

Борников Александр Вячеславович

**Биологическая продуктивность березы повислой
в градиенте загрязнений от Карабашского
медеплавильного комбината**

06.03.02 -

Лесоведение, лесоводство,
лесоустройство и лесная таксация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Екатеринбург – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Усольцев Владимир Андреевич;

Официальные оппоненты: Шиятов Степан Григорьевич, доктор
биологических наук, профессор,
ФГБУ Науки Институт экологии растений и
животных УрО РАН, лаборатория дендрохро-
нологии, ведущий научный сотрудник;
Кряжевских Надежда Аркадьевна, кандидат
сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный ле-
сотехнический университет»,
кафедра лесоводства, доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный
аграрный университет»

Защита состоится 29 марта 2012 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при Уральском государственном лесотехническом университете по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УГЛТУ, УЛК – 1, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Автореферат разослан 22 февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Бачурина Анна Владимировна

ВВЕДЕНИЕ. Общая характеристика работы

Актуальность темы. К середине XX века стало очевидно, что развитие энергетики, промышленности и транспорта привело к появлению нового экологического фактора – промышленного загрязнения, оказывающего разрушительное воздействие на природные комплексы, в частности, на лесные экосистемы. В связи с проблемой стабилизации климата оценка их биологической продуктивности и углерододепонирующей способности с учетом антропогенных воздействий становится все более актуальной (Ведрова и др, 2002; Ярмишко, 2005).

На Урале одним из наиболее интенсивных источников токсичных выбросов в атмосферу является медеплавильное производство, в частности, Карабашский медеплавильный комбинат (КМК) в Челябинской области. Необходимо оценить действительный производственный потенциал насаждений, подверженных загрязнению выбросами КМК.

Исследования автора проводились в 2009-2012 гг. в рамках проектов «Разработка системы пространственного анализа депонирования углерода лесными экосистемами Уральского региона» и «Первичная биологическая продуктивность лесных экосистем в градиенте промышленного загрязнения», гранты РФФИ № 07-07-96010 и 09-05-00508.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является оценка фитомассы и чистой первичной продукции (ЧПП) насаждений березы повислой в градиенте загрязнений от КМК.

В связи с поставленной целью конкретные задачи исследования:

заложить в градиенте загрязнений от КМК пробные площади в количестве, необходимом для выявления закономерностей изменения фитомассы и ЧПП насаждений;

установить закономерности изменения фитомассы, ЧПП и продуктивности ассимиляционного аппарата деревьев березы в градиенте загрязнений;

установить закономерности изменения фитомассы и ЧПП древесного и нижнего яруса березняков в градиенте загрязнений;

составить таблицы для определения фитомассы и ЧПП, а также кваллиметрических показателей фитомассы, деревьев березы повислой в градиенте загрязнений от КМК.

На защиту выносятся следующие положения:

характеристика биологической продуктивности березы повислой, выраженная в абсолютных и относительных количественных показателях, и закономерности ее изменения в градиенте загрязнений от КМК;

таблицы для определения показателей фитомассы и ЧПП деревьев и насаждений березы повислой в градиенте загрязнений от КМК;

закономерности изменения плотности и содержания сухого вещества в фитомассе в градиенте загрязнения и таблицы для их определения.

Научная новизна. Впервые дана характеристика фитомассы, ЧПП и продуктивности листвы березы повислой в градиенте загрязнений от КМК и построены зависимости биологической продуктивности березняков от степени удаления от КМК и индекса токсичности; составлены таблицы для определения количественных и квалитетических показателей фитомассы и ЧПП деревьев березы и дан их анализ в градиенте загрязнений от КМК.

Практическая значимость работы. Результаты исследования полезны при эколого-экономической оценке воздействий на окружающую среду, оказываемых медеплавильным производством на Урале, и используются Институтом экологии растений и животных УрО РАН, Институтом глобального климата и экологии Росгидромета и РАН и Уральским экологическим союзом (имеются соответствующие справки).

Обоснованность выводов и предложений. Обширный экспериментальный материал и применение адекватных методов статистического анализа, использование современных компьютерных программ, системный подход при анализе фактических материалов и интерпретации полученных результатов, реализация поставленных задач на уровне регрессионных моделей определяют обоснованность приведенных в диссертации выводов.

Личное участие автора. Постановка проблемы, сбор исходного материала, его анализ и обработка, формулировка итоговых результатов осуществлены автором или при его непосредственном участии.

Апробация работы. Основные результаты исследований изложены на международных научно-технических конференциях «Актуальные проблемы лесного комплекса» (Брянск, 2010, 2011); «Математическое моделирование в экологии» (Пушино, 2011); «Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири» (Томск, 2011); «Boreal Forests in a Changing World: Challenges and Needs for Actions. 15th IBFRA International Science Conference» (Krasnoyarsk, 2011); «Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны» (Сыктывкар, 2011); «Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы» (С-Петербург, 2011); VIII международной научно-технической конференции «Формирование регионального лесного кластера: социально-экономические и экологические проблемы и перспективы лесного комплекса» (Екатеринбург, 2011); VII всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2011).

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 20 печатных работах, в том числе 3 - в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 123 страницах, состоит из введения, 7 глав и 5 приложений. Список использованной литературы включает 240 наименований, в том числе 50 на иностранных языках. Текст иллюстрирован 35 таблицами и 20 рисунками.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Проблема загрязнения окружающей среды стоит в ряду важнейших экологических проблем, связанных с антропогенным воздействием на биосферу (Венчиков, 1962; Носырев, 1962; Альберт, 1971; Фоменко, Стрекалова, 1973; Vortitz, 1974; Кулагин, 1974; Фимушин, 1976; Гудериан, 1979; Николаевский, 1979; Vache, 1979; Будун, 1980; Кулагин, 1980; Алексеев, Дочинжер, 1981; Маковская и др., 1984; Шяпетене, 1987; Рожков, Козак, 1989; Менщиков и др., 1990; Трубина, 1990; Пастернак, Ворон, 1990; Махнев, Любашевский, 1991; Менщиков, 1992; Харук и др., 1996; Фомин, 1998; Голиков, 2000; Акимова, Хаскин, 2001; Черненкова, 2002; Цветков, Цветков, 2003; Лянгузова, 2005; Кулагин, Шагиева, 2005; Тарханов, 2011).

Оценка и прогнозирование ответной реакции биоты на воздействие загрязнения является важнейшей, но методически недостаточно обеспеченной задачей экологического мониторинга. Поэтому представленные результаты изобилуют множеством подходов и методологий (Антипов, 1975; Гальперин, Фимушин, 1975; Капралов, 1981; Кулагин, Сергейчик, 1982; Коженков, 1983; Аннука, Раук, 1984; Мартынюк, 1985; Ватковский, 1986; Армолайтис, Вайчис, 1986; Шяпетене, Вянцкус, 1986; Скуодене, 1988; Бабушкина и др., 1990; Менщиков, 1991; Калинин и др., 1991; Shavnin et al., 1997). При анализе зависимостей «доза-эффект» в наземных экосистемах установлен нелинейный характер реакции биоты на токсическую нагрузку (Арманд и др., 1991; Салиев, 1988; Воробейчик и др., 1994; Воробейчик, Хантемирова, 1994; Воробейчик, 2004), и имеет место гистерезисный (Ведюшкин, 1989), или триггерный эффект (Алексеев, 1976).

Интегральным показателем, адекватно отражающим реакцию деревьев на загрязнения, является текущий прирост древесины. В годичных кольцах содержится ретроспективная информация о динамике развития древостоя (Lux, 1965; Лиэпа, 1980; Keller, 1980; Neumann, Schieler, 1981; Neumann, Pollanschütz, 1982; Розенберг, Феклистов, 1982; Athari, Kramer, 1983; Мауринь, Раман, 1986; Махнев и др., 1990; Кучеров, Мулдашев, 2003; Горшков и др., 2006; Катюнин, Горшков, 2009). Однако нет единого подхода к сбору и обработке дендрохронологической информации (Ловелиус, 1979; Шиятов, 1986; Барткявичюс, 1987; Nöjd, Kauppi, 1995; Forest..., 2000; Рунова и др., 2005; Ярмишко, Ярмишко, 2004). Кроме того, становится все сложнее вычленить долю естественных изменений радиального прироста деревьев от тех, которые обусловлены интенсивной деятельностью человека (Мешковский, 1984; Ловелиус, Ярмишко, 1990; Ярмишко, 1997; Кучеров, Мулдашев, 1996, 2003; Ярмишко и др., 2009).

В одних случаях обнаружена линейная связь между степенью дефолиации и снижением прироста (Фимушин, 1979; Kenk, 1984; Венк, 1987; Kenk et al., 1988; Soderberg, 1991), а в других – утверждается, что радиальный прирост деревьев не изменяется даже при потере ими 50-60% хвои (Eckstein et al., 1989; Лесные..., 1990). А.С. Алексеев (1993) объяснил, что

при слабой дефолиации имеет место буферная стадия процесса, характеризующаяся слабой зависимостью прироста от степени повреждения.

Поскольку одними дендрометрическими методами невозможно оперативно оценить степень нагрузки на растения, особенно при действии низких концентраций выбросов, изучаются ассимиляционные или репродуктивные органы, которые наиболее чувствительны к атмосферному загрязнению (Кулагин, 1974; Карпенко, 1981; Десслер, 1981; Ulrich, 1983; Николаевский, 1983; Freer-Smith, 1985; Алексеев, 1989; Лянгузова, 1990; Ковалев, 1990; Бабушкина и др., 1990; Ужегова и др., 1990; Габукова и др., 1991; Барахтенова, 1995; Фуксман и др., 1996; Шавнин и др., 1996; Аникеев, 1996; Юсупов, 1996; Тарбаева, 1997; Судачкова, 1998; Власенко, 1999; Терехова и др., 2000; Менщиков, Власенко, 2000; Торлопова, Робакидзе, 2003; Осколков, Воронин, 2003; Феклистов и др., 2005; Ярмишко, 2009; Валетова, 2009; Низаметдинов, 2009; Зарубина, 2011). Поскольку установлено увеличение плотности охвоения побегов при увеличении загрязнений (Ярмишко, 1997; Зарубина, 2011; Тарханов, 2011), но при этом снижается охвоенность крон деревьев (Сидаравичюс, 1987; Ярмишко, 1990; Brassel, Schwyzer, 1992), то эти противоположные тенденции накладываются одна на другую, и в результате достаточно четкие закономерности на уровне деревьев не всегда выявляются (Бергман, 2011). В условиях магnezитового загрязнения на Южном Урале показано, что с возрастанием уровня загрязнения снижается надземная фитомасса в культурах березы (Завьялов, 2009). Однако по вопросу устойчивости березы к атмосферным выбросам существуют противоречивые мнения (Красинский, Князева, 1950; Гроздов, 1952; Илюшин, 1953; Чуваев и др., 1973; Антипов, 1979; Roger, 1981).

Известная с конца XIX века взаимосвязь массы хвои с объемным приростом (Hartig, 1896; Burger, 1929; Busse, 1930; Коссович, 1940; Георгиевский, 1948; Полякова, 1954; Satoo, 1970; Albrektson, 1980; White, 1993) и пайп-модель (Jaccard, 1913; Huber, 1928; Yamaoka, 1952; Shinozaki et al., 1964; West, Wells, 1990) в различных сочетаниях используются при оценке жизнеспособности деревьев (Waring, 1987; Waring et al., 1980; Сидаравичюс, 1985; Kaufmann, Watkins, 1990; Horntvedt, 1993; Усольцев, 1998). В.А. Усольцев (1998) показал, что продуктивность массы хвои в сосняках Урала (зона умеренного загрязнения) на 17-18% ниже, чем в Тургае («чистая» зона).

При исследовании биологической продуктивности лесов большое значение имеют данные о плотности и содержании сухого вещества в фитомассе деревьев, или о ее квалиметрических показателях (Исаева, 1963; Поздняков, 1973, 1985; Полубояринов, 1976; Смоляк и др., 1978; Успенский, 1980; Усольцев, 1988; Мелехов и др., 2003), изменяющихся в градиенте аэрозагрязнений (Усольцев и др., 2010, 2011).

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Леса, подверженные воздействию КМК, находятся в ведении Кыштымского лесничества Челябинской области. Согласно лесорастительному районированию Б.П. Колесникова с соавт. (1973) территория отнесена к южноуральской провинции горно-таежных и смешанных лесов, а более обширная центральная часть - к провинции предгорных березово-сосновых лесов. В диссертации описаны климатические и лесорастительные условия района, гидрография и гидрологические условия, рельеф и почвы. Приведены основные показатели лесного фонда, описано состояние загрязненных насаждений в окрестностях КМК.

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА И ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

В естественных спелых березовых насаждениях, примыкающих к КМК, заложены 34 временные пробные площади согласно ОСТ 56-69-83 “Пробные площади лесоустроительные” (табл. 1).

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев пробных площадей, заложенных в березовых насаждениях в градиенте загрязнений от КМК

L^* , км	Породный состав	Возраст древостоя, лет	Класс бонитета	Число стволов, экз./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га
3,5	10Б	69	II	832	15,1	19,0	14,9	152
3,5	10Б+Ол	69	II	1168	14,0	18,2	17,9	197
3,5	10Б+С	70	I	768	18,5	21,2	20,7	236
3,8	10Б+С	50	IV	1072	15,3	14,2	19,4	193
3,8	10Б+С	69	II	960	14,3	18,4	24,9	266
3,8	10Б	70	II	752	17,3	20,4	17,7	183
3,8	10Б	70	II	736	19,7	21,9	22,5	260
4,8	9Б1С	45	III	1178	14,1	13,7	17,6	158
8,5	10Б+С+Е	40	III	1239	14,9	15	21,8	208
9,1	10Б+С	45	III	1217	15,1	15,1	21,5	214
9,2	6Б4Ос+С	71	I	832	18,7	21,9	22,9	262
9,1	10Б+Е+Ос	63	I	1152	16,0	20,2	23,2	309
9,2	10Б+Ос	69	I	960	18,0	21,4	34,1	369
10,6	9Б1Ос+С	66	I	1536	16,8	21,6	34,0	417
10,6	7Б2Ос1С	78	I	768	21,5	25,3	27,8	382
10,6	8Б2С+Ос	62	I	1802	15,7	20,7	43,2	423
12,3	9Б1Ос	57	I	1408	15,0	19,5	24,8	271

Продолжение таблицы 1

L^* , км	Пород- ный состав	Возраст древос- тоя, лет	Класс бонитета	Число стволов, экз./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га
12,3	10Б+С+Ос	63	I	1264	17,1	21,1	29,2	367
13,1	10Б+С	50	II	740	21,5	19,5	26,6	337
17,5	7Б2С1Ос	50	III	796	21,0	17,8	25,6	306
18,5	10Б+С	69	I	912	22,0	24,9	34,8	457
18,5	10Б	71	I	720	23,2	25,6	30,5	405
18,5	10Б+Ос	72	I	848	23,5	25,8	36,7	483
25,8	10Б+Ос	72	I	800	21,6	26,2	29,3	447
25,7	10Б+Ос	68	I	1168	19,0	23,6	33,1	527
25,8	10Б	74	I	752	22,8	27,3	30,7	482
28,7	9Б1С	71	I	912	20,9	25,5	31,3	495
28,7	9Б1Лц+С	72	I	960	21,5	26,1	34,8	535
28,7	8Б2Ос+С	68	I	832	21,2	23,8	24,0	318
31,0	10Б+Лп	40	III	856	17,9	16,0	22,2	297
31,7	10Б+С	72	I	912	21,1	25,6	31,9	505
31,7	10Б+С	72	I	992	21,3	25,8	35,2	552
31,7	10Б+С	72	I	1136	21,0	25,6	39,4	603

* L – здесь и далее расстояние от источника загрязнений.

Для определения фитомассы деревьев и древостоев взяты 56 модельных деревьев в возрасте от 30 до 86 лет. После рубки ствол делили на 10 секций, на середине каждой секции и на расстоянии 1,3 м от комля выпиливали диски и определяли диаметры ствола в коре и без коры. По этим замерам рассчитывали объем древесины и коры дерева. У стволов взяты 168 дисков на относительных высотах 20, 50 и 80% от общей высоты дерева и определены у каждого масса с точностью до 0,1 г и объем древесины и коры. Определена их плотность и содержание сухого вещества.

После обрубки ветвей всю крону взвешивали с точностью до 50 г и делили на облиственные и не облиственные ветви. Затем облиственные ветви взвешивали с точностью до 50 г, отбирали навеску (около 0,5 кг) для установления соотношения листвы и скелетных частей и взвешивали с точностью до 1 г. Листву в навеске отделяли от скелета и взвешивали. По установленным соотношениям определяли фитомассу листвы и скелета кроны. Общее количество взятых навесок листвы и ветвей – соответственно 56 и 56. По полученным значениям рассчитывали абсолютно сухую массу листвы и ветвей дерева. Древесину и кору дисков, навески листвы и ветвей сушили до постоянной массы при температуре 100-105^oС.

Таким образом, в нашем исследовании принят лесотаксационный подход, основанный на «древоизмерении» методами традиционной (Анучин, 1982) и весовой (Успенский, 1983; Поздняков, 1985) таксации.

Показатели биопродуктивности подроста и подлеска определены с использованием методики Ботанического института РАН (Методы..., 2002) на трех мини-площадках размером 5×5 м в пределах каждой пробной площади (табл. 2).

Таблица 2

Количество модельных растений нижнего яруса, взятых для определения их фитомассы и первичной продукции

	Вид растения	Количество моделей
Подрост	Береза повислая	25
	Сосна обыкновенная	49
	Осина	28
	Итого подрост	102
Подлесок	Ольха серая	11
	Кизильник	12
	Липа мелколистная	7
	Ракитник русский	34
	Рябина обыкновенная	27
	Черемуха обыкновенная	18
	Шиповник иглистый	3
	Итого подлесок	112
Всего		214

Диапазон варьирования высот разбивали на три градации по каждому виду и в пределах каждой градации вели пересчет по диаметру у основания корневой шейки штангенциркулем с точностью до 0,5 мм. Модельные растения каждого вида (всего 214) взяты на пробных площадях в градиенте загрязнения, по одному растению в каждой ступени толщины. Растения высотой менее 0,5 м фракционировали, взвешивали и сушили при 100-105°C до постоянной массы. У корневой шейки по годичным кольцам определяли возраст, делением на который полученной массы скелетной части растения определена ее первичная продукция.

У растений высотой более 0,5 м секатором отделяли облиственные побеги, из их общего количества (средняя часть кроны) брали навеску массой около 500 г, взвешивали; у нее отделяли листву и повторно взвешивали. Затем листву и остальную часть навески сушили и рассчитывали содержание сухого вещества в обеих фракциях. По их значениям определяли сухую массу фракций всего растения. Первичную продукцию скелетной части рассчитывали аналогично выше приведенной методике. Полученные

значения скелетной части и листвы каждого вида соотносили с их суммой площадей сечений и затем по общей сумме площадей сечений, полученной пересчетом на мини-площадках, находили фитомассу скелетной части и листвы и переводили ее на 1 га регрессионным методом (Усольцев, 1985).

Мы признательны сотруднице Уральского государственного лесотехнического университета к.с.-х.н. А.В. Бачуриной, любезно предоставившей нам некоторые таксационные материалы и данные о фитомассе живого напочвенного покрова, а также сотрудникам Института экологии растений и животных УрО РАН Е.Л. Воробейчику и М.Р. Трубиной, любезно предоставившим нам данные о фитомассе и ЧПП живого напочвенного покрова и мхов, а также Е.Л. Воробейчику, С.Ю. Кайгородовой, П.Г. Пищулину, А.В. Щепеткину и И. Биктимирову, предоставившим данные по индексам токсичности в градиенте загрязнений от КМК.

ГЛАВА 4. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ И ЧПП ДЕРЕВЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В ГРАДИЕНТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ: АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И СОСТАВЛЕНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ТАБЛИЦ

Для объяснения варьирования биопродуктивности, обусловленного возрастом и ценотическим положением дерева, мы применили многофакторное аллометрическое уравнение - степенную функцию, линеаризованную путем логарифмирования:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln L; \quad (1)$$

$$\ln Z_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln L, \quad (2)$$

где P_i и Z_i – соответственно фитомасса и ЧПП i -й фракции дерева (листвы, ветвей и ствола) в абсолютно сухом состоянии, кг; D - диаметр ствола на высоте груди, см; L – номинальная переменная (Айвазян и др., 1985), выражающая степень удаления от КМК, км. Высота и возраст дерева оказались тесно коррелированными с диаметром ствола и в (1) и (2) статистически незначимыми. Константы в (1) и (2), в основном, статистически достоверны, R^2 – в пределах от 0,928 до 0,984 и лишь для ЧПП ветвей ниже – 0,876. Таблица 3, составленная на основе (1) и (2), показывает, что фитомасса листвы, ветвей, стволов и всей надземной части дерева на контроле превышает аналогичные показатели импактной зоны соответственно на 28, 33, 9 и 12%, а ЧПП соответственно на 28, 77, 70 и 44%, что свидетельствует о расхождении с аналогичными результатами по сосне в том же градиенте загрязнений, где не было выявлено достоверной закономерности (Жанбаева, 2012). Таким образом, в окрестностях КМК фитомасса и ЧПП березы реагируют на загрязнения в значительно большей степени по сравнению с сосной. Это находится в некотором противоречии с известным положением о меньшей устойчивости хвойных пород к воздействию промышленных выбросов по сравнению с мелколиственными (Рунова, 1999). Возможно, в данном случае речь идет о разных явлениях: на допороговых уровнях за-

грязнений при возрастании токсичных нагрузок сосна снижает свою биопродуктивность замедленными темпами по сравнению с березой, но на предельном уровне в импактной зоне гибнет быстрее березы вследствие интенсивного поражения хвои хлорозами и некрозами (Ярмишко, 2009).

Таблица 3

Изменение фитомассы и ЧПП деревьев березы разного диаметра в связи с удалением от КМК (по уравнениям 1 и 2, фрагмент)

L, км	Фрак- ции	Диаметр ствола на высоте груди, см								
		8	10	12	14	16	18	20	24	28
4	Фитомасса									
	Листва	0,39	0,67	1,04	1,51	2,09	2,78	3,60	5,61	8,16
	Ветви	1,33	2,50	4,16	6,42	9,33	13,0	17,5	29,1	44,9
	Ствол	16,8	29,2	45,8	67,1	93,4	124,9	162,1	254,5	372,6
	Итого	18,5	32,4	51,0	75,0	104,8	140,7	183,2	289,2	425,7
30	Листва	0,49	0,85	1,32	1,93	2,67	3,55	4,59	7,15	10,4
	Ветви	1,77	3,32	5,53	8,52	12,4	17,3	23,2	38,7	59,6
	Ствол	18,4	31,9	50,1	73,3	102,0	136,6	177,2	278,2	407,3
	Итого	20,6	36,1	56,9	83,8	117,1	157,4	205,0	324,0	477,3
4	ЧПП									
	Листва	0,387	0,667	1,04	1,51	2,09	2,78	3,60	5,61	8,16
	Ветви	0,092	0,152	0,230	0,326	0,44	0,58	0,73	1,11	1,57
	Ствол	0,294	0,458	0,658	0,894	1,17	1,47	1,82	2,61	3,54
	Итого	0,773	1,28	1,93	2,73	3,70	4,83	6,15	9,32	13,3
30	Листва	0,494	0,850	1,32	1,93	2,67	3,55	4,59	7,15	10,4
	Ветви	0,163	0,270	0,408	0,578	0,78	1,02	1,30	1,96	2,78
	Ствол	0,500	0,780	1,12	1,52	1,98	2,51	3,09	4,44	6,03
	Итого	1,16	1,90	2,85	4,03	5,43	7,08	8,98	13,6	19,2

Поскольку выводы исследователей о возможности построения «всеобщих» моделей фитомассы, применимых на межрегиональном, региональном и локальном уровнях, противоречивы и неопределенны (Pastor et al., 1984; Freedman, 1984; Lehtonen, Vayred, 2002; Wirth, 2004), для суждения о возможности или невозможности использования модели фитомассы деревьев в качестве «всеобщей» мы провели анализ смещений аллометрических моделей подеревной фитомассы естественных березняков из разных регионов (Усольцев, 1997) с целью установления их региональных расхождений. Общее количество модельных деревьев - 658. Полученный нами массив данных о фитомассе деревьев березы вблизи КМК взят в качестве базового для сравнений. Для оценки региональных смещений в величине фитомассы равновеликих деревьев принята регрессионная модель:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 (\ln D)(\ln H) + a_4 X_1 + a_5 X_2 + a_6 X_3 + a_7 X_4 + a_8 X_5, (3)$$

где P_i - масса i -й фракции дерева, кг; D и H – диаметр и высота ствола, соответственно в см и м; $X_1 \dots X_5$ - фиктивные блоковые переменные, которыми закодирована региональная принадлежность данных о фитомассе деревьев, выполненная по специальной схеме (Дрейпер, Смит, 1973). Поскольку установлено (табл. 4), что фитомасса листвы березы смещена в «чистых» регионах по отношению к Карабашу в интервале от -47 до +55% и ветвей – от -28 до +43%, можно сделать вывод, что использовать унифицированные аллометрические уравнения для определения фитомассы крон деревьев в естественных березняках разных регионов нельзя.

Таблица 4

Относительные показатели фитомассы деревьев березы разных регионов, % к значениям для Карабаша

Регион	Фитомасса фракций, %			
	Листва	Ветви	Стволы	Вся надземная
I	100	100	100	100
II	155	138	107	108
III	132	143	104	107
IV	130	141	107	111
V	141	98	109	105
VI	53	72	97	90

*Обозначения регионов: I – окрестности КМК, исходный массив (56); II - Ара-Карагайский бор (144); III – Североказахстанская колючая лесостепь (97); IV- Североказахстанская южная лесостепь (230); V- Южный Урал (47); VI- Средний Урал (84) (Усольцев, 1997). Цифрами в скобках обозначено количество модельных деревьев.

Смещения в оценках фитомассы стволов P_{st} (от -3 до +9%) и всей надземной P_{abo} (от -10 до +11%) значительно меньше, и унифицированные аллометрические уравнения для них могут быть использованы для оценки их фитомассы на 1 га березняков разных регионов с точностью $\pm 10\%$. Для этой цели рассчитаны унифицированные модели

$$\ln P_{st} = -2,987 + 1,045 \ln D + 1,028 \ln H + 0,195 (\ln D)(\ln H); R^2 = 0,994; SE = 0,15; (4)$$

$$\ln P_{abo} = -2,390 + 0,982 \ln D + 0,775 \ln H + 0,255 (\ln D)(\ln H); R^2 = 0,989; SE = 0,20. (5)$$

ГЛАВА 5. ПРОДУКТИВНОСТЬ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА БЕРЕЗЫ В ГРАДИЕНТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОТ КМК

При анализе изменчивости относительных показателей продуктивности листвы мы исходили из предположения, что они зависят не только от степени загрязнений, но и от возраста дерева (Усольцев, 1985; Жанабаева, 2012). Поэтому по совокупности взятых 56 модельных деревьев рассчитаны двухфакторные регрессии:

$$\ln (Z_g/P_f) = 7,736 - 1,579 \ln A + 0,111 \ln L; R^2 = 0,777; SE = 0,24; (6)$$

$$\ln(Z_g/G_z) = 0,661 - 0,922 \ln A + 0,182 \ln L; R^2 = 0,790; SE = 0,16, \quad (7)$$

где Z_g – годичный прирост площади сечения ствола на высоте 1,3 м (см^2), средний за последние 5 лет; G_z – площадь сечения заболони ствола (см^2); P_f – масса листвы дерева, кг; A – возраст дерева, лет. В нашем анализе продуктивности листвы вместо объемного прироста ствола использован менее трудоемкий показатель, получаемый непосредственным измерением, а именно годичный прирост площади сечения, средний за последние 5 лет (Z_g), и соответственно относительный показатель продуктивности листвы представлен как Z_g/P_f . Второй показатель продуктивности листвы (косвенный) включает годичный прирост площади сечения ствола на высоте груди (Z_g) как характеристику флоэмного транспорта и площадь сечения заболони (G_z) как характеристику ксилемного транспорта, представленную у рассеяно-поровой березы всем сечением ствола без коры; предполагается, что чем больше годичный прирост ствола при одной и той же площади сечения заболони, тем выше продуктивность листвы.

Значимость всех констант в (6) и (7) характеризуется значениями критерия Стьюдента в пределах от 2,1 до 12,8, что выше $t_{\text{табл}} = 2,0$. Результаты табулирования уравнений (6) и (7) показали, что продуктивность листвы по обоим показателям снижается с возрастом дерева в пределах одной зоны загрязнения, а у деревьев одного и того же возраста - по мере приближения к источнику загрязнений (табл. 5).

Таблица 5

Изменение продуктивности листвы деревьев березы повислой разного возраста в связи с удалением от КМК

L, км	Продуктивность листвы Z_g/P_f ($\text{см}^2/\text{кг}$) при возрасте дерева, лет					Продуктивность листвы Z_g/G_z ($\text{см}^2/\text{см}^2$) при возрасте дерева, лет				
	30	40	50	70	90	30	40	50	70	90
4	12,44	7,90	5,55	3,26	2,20	0,108	0,083	0,068	0,050	0,039
6	13,01	8,26	5,81	3,42	2,30	0,117	0,089	0,073	0,053	0,042
8	13,44	8,53	6,00	3,53	2,37	0,123	0,094	0,077	0,056	0,045
12	14,06	8,93	6,28	3,69	2,48	0,132	0,102	0,083	0,061	0,048
20	14,88	9,45	6,64	3,91	2,63	0,145	0,111	0,091	0,067	0,053
30	15,57	9,89	6,95	4,09	2,75	0,156	0,120	0,098	0,072	0,057

При увеличении возраста дерева с 30 до 90 лет показатель Z_g/P_f снижается в 5,6 раза, а Z_g/G_z - в 2,8 раза. При увеличении расстояния от КМК в градиенте загрязнений с 4 до 30 км показатель Z_g/P_f возрастает на 25, а показатель Z_g/G_z – на 44%.

Поскольку в условиях Литвы было установлено (Сидаравичюс, 1985), что по мере приближения к заводу азотных удобрений в Йонаве с расстояния 15 до 8 км продуктивность хвои сосны, выраженная отношением объемного прироста ствола к массе хвои (Z_v/P_f), снизилась на 30-40%, мы проанализировали в градиенте загрязнений от КМК изменение анало-

гичного показателя с тем отличием, что вместо объемного прироста ввели в (8) прирост ствола по фитомассе:

$$\ln(Z_{st}/P_f) = 2,505 - 0,805 \ln A + 0,144 \ln L; R^2 = 0,463; SE = 0,27, \quad (8)$$

где Z_{st} – годичный прирост ствола по массе в абсолютно сухом состоянии, средний за последние 5 лет, кг. Однако по величине R^2 уравнение (8) дает на 70% худший результат по отношению к (6).

ГЛАВА 6. ФИТОМАССА И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ БЕРЕЗОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ГРАДИЕНТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОТ КМК

Структура фитомассы березовых древостоев и анализ ее связи с расстоянием от источника загрязнений. В связи с попытками расчета и использования унифицированных аллометрических уравнений фитомассы деревьев (Wirth, 2004), не всегда (как было показано выше) успешными, мы попытались выяснить, влияет ли использование унифицированных аллометрических уравнений (т.е. рассчитанных для всего градиента загрязнений) на закономерность изменения биопродуктивности насаждений на 1 га по мере удаления от КМК, или необходимо для каждой зоны применять локальные уравнения? По данным фитомассы 56 деревьев нами рассчитаны те и другие из упомянутых аллометрических уравнений с коэффициентами R^2 в пределах от 0,92 до 0,99. Результаты определения фитомассы древесного яруса по материалам инструментальной таксации древостоев 34 пробных площадей показаны на рис. 1. Аппроксимация соответствующих двух зависимостей выполнена с использованием уравнения:

$$P_i = a_0 + a_1 (1/L)^2, \quad (9)$$

где P_i – фитомасса i -ой фракции (листвы, ветвей, стволов и всей надземной), т/га. Полученные регрессии (см. рис.1) объясняют от 36 до 56% общей дисперсии; тем не менее, они статистически достоверны, поскольку значимость константы a_1 в (9) составляет, по Стьюденту, от 4,3 до 4,7, что больше табличной (2,0). Поскольку фитомасса деревьев возрастает по мере удаления от КМК, то вводя в расчет обобщенные уравнения вместо локальных, мы завышаем показатели в импактной зоне и занижаем – на контроле. Соответственно значения фитомассы (т/га), рассчитанные по обобщенным уравнениям, для импактной зоны выше, чем по локальным, а для контроля - наоборот, ниже. Поскольку кривые на рис. 1 вследствие этого пересекаются, при сравнении достоверности различий между ними мы ввели в уравнение (10) не бинарную переменную T , а синергизм $T \times L$:

$$P_i = a_0 + a_1 (1/L)^2 + a_2 (T) + a_3 (T \times L), \quad (10)$$

где T – бинарная переменная, характеризующая тип уравнения, по которому рассчитан фракционный состав фитомассы на 1 га; T здесь и далее принята равной 1 и 0 соответственно для локальных и обобщенных аллометрических уравнений.

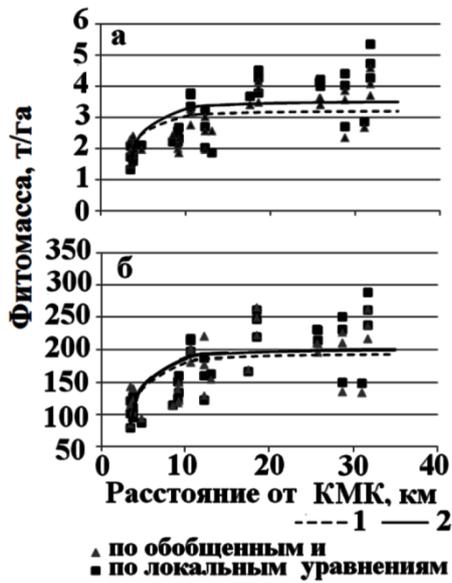


Рис. 1. Связь массы листвы (а) и надземной фитомассы (б) березовых древостоев с расстоянием от КМК по уравнению (9) и ее соотношение с фактическими данными; 1 и 2 – кривые, полученные на основе соответственно обобщенного и локальных аллометрических уравнений.

Анализ характеристик рассчитанного уравнения (10) показал, что они объясняют 52-53% изменчивости фитомассы, и различие между двумя названными линиями регрессии достоверно. Это означает, что значения фитомассы

листвы, ветвей, стволов и всей надземной (т/га), рассчитанные по обобщенным аллометрическим уравнениям, завышены для импактной зоны и занижены для контрольных участков. Следовательно, обобщенные аллометрические уравнения фитомассы нельзя использовать для определения ее фракционного состава на 1 га по всему градиенту загрязнений, и для этой цели приняты уравнения (9), рассчитанные по локальным уравнениям (табл. 6).

Таблица 6

Характеристика уравнений (9), рассчитанных по локальным аллометрическим уравнениям

Фракция фитомассы	Константы и независимые переменные		R ²	SE
	a ₀	a ₁ (1/L) ²		
Листва	3,510	-24,72	0,536	0,70
Ветви	19,03	-143,1	0,421	5,14
Стволы	177,5	-1214,4	0,558	33,1
Надземная	200,1	-1382,5	0,556	37,8

Структура ЧПП березовых древостоев и анализ ее связи с расстоянием от источника загрязнений. Сопоставление результатов применения аллометрических уравнений двух видов для ЧПП деревьев выполнено по аналогии с уравнениями для фитомассы. Зависимость фракционного состава ЧПП по мере удаления от КМК описана уравнением

$$Z_i = a_0 + a_1 (1/L)^2, \quad (11)$$

где Z_i – ЧПП фитомассы i -ой фракции (листвы, ветвей, стволов и всей надземной), т/га. Как и на рис. 1, поля распределения показателей ЧПП березняков в градиенте загрязнений от КМК, рассчитанных по обобщенному и локальным уравнениям, пересекаются. Расчет уравнений с синергизмом $T \times L$, подобным в (10), показал, что они достоверно различаются. Поэтому приняты уравнения (11), рассчитанные по локальным уравнениям (табл. 7).

Таблица 7

Характеристика уравнений (11), рассчитанных по локальным аллометрическим уравнениям

Фракция ЧПП	Константы и независимые переменные		R ²	SE
	a ₀	a ₁ (1/L) ²		
Листва	3,510	-24,72	0,536	0,70
Ветви	0,797	-6,777	0,573	0,18
Стволы	2,426	-19,80	0,611	0,48
Надземная	6,684	-51,32	0,612	1,25

Таким образом, в градиенте загрязнений фитомасса и ЧПП березовых древостоев по мере удаления от КМК резко увеличивается в диапазоне от 4-5 до 10-12 км, а при дальнейшем удалении стабилизируется. Выявленные закономерности изменения биологической продуктивности березовых древостоев в градиенте загрязнений по мере удаления от КМК могут быть использованы при картографировании продуктивности лесов.

Фитомасса и ЧПП нижнего яруса березовых насаждений и анализ их связи с расстоянием от источника загрязнений. Закономерности изменения фитомассы и ЧПП нижнего яруса, куда вошли подрост, подлесок и живой напочвенный покров (ЖНП), определены в том же градиенте загрязнений, что и соответствующие показатели основного яруса (табл. 8). Цифровые данные табл. 8 позволяют утверждать, что по мере удаления от КМК происходит увеличение фитомассы и ЧПП не только древесного, но и компонентов нижнего яруса – подрост, подлеска и ЖНП. При этом происходит перераспределение их участия в фитомассе и ЧПП нижнего яруса: снижение доли подрост и подлеска и возрастание доли ЖНП (табл. 9).

Таблица 8

Фактические значения надземной фитомассы и ЧПП основного и нижнего ярусов березовых насаждений в градиенте загрязнений от КМК

Зона*	Фитомасса, т/га						Годичная продукция, т/га				
	L**, км	Древесный ярус	Нижний ярус				Древесный ярус	Нижний ярус			
			Под-рост	Подле-сок	ЖНП	Итого		Под-рост	Подле-сок	ЖНП	Итого
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Импакт	3,5	79,7	0,02	0,44	0,021	0,481	2,34	0,002	0,049	0,008	0,059
	3,5	102,1	0,08	0,03	0,009	0,119	3,09	0,009	0,003	0	0,012
	3,5	121,7	0,17	0	0,008	0,178	3,76	0,019	0	0,004	0,023
	3,8	128,0	0,016	0,002	0,02	0,038	3,43	0,002	0,0002	0,018	0,020
	3,8	101,9	0,011	0,008	0,017	0,036	2,96	0,0020	0,0009	0,0118	0,0147
	3,8	96,0	0,002	0,007	0,023	0,032	2,83	0,0002	0,0008	0,014	0,015
	3,8	111,5	0,009	0,001	0,007	0,017	3,34	0,0009	0,0001	0,006	0,007
	4,7	87,7	0,016	0,002	0,091	0,109	3,09	0,0020	0,0002	0,091	0,093
Среднее	103,6	0,041	0,061	0,025	0,126	3,11	0,0046	0,0068	0,019	0,030	

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Буфер	6,4	114,8	0,195	0,577	0,113	0,885	4,46	0,018	0,052	0,113	0,183
	8,5	126,1	0,436	0,425	0,514	1,375	4,31	0,039	0,039	0,514	0,592
	9,2	135,1	0,065	0,334	0,322	0,721	4,43	0,005	0,026	0,322	0,353
	9,2	151,8	0,134	0,221	0,255	0,610	5,08	0,01	0,017	0,255	0,282
	9,2	161,3	0,005	0,604	0,168	0,777	5,45	0	0,047	0,168	0,215
	10,6	214,3	0,195	0,577	0,566	1,338	6,82	0,018	0,052	0,538	0,608
	10,6	197,2	0,436	0,425	0,650	1,511	5,99	0,039	0,039	0,536	0,614
	10,6	216,9	0,373	0,380	0,599	1,352	7,07	0,034	0,034	0,569	0,637
	12,3	188,8	0,182	0,068	0,670	0,92	6,22	0,015	0,006	0,662	0,683
	12,3	123,6	0,027	0,363	0,651	1,041	4,29	0,002	0,031	0,642	0,675
	12,3	161,1	0,082	0,198	0,517	0,797	5,45	0,007	0,016	0,509	0,532
13,1	163,2	0,37	0,02	0,678	1,068	4,72	0,031	0,002	0,678	0,711	
Среднее	162,9	0,208	0,349	0,475	1,033	5,36	0,0182	0,0301	0,459	0,507	
Фон	17,5	168,0	0,021	0,440	0,613	1,074	4,91	0,018	0,031	0,613	0,662
	18,5	247,2	0,051	0,119	0,863	1,033	8,27	0,004	0,008	0,848	0,86
	18,5	219,1	0	0,460	1,074	1,534	7,29	0	0,033	1,068	1,101
	18,5	261,3	0,370	0,020	1,074	1,464	8,65	0,027	0,001	1,046	1,074
	25,8	214,4	0	0,148	0,677	0,825	7,61	0	0,011	0,672	0,683
	25,8	232,0	0,089	0,541	0,511	1,141	8,09	0,007	0,041	0,496	0,544
	25,8	229,6	0	0,546	0,749	1,295	8,01	0	0,042	0,748	0,79
	28,7	231,7	0,153	0,140	0,955	1,248	7,68	0,011	0,011	0,955	0,977
	28,7	250,9	0,632	0,366	0,908	1,906	8,36	0,049	0,028	0,908	0,985
	28,7	150,3	0,173	0,101	0,916	1,190	5,13	0,013	0,008	0,913	0,934
	31,0	149,1	0,193	0,542	0,553	1,288	5,45	0,015	0,043	0,553	0,611
	31,7	238,6	0,181	0,548	0,675	1,404	8,44	0,014	0,042	0,672	0,728
	31,7	261,4	0,405	0,249	0,627	1,281	8,99	0,031	0,019	0,609	0,659
31,7	288,6	1,340	0,271	0,616	2,227	10,2	0,103	0,021	0,599	0,723	
Среднее	224,4	0,300	0,321	0,772	1,351	13,4	0,021	0,024	0,764	0,809	
Общее среднее	188,8	0,211	0,301	0,546	1,058	6,59	0,018	0,025	0,534	0,577	

По-видимому, от выбросов КМК в первую очередь поражается ЖНП, а подрост и подросток лучше противостоят их воздействию. График соотношения фитомассы и ЧПП нижнего яруса с расстоянием от КМК показывает резкое увеличение фитомассы и ЧПП в диапазоне расстояний от 4-5 до 10-12 с последующей стабилизацией. Эту закономерность можно описать той же функцией, что и для соответствующих закономерностей по показателям основного яруса (9) и (11). В результате расчета по фактическим данным табл. 8 получены уравнения:

$$P_u = 1,214 - 14,605 (1/L)^2; R^2 = 0,700, SE = 0,28; \quad (12)$$

$$Z_u = 0,695 - 9,497 (1/L)^2; R^2 = 0,742, SE = 0,16, \quad (13)$$

где P_u и Z_u – соответственно фитомасса и ЧПП нижнего яруса, т/га.

Таблица 9

Изменение соотношения долевого участия подроста, подлеска и ЖНП в общей массе и ЧПП нижнего яруса в разных зонах загрязнений, %

Зона*	Фитомасса, %				Годичная продукция, %			
	Под-рост	Подле-сок	ЖНП	Итого	Под-рост	Подле-сок	ЖНП	Итого
1	32	48	20	100	15	22	63	100
2	20	34	46	100	4	6	90	100
3	19	24	57	100	3	3	94	100

*Обозначения: 1, 2 и 3 – зоны загрязнений соответственно импактная, буферная и фоновая.

Уравнения (12) и (13) статистически достоверны, поскольку значение $t_{\text{факт}}$ константы при переменной $(1/L)^2$ составило в первом случае 8,1 и во втором 9,0, т.е. в обоих случаях больше $t_{05} = 2,0$. Графическая интерпретация уравнений (12) и (13) дана на рис. 2.

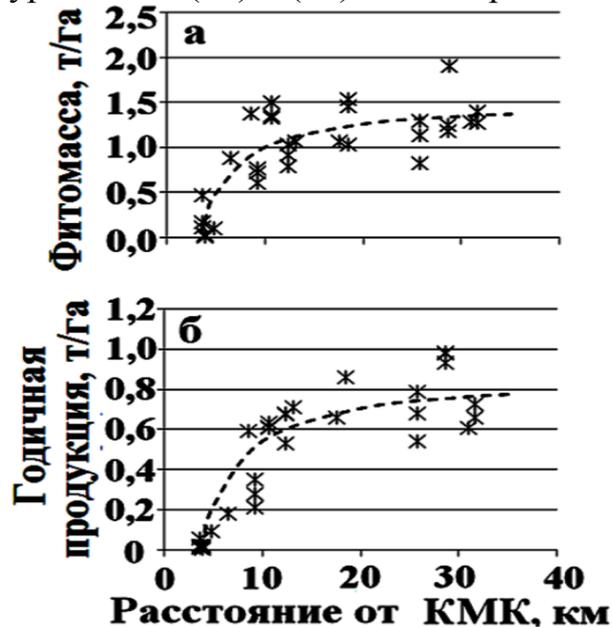


Рис. 2. Связь надземной фитомассы (а) и ЧПП (б) нижнего яруса березовых насаждений с расстоянием от КМК по уравнениям соответственно (12) и (13) и их соотношение с фактическими данными.

Структура фитомассы и ЧПП березовых древостоев в градиенте загрязнений: зависимости «доза – эффект». Локальное воздействие на биоту можно исследовать не только в зависимости

от степени удаления от источника загрязнений (что необходимо для зонирования территории), но и путем описания зависимостей «доза-эффект» (что необходимо для анализа устойчивости экосистем). Наше исследование выполнено с целью определения пределов устойчивости естественных березовых насаждений на основе анализа зависимостей «доза-эффект». В качестве показателей "эффекта" регистрируются показатели биологической продуктивности (фитомассы и ее годичного прироста) насаждений в градиенте загрязнений от КМК, а в качестве «дозы» — индекс токсичности по трем наиболее "техногенным" металлам Cu, Pb и Fe. Аппроксимация зависимостей «доза-эффект» выполнена с помощью логистической кривой как нисходящей составляющей петли гистерезиса (рис. 3) по методике Е.Л. Воробейчика (2003).

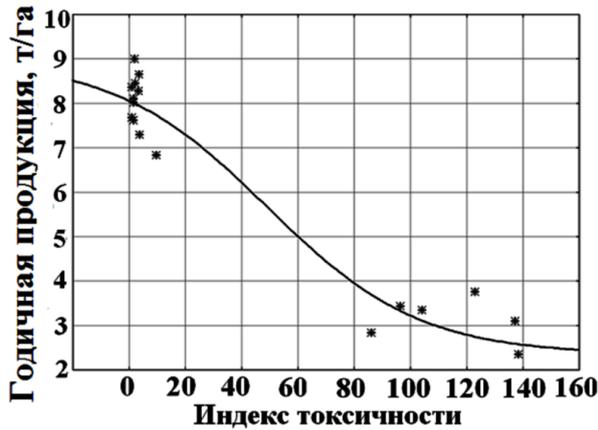


Рис. 3. Зависимость «доза – эффект» для надземной ЧПП березовых древостоев в градиенте загрязнений от КМК

Выделяются два состояния – фоновое (высокие значения продуктивности) и импактное (низкие значения). К сожалению, градиент нагрузки в нашем случае оказался «разорванным»: отсутствуют точки

в диапазоне значений индекса от 20 до 80 усл. единиц. Переход березовых насаждений из одного состояния в другое начинается при значениях индекса токсичности около 20 единиц при его максимальных значениях около 140, т.е. уже при умеренных уровнях загрязнения.

ГЛАВА 7. ПЛОТНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ СУХОГО ВЕЩЕСТВА В ФИТОМАССЕ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В ГРАДИЕНТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОТ КМК

Качественные (квалиметрические) характеристики фитомассы березы повислой в насаждениях, примыкающих к Карабашскому медеплавильному комбинату, проанализированы методом многофакторного регрессионного моделирования. В окончательную структуру уравнений включены лишь переменные, значимые на уровне $t_{05} > 2,0$:

$$\rho \text{ и } S = a_0 + a_1 h + a_2 D + a_3 L, \quad (14)$$

где ρ – плотность древесины или коры в свежем состоянии, кг/м^3 ; S – содержание сухого вещества (ССВ) в фракциях фитомассы, %; h – относительная высота сечения ствола, в долях от общей высоты дерева; D – диаметр ствола на высоте груди, см; L – номинальная переменная, выражающая степень удаления от КМК, км. Уравнения (14) протабулированы по задаваемым значениям независимых переменных и получены соответствующие справочные таблицы.

Для ССВ ветвей и листвы рассчитаны уравнения зависимости от определяющих показателей:

$$S = a_0 + a_1 A + a_2 L, \quad (15)$$

на основе которых получены соответствующие справочные таблицы.

Таким образом, установлены статистически достоверные изменения ССВ и плотности фракций фитомассы по определяющим факторам. В направлении от основания к вершине ствола плотность как его древесины, так и коры, возрастает, а ССВ в том же направлении в древесине снижается, а в коре возрастает. По мере удаления от КМК ССВ в древесине увеличивается, а в коре несколько снижается. Соответственно плотность в свежем состоянии как древесины ствола, так и его коры, снижается. Для ори-

ентировочных расчетов предлагаются средние значения кваллиметрических показателей (табл. 10).

Таблица 10

Средние значения содержания сухого вещества во фракциях надземной фитомассы (%) и плотности стволовой древесины и коры (кг/м^3) березы

Фракции	M	$\pm m$	$\pm \sigma$	Число наблюдений
Содержание сухого вещества				
Ствол	57,1	0,441	5,72	168
Кора	35,4	0,223	2,89	168
Ветви	53,1	0,215	2,79	56
Листва	38,4	0,200	2,60	56
Плотность древесины и ствола				
Древесина ствола	884	6,91	89,6	168
Кора ствола	959	12,35	160,0	168

Примечания: M – среднее значение показателя; m – ошибка; σ – среднеквадратическое отклонение.

ВЫВОДЫ

1. На основе фактических данных, полученных на пробных площадях, заложенных в спелых березняках в градиенте загрязнений от КМК, установлено, что по мере удаления от КМК с 4 до 30 км фитомасса и ЧПП деревьев изменяется: фитомасса листьев, ветвей, стволов и всей надземной части дерева на контроле превышает аналогичные показатели импактной зоны соответственно на 28, 33, 9 и 12%; по показателю ЧПП деревья березы реагируют на загрязнения в большей степени, чем по фитомассе, и превышения составляют соответственно 28, 77, 70 и 44%. На статистически достоверном уровне установлено также, что в окрестностях КМК фитомасса и ЧПП березы реагируют на загрязнения в значительно большей степени по сравнению с сосной в том же градиенте (Жанабаева, 2012).

2. Анализ аллометрических уравнений зависимости фитомассы от диаметра и высоты дерева показал, что фитомасса кроны и стволов равновеликих деревьев березы в степных и лесостепных районах выше по сравнению с районом КМК соответственно на 30-55 и на 4-9%, а на Среднем Урале, напротив, ниже соответственно на 7 и 3%. Поскольку фитомасса листьев березы смещена в «чистых» регионах по отношению к Карабашу в интервале от -47 до +55% и ветвей – от -28 до +43%, столь значительные региональные смещения в величине фитомассы кроны равновеликих деревьев не позволяют использовать унифицированные аллометрические уравнения для определения фитомассы кроны деревьев в березняках разных регионов. Смещения в оценках фитомассы стволов (от -3 до +9%) и всей надземной (от -10 до +11%) значительно меньше. Для оценки их фитомас-

сы на 1 га березняков в пределах исследованной территории с точностью $\pm 10\%$ предложены унифицированные модели.

3. Относительные показатели продуктивности листвы, выраженные отношением прироста площади сечения ствола к массе листвы (прямой показатель) и к площади сечения заболони (косвенный показатель), снижаются с возрастом дерева в пределах одной зоны загрязнения, а у деревьев одного и того же возраста - по мере приближения к источнику загрязнений. В пределах одной зоны загрязнения оба показателя при увеличении возраста дерева с 30 до 90 лет снижаются в 3-5 раз, а при увеличении расстояния от КМК с 4 до 30 км относительные показатели продуктивности хвои возрастают на 25-44%. Включение в регрессионную зависимость относительной продуктивности листвы от возраста дерева и расстояния от КМК объемного прироста ствола вместо его площади заболони снижает коэффициент детерминации на 70%.

4. Применение обобщенных аллометрических уравнений (т.е. рассчитанных по всему градиенту загрязнений) для расчета фитомассы и ЧПП на 1 га березовых древостоев дает статистически значимые смещения по сравнению с результатами расчета на основе локальных уравнений, и следовательно, для определения фитомассы и ЧПП на 1 га в градиенте загрязнений необходимо использовать лишь их локальные уравнения.

5. Фитомасса и ЧПП древесного и нижнего (т/га) ярусов в градиенте загрязнений березовых насаждений по мере удаления от КМК резко увеличивается в диапазоне от 4-5 до 10-12 км, а при дальнейшем удалении стабилизируется. При этом происходит перераспределение участия основных компонентов нижнего яруса – подроста, подлеска и ЖНП в общей массе и ЧПП нижнего яруса: снижение доли подроста и подлеска и возрастание доли ЖНП по мере удаления от КМК. По-видимому, от выбросов сернистых соединений КМК в первую очередь поражается ЖНП, а подрост и подлесок лучше противостоят их воздействию.

6. Зависимость фитомассы и ЧПП березовых древостоев в градиенте загрязнений от индекса токсичности описана логистической кривой как нисходящей ветвью петли гистерезиса. Установлено, что переход экосистем из одного стабильного состояния (в фоновой зоне) в другое (в импактной зоне) происходит в интервале индекса токсичности от 20 до 80.

7. Установлены статистически достоверные изменения содержания сухого вещества и плотности фракций фитомассы деревьев березы по определяющим факторам: положению в вертикальном профиле полога, возрасту и диаметру ствола на высоте груди. Для предварительных расчетов фитомассы и ЧПП березняков, без взятия навесок от кроны и дисков от ствола для перевода фитомассы со свежего на абсолютно сухое состояние, составлены таблицы средних кваллиметрических показателей.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

По списку ВАК

1. Усольцев В.А., Бергман И.Е., Уразова А.Ф., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Воробейчик Е.Л., Колтунова А.И. Изменение продуктивности хвои деревьев в градиенте промышленных загрязнений на Среднем Урале // Известия Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2010. № 1(25). С. 40-43.

2. **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Сопига В.А. Дендрометрический подход к оценке биопродуктивности деревьев под влиянием аэрозагрязнений // Естественные и технические науки. 2011. № 2. С. 123-125.

3. Усольцев В.А., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Воробейчик Е.Л., Колтунова А.И. Продуктивность ассимиляционного аппарата деревьев вблизи медеплавильных заводов Урала // Известия Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2011. № 3(31). С. 67-70.

В прочих журналах и тематических сборниках

4. Усольцев В.А., Воронов М.П., Часовских В.П., Накай Н.В., Бергман И.Е., Уразова А.Ф., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С. Разработка системы пространственного анализа депонирования углерода лесными экосистемами Уральского региона. Аннотационный отчет по гранту РФФИ «Урал» № 07-07-96010 // Региональный конкурс РФФИ «Урал», Свердловская область. Результаты научных работ, полученные за 2008 г. Екатеринбург: Региональный научно-технический центр, 2009. С. 252-255.

5. Усольцев В.А., Воронов М.П., Часовских В.П., Накай Н.В., Семьшев М.М., Бергман И.Е., Уразова А.Ф., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С. Разработка системы пространственного анализа депонирования углерода лесными экосистемами Уральского региона // Аннотационный отчет по гранту РФФИ «Урал» № 07-07-96010. Региональный конкурс РФФИ «Урал», Свердловская область. Результаты научных работ, полученные за 2007-2009 гг. Екатеринбург: Региональный научно-технический центр, 2010. С. 233-237.

6. Усольцев В.А., Накай Н.В., Уразова А.Ф., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Бергман И.Е. Углерододепонирующая способность лесов: базы данных, методы оценки, география // Генетика, экология, и география дендропопуляций и ценоэкосистем. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. С. 80-88.

7. Усольцев В.А., Норицина Ю.В., **Борников А.В.** Первичная продукция березовых насаждений Северной Евразии с элементами географического анализа // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. Вып. 26. С. 58-62.

8. Усольцев В.А., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Бачурина А.В. Изменение квалитетических характеристик фитомассы деревьев сосны и березы вблизи Карабашского медеплавильного комбината // Леса России и хоз-во в них. 2010. № 3 (37). С. 30-36.

9. Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С. Влияние промышленных выбросов на биологическую продуктивность лесных экосистем Урала // Лесная таксация и лесоустройство. Межвуз. науч.-практ. журн. 2011. № 1-2 (45-46). С. 58-69.

10. Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Бачурина А.В., Кох Е.В., Мезенцев А.Т., Крудышев В.В., Лазарев И.С. Реакция биопродуктивности насаждений на загрязнения от Карабашского медеплавильного комбината // Леса России и хозяйство в них. 2011. № 3 (40). С. 33-44.

11. Усольцев В.А., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С. Плотность и содержание сухого вещества в фитомассе насаждений вблизи медеплавильных заводов Урала // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. Вып. 28. С. 143-147.

12. Усольцев В.А., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Бачурина А.В. Биологическая продуктивность сосняков и березняков в градиенте загрязнений от Карабашского медеплавильного комбината // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. Вып. 30. С. 96-99.

13. Усольцев В.А., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Бачурина А.В., Кох Е.В., Мезенцев А.Т., Крудышев В.В., Лазарев И.С. Изменение фитомассы и ее прироста у деревьев лесообразующих пород вблизи Карабашского медеплавильного комбината // Леса России и хоз-во в них. **2011. № 4 (41). С. 30-36.**

В материалах конференций

14. Усольцев В.А., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Уразова А.Ф., Бергман И.Е. Фитомасса лесных экосистем Урала по градиентам промышленных загрязнений // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири. Матер. V международной интернет-конференции. -Томск: Изд-во ТПУ, 2011. С. 185-188.

15. **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Бачурина А.В., Усольцев В.А., Залесов С.В. Биологическая продуктивность березняков и сосняков в градиенте промышленных загрязнений в окрестностях Карабашского медеплавильного комбината // Материалы VII всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России». Ч. 2. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. С. 17-19.

16. Бачурина А.В., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Усольцев В.А. Изменение таксационных показателей насаждений в градиенте промышленных загрязнений в окрестностях Карабашского медеплавильного комбината // Формирование регионального лесного кластера: социально-экономические и экологические проблемы и перспективы лесного комплекса: Материалы VIII международной конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. С. 193-195.

17. Усольцев В.А., Воронов М.П., Кох Е.В., Бергман И.Е., Уразова А.Ф., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Мезенцев А.Т., Крудышев В.В. Совмещение баз данных лесоинвентаризации и первичной продукции лесов на основе статистических моделей и картирование результатов // Математическое моделирование в экологии / Материалы Второй Национальной конференции с международным участием, 23-27 мая 2011 г. Пущино: ИФХиБПП РАН, 2011. С. 275-277.

18. Usoltsev V.A., Vorobeichik E.L., **Bornikov A.V.**, Zhanabayeva A.S. Biological productivity of forests near the Ural copper smelters // Boreal Forests in a Changing World: Challenges and Needs for Actions. Proceedings of 15th IBFRA International Science Conference. August 15-21 2011. - Krasnoyarsk: Sukachev Institute of Forest SB RAS. 2011. P. 193-197.

19. Усольцев В.А., Воронов М.П., Кох Е.В., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Мезенцев А.Т., Крудышев В.В., Лазарев И.С. Неопределенности при оценке углерододепонирующей способности лесов и перспективы их устранения // Материалы Междунар. конф. «Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны». Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2011. С. 111-113.

20. Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., **Борников А.В.**, Жанабаева А.С., Бачурина А.В. Биологическая продуктивность лесных экосистем Урала в градиентах промышленных загрязнений // Материалы Всероссийской научной конф. с международным участием «Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы. Т. 2: Экология растительных сообществ». С-Петербург: БИН РАН, 2011. С. 478-481.

Отзывы на автореферат просим направлять в двух экземплярах с заверенными печатью подписями по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УГЛТУ, ученому секретарю диссертационного совета Бачуриной А.В. Факс: (343) 254-62-25; e-mail: dissovet.usfeu@mail.ru.

Подписано в печать 16.02.2012. Объем 1,0 п.л. Заказ № 561. Тираж 100. 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.
Уральский государственный лесотехнический университет.
Отдел оперативной полиграфии.