода, расположенного на окраине г. Ревды Свердловской обл., в 50 км к западу от г. Екатеринбурга. Предприятие действует с 1940 г. и считается одним из крупнейших источников атмосферного загрязнения в России: общий объем эмиссии в конце 1980-х составлял более 140 тыс. т/год, к середине 2000-х — уменьшился до 25 тыс. т/год, а после кардинальной реконструкции предприятия в 2010 г. — менее 5 тыс. т/год (Воробейчик и др., 2014). Основные компоненты выбросов — SO_2 и пылевые частицы с сорбированными токсичными элементами (Cu, Pb, Cd, Zn, Fe, As, Hg и др.). В результате многолетнего действия загрязнения вокруг завода сформировались зоны с различной степенью поражения экосистем, форма которых частично совпадает с преимущественным направлением ветров в данном районе (с запада на восток).

Территория относится к подзоне южной тайги. Работы проведены в елово-пихтовых лесах разных растительных ассоциаций, закономерно меняющихся при приближении к заводу (от неморально-кисличной через кислично-разнотравную к мертвопокровной и мохово-хвощевой). Почвенный покров исследованных участков представлен сочетаниями горно-лесных бурых, дерново-подзолистых и серых лесных почв, в разной степени трансформированных действием техногенных факторов. В данной работе части градиента объединены в три зоны загрязнения: импактную — на удалении 2 и 3 км от источника выбросов, буферную — 4, 7 и 10 км, фоновую — 20 и 30 км. Лесотаксационная характеристика древостоев приведена в таблице. Подробное описание характера изменения экосистем приведено ранее (Воробейчик и др., 1994, 2014; Усольцев и др., 2012).

При перечете отпад подразделяли на две категории: 1) сухостой — отмершие, но не упавшие деревья с диаметром ствола на высоте 1.3 м не менее 5 см; 2) валеж — в разной степени разложившиеся деревья (или их фрагменты), расположенные на поверхности или частично погребенные, с диаметром большего основания не менее 5 см. Стволы погибших деревьев, зависшие в кронах соседних деревьев, также отнесены к валежу.

Таблица. Таксационная характеристика исследованных елово-пихтовых древостоев

Зона загрязнения		Удаление от завода, км	№ ПП	Состав	Средний возраст, лет*	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Густота, шт./га	Сумма площадей сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га
Фоновая	30		1	5Пх3Е1Ос1С+Б	100 (64–134)	21.3	22.3	1244	48.4	35.9
			2	5Пх2Е2Ос1Б		20.9	21.6	1177	43.2	30.7
			3	6Е4Пх ед.Б		22.2	23.9	1110	49.6	31.9
	20	4	4Пх3Е2Б1Ос ед.С	21.2		24.7	1070	51.4	33.5	
Буферная	10		1	3Е3Пх3Б1Лп+Ос	99 (37–164)	15.9	18.4	1520	40.4	23.4
			2	5Е4Пх1Б+Лп		16.7	20.0	1055	33.2	20.3
			3	4Б3Е3Пх+Лп		17.3	21.3	1014	36.1	21.1
			4	4Е4Пх2Б+Лп.Ос		22.4	24.0	1062	48.2	34.9
	7		5	7Пх3Б ед.Ос		21.8	23.1	888	37.1	35.9
			6	5Пх3Е2Б		21.0	21.5	1049	38.2	26.0
	4		7	9Е1Пх ед.Б		21.5	24.2	802	36.9	23.9
			8	6Пх3Е1Б ед.Ос		15.4	14.3	2345	37.6	22.7
Импактная	3		1	3Е3Пх2С2Б	77 (44–130)	14.9	15.8	1616	31.5	17.3
			2	5Пх4Е1Б+С		13.7	13.9	2006	30.4	16.8
			3	5Е3С1Б1Пх ед.Ив		15.1	16.9	1033	23.1	12.8
	2		4	5Е3Пх1Б1Ив +С		12.8	13.5	1207	17.3	9.5
			5	5Е4Пх1Б +С		14.5	16.0	1238	24.9	12.7

Примечание: * - указан средневзвешенный (по площадям поперечных сечений) возраст, в скобках - минимальный и максимальный возраст деревьев на ПП (снят с модельных деревьев (Бергман, 2011)).

При учете сухостоя измеряли его диаметр (с точностью до 0.5 см), а по графику высот оценивали высоту дерева на момент гибели. В основу определения запаса сухостоя, как и для живых деревьев, по-

ложены зависимости объема ствола от его диаметра на высоте 1.3 м (Бергман, 2011). При учете валежа измеряли диаметры (с точностью до 0.5 см) противоположных концов и длину (с точностью до 1 см) каждого фрагмента. Объем валежа рассчитывали по формуле объема усеченного конуса (Трефилова и др., 2009). Для валежа место слома (большого основания), как правило, приходится на высоту в 1.3 м. Таким образом, отпад был подразделен на следующие размерные категории по диаметру: тонкомер — $5 \text{ см} < d_{1.3} \leq 18$, среднемер — $18 < d_{1.3} \leq 42$, крупномер — $d_{1.3} \geq 42$. Если упавший ствол находился за пределами ПП, но его пень — в пределах ПП, ствол включали в пересчет.

Статистический анализ данных выполнен в программах STATISTICA v. 8.0. и AtteStat (версия от 24.02.13). Для сравнения средних использовали критерий Манна-Уитни (учетная единица — ПП). Распределение КДО по категориям крупности анализировали с помощью таблиц сопряженности, для оценки различий использовали критерий χ^2 Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольший общий запас КДО (т.е. суммарно сухостоя и валежа) отмечен в буферной зоне (113.7 м³/га), что несколько выше значений в фоновой (в 1.6 раза) и импактной (в 1.7 раза) зонах. Это связано с большим запасом валежа (в 4.3 раза выше, чем в фоновой и в 3.2 раза выше, чем в импактной), тогда как запас сухостоя в буферной зоне наименьший (в 2.3 раза ниже, чем в фоновой и в 1.8 раза ниже, чем в импактной) (см. рис. 1а).

Иная картина наблюдается при анализе изменения количества элементов КДО в градиенте загрязнения. Общее количество КДО выше (в 1.3 раза) вблизи завода по сравнению с фоновыми древостоями, тогда как для сухостоя зарегистрировано обратное соотношение (в 1.1 раза); однако эти различия статистически не значимы ($p > 0.05$). Количество валежа значимо выше ($p < 0.05$) в импактной и буферной зонах по сравнению с фоновой (в 2.4 и 2.3 раза соответственно) (см. рис. 1б).

Распределение количества КДО по категориям крупности статистически неоднородно ($\chi^2(4) = 48.6$; $p < 0.001$) и связано с зоной загрязнения (рис. 2): значимые различия установлены между импактной и буферной зонами ($\chi^2(2) = 37.2$; $p < 0.001$), а также буферной и фоновой ($\chi^2(2) = 20.8$; $p < 0.001$), тогда как импактные и фоновые участки не различаются ($\chi^2(2) = 1.84$; $p = 0.39$). Выявленные различия связаны с большей долей среднемерного и крупномерного отпада при умеренном загрязнении — в 2.1–2.5 раза по количеству и в 1.3–2.0 раза по запасу в сравнении с древостоями фоновой и импактной зон соответственно (см. рис. 2).

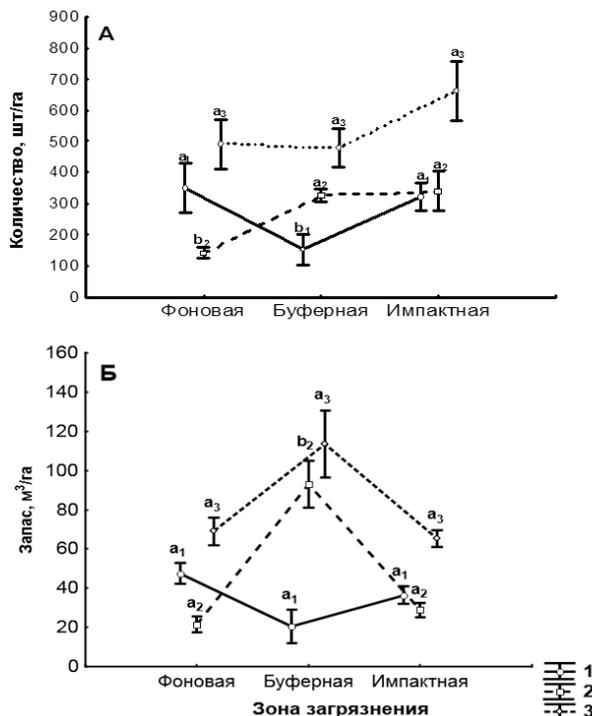


Рис. 1. Изменение количества (А) и запаса (Б) КДО в градиенте загрязнения. 1 — сухостой; 2 — валеж; 3 — суммарно сухостой и валеж. Одинаковые буквы означают отсутствие значимых различий между зонами загрязнения по критерию Манна-Уитни, подстрочный индекс обозначает элемент КДО (см. легенду). Планки погрешности — стандартная ошибка.

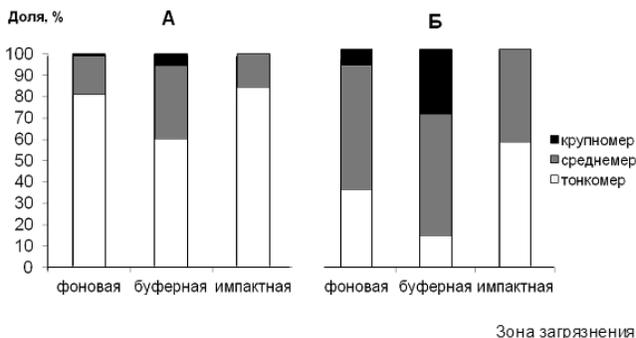


Рис. 2. Распределение количества (А) и запаса (на момент гибели дерева) (Б) КДО по размерным категориям (по диаметру) в разных зонах загрязнения.

Полученные нами величины запаса КДО (отпада) в фоновой зоне (53.1 – 83.8 м³/га) несколько выше значений, зарегистрированных в других районах, например, в средневозрастных и приспевающих хвойных древостоях Ленинградской области – 26 м³/га (Трейфельд, 2001), в лесах южной тайги – 39.4 м³/га (Швиденко и др., 2009). В то же время показано, что для умеренной и бореальной зон, при отсутствии сильных природных нарушений, запас КДО может достигать 150 м³/га (Sitonen, 1999; Norden et al., 2004).

Как мы отметили выше, результаты исследований процессов отпада в подверженных атмосферному загрязнению древостоях не однозначны. Согласно одним материалам (Фимушин, 1979; Ившин, 1993; Цветков, Цветков, 2003; и др.) с увеличением уровня загрязнения величина отпада увеличивается, согласно другим (Тарханов, 2001; Поляков, Полякова, 2005) – каких-либо закономерных изменений запасов КДО по мере приближения к источнику выбросов не выявлено. Результаты, как настоящего исследования, так и ранее выполненного нами в этом же районе (Бергман и др., 2015а) не установили четких значительных различий между участками градиента загрязнения ни по количеству, ни по запасу КДО. Тем не менее, общее количество отпада (сухостой и валеж), как и предполагалось, максимально в импактной зоне, однако максимум запаса смещен в буферную зону (рис. 1). Таким образом, наша рабочая гипотеза подтвердилась лишь частично.

Противоречивость результатов может быть связана с разнообразием ситуаций возле разных источников выбросов (которые различаются продолжительностью и силой воздействия), но в первую очередь – с динамикой процессов отпада, поскольку результат во многом зависит от того, на каком этапе развития находится древостой в конкретный момент времени (Катаев, 1990). Несмотря на визуальную однородность исследуемых нами древостоев, соотношение слагающих их возрастных поколений может различаться (см. табл.), что, в свою очередь, может приводить к неодинаковой интенсивности отпада в разных частях градиента загрязнения. К сожалению, проверить данное утверждение очень сложно, т.к. основной вид исследуемых лесов – пихта сибирская – в большинстве случаев повреждена скрытыми стволовыми и комлевыми гнилями (Ставищенко, 2010) и определение возраста по годичным кольцам в этом случае не представляется возможным.

Неоднократно было показано, что основное количество КДО в темнохвойных лесах приходится на фрагменты низких ступеней толщины (Дыренков, 1971; Гусев, 1977); с этим согласуются и полученные нами данные (рис. 2а). В то же время это входит в определенное противоречие с опубликованными ранее результатами (Бергман и др., 2015а), согласно которым импактная зона значимо отличается

от остальных увеличенной долей количества/запаса тонкомерных стволов в общем отпаде. Данное противоречие, скорее всего, объясняется несколько иным набором ПП в градиенте загрязнения в 2014 г. по сравнению с 2009 г. Из рассмотрения были исключены несколько прежних участков, из-за проведения на них сплошных рубок и различных видов хозяйственной деятельности в последние годы. Это еще раз демонстрирует высокую гетерогенность условий в районе наших исследований (Воробейчик, Пищулин, 2011; Мухачева и др., 2012; Воробейчик и др., 2014).

Отсутствие различий в запасах КДО между импактной и фоновой зонами также может быть связано с различиями в механизмах формирования их запасов в разных зонах нагрузки. В импактной зоне запас КДО в первую очередь формируется за счет большего количества угнетенных загрязнением деревьев низких ступеней толщины, постоянно накапливающихся на поверхности почвы из-за увеличенной интенсивности отпада (Фимушин, 1979; Цветков, Цветков, 2003), и слабой деструкции органики (Воробейчик, 1991, 1995, 2002, 2007; Воробейчик, Пищулин, 2011). В фоновой зоне запас КДО формируется за счет меньшего количества, но более крупных деревьев, которые не испытывают негативного влияния загрязнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Участки в градиенте загрязнения значимо не отличаются по общему запасу/количеству КДО, хотя наблюдается тенденция увеличения количества отпада при приближении к заводу. Максимальное количество КДО зарегистрировано в импактной зоне, запаса — в буферной. Запас/количество сухостоя и валежа изменяются в градиенте разнонаправлено.

Отсутствие различий, на наш взгляд, связано со следующим. Во-первых, структура возрастных поколений, слагающих древостой, может различаться в разных частях градиента загрязнения, что, в свою очередь, приводит к неодинаковой интенсивности отпада. Во-вторых, в районе исследований отмечена высокая гетерогенность лесорастительных условий, что также не могло не сказаться на полученных результатах. В-третьих, механизмы формирования отпада на загрязненных и контрольных участках неодинаковы: в импактной зоне запас КДО формируется за счет большего количества слабо разлагающихся валежных стволов низких ступеней толщины, тогда как в фоновой — за счет меньшего количества, но более крупных деревьев.

Авторы признательны д.б.н. Е.Л. Воробейчику за обсуждение работы и комментарии. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14–04–31488) и Программы фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 15–12–4–27).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бергман И.Е.* Биологическая продуктивность ели и пихты в градиенте атмосферных загрязнений на Урале: сравнительный анализ и составление таксационных таблиц: дис. канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. 156 с.
- Бергман И.Е., Воробейчик Е.Л., Усолицев В.А.* Структура отпада елово-пихтовых древостоев в условиях загрязнения выбросами Среднеуральского медеплавильного завода // Сибирский лесной журнал. 2015а. № 2. С. 20–32.
- Бергман И.Е., Костицина М.В., Пищулин П.Г.* Начальные этапы разложения валежной древесины в градиенте загрязнения выбросами медеплавильного завода // Биоразнообразие и экология грибов и грибоподобных организмов Северной Евразии: материалы Всероссийской конференции с международным участием. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2015б. С. 15–16.
- Волчатова И.В., Александрова Г.П., Хамитуллина Е.А.* и др. Микогенный ксиллиз в условиях антропогенного загрязнения // Лесоведение. 2007. № 5. С. 27–31.
- Воробейчик Е.Л.* Изменение интенсивности деструкции целлюлозы под воздействием техногенной нагрузки // Экология. 1991. № 6. С. 73–76.
- Воробейчик Е.Л.* Изменение мощности лесной подстилки в условиях химического загрязнения // Экология. 1995. №4. С. 278–284.
- Воробейчик Е.Л.* Изменение пространственной структуры деструкционного процесса в условиях атмосферного загрязнения лесных экосистем // Изв. РАН. Сер. биологическая. 2002. № 2. С. 368–379.
- Воробейчик Е.Л.* Сезонная динамика пространственного распределения целлюлолитической активности почвенной микрофлоры в условиях атмосферного загрязнения // Экология. 2007. № 6. С. 427–437.
- Воробейчик Е.Л., Пищулин П.Г.* Влияние деревьев на скорость деструкции целлюлозы в почвах в условиях промышленного загрязнения // Почвоведение. 2011. №5. С. 597–610.
- Воробейчик Е.Л., Садьков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
- Воробейчик Е.Л., Трубина М.Р., Хантемирова Е.В., Бергман И.Е.* Многолетняя динамика лесной растительности в период сокращения выбросов медеплавильного завода // Экология. 2014. № 6. С. 448–458.
- Гусев И.И.* Закономерности строения еловых древостоев Европейского Севера. Методические рекомендации по дипломному проектированию по лесной таксации. АЛТИ. 1977. 44 с.
- Дыренков С.А.* Структура и динамика древостоев еловых лесов Европейского Севера // Тр. ЛенНИИЛХ. 1971. Вып. 13. С. 106–120.
- Залесов С.В., Кряжевских Н.А., Крутинин Н.Я.* и др. Деградация и демутиация лесных экосистем в условиях нефтегазодобычи. Вып. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 436 с.
- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Каганов В.В.* Натурная и модельная оценки углерода валежа в лесах костромской области // Лесоведение. 2013. № 4. С. 3–11.
- Ившин А.П.* Влияние атмосферных выбросов Норильского горно-металлургического комбината на состояние елово-лиственничных древостоев: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 1993. 25 с.

- Катаев О.А. Динамика естественного отпада в древостоях ели // Лесоведение. 1990. № 6. С. 33–40.
- Кривец С.А., Бисирова Э.М., Керчев И.А. и др. Трансформация таёжных экосистем в очаге инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) в Западной Сибири // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2015. № 1. С. 41–63.
- Мухачева С.В., Давыдова Ю.А., Воробейчик Е.Л. Роль гетерогенности среды в сохранении разнообразия мелких млекопитающих в условиях сильного промышленного загрязнения // Докл. АН. 2012. Т. 447, № 1. С. 106–109.
- Поляков В.И., Полякова Г.Г. Особенности развития средневозрастных пригородных сосняков Красноярска // Лесная таксация и лесоустройство. 2005. Выпуск 1 (34). С. 44–49.
- Радюкина А. Ю. Влияние валежа на лесные почвы: дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007. 119 с.
- Ставищенко И.В. Состояние лесных сообществ ксилотрофных грибов под воздействием промышленных аэрополлютантов // Экология. 2010. № 5. С. 397–400.
- Ставищенко И.В., Кишняев И.А. Реакция лесных сообществ ксилотрофных грибов на аэротехногенное загрязнение: мультимодельный вывод // Изв. РАН. Сер. биол. 2013. № 4. С. 1–11.
- Тарханов С.Н. Состояние лесных экосистем в условиях атмосферного загрязнения на европейском севере: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Сыктывкар, 2011. 38 с.
- Трейфельд Р.Ф. Запасы и масса крупного древесного детрита (на примере лесов Ленинградской области): дис. ... канд. с.-х. наук. Санкт-Петербург, 2001. 147 с.
- Трефилова О.В., Ведрова Э.Ф., Оскорбин П.А. Запас и структура крупных древесных остатков в сосняках Енисейской равнины // Лесоведение. 2009. № 4. С. 16–23.
- Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 365 с.
- Фимушин Б.С. Закономерности роста сосновых древостоев и методика оценки ущерба, наносимого им промышленными выбросами в условиях пригородной зоны Свердловска: дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск: УГЛТИ. 1979. 169 с.
- Цветков В.Ф., Цветков И.В. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск, 2003. 354 с.
- Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Нильссон С. Оценка запасов древесного детрита в лесах России // Лесная таксация и лесоустройство. 2009. №1(41). С. 133–147.
- Юсупов И.Р. Особенности поселения и роста ели и пихты под пологом пихто-ельника чернично-зеленомошного в подзоне широколиственно-темнохвойных лесов Южного Урала // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 5(2). С. 131–134.

- Harmon M.E., Ferrell W.K., Franklin J.F.* Effects on carbon storage of conversion of old growth forests to young forests // *Science*. 1990. № 247. P. 699–702.
- Karjalainen L., Kuuluvainen T.* Amount and diversity of coarse woody debris within a boreal forest landscape dominated by *Pinus sylvestris* in Vienansalo Wilderness, Eastern Fennoscandia // *Silva Fennica*. 2002. V. 36 (1). P. 147–167.
- Muhlbaier D.J.* Measurement of dry deposition to surfaces in deciduous and pine canopies // *Environ. Pollut.* 1987. V. 44. N. 4. P. 261–277.
- Norden B., Gotmark F., Tonneberg M.* et al. Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland: contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps // *Forest Ecology and Management*. 2004. V. 194. P. 235–248.
- Siitonen J.* Forest management, coarse woody debris and species richness of saproxylic organisms: Finnish boreal forests as an example // *Nordic Symposium on the Ecology of Coarse Woody Debris in Boreal Forests*, 31 May – 3 June 1999, Umea University, Sweden. P. 36–37.
- Siitonen J.* Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: fennoscandian boreal forests as an example // *Ecol. Bull.* 2001. V. 49. P. 11–41.
- Stokland J.N., Siitonen J., Jonsson B.G.* *Biodiversity in Dead Wood*. Cambridge Univ. Press., 2012. 509 p.