

CA-1796

Электронный архив УГЛТУ

A
152

На правах рукописи

О. Толкач

Толкач Ольга Владимировна

**ВОДОРЕГУЛИРУЮЩАЯ И ПОЛЛЮТАНТО-ДЕПОНИРУЮЩАЯ
РОЛЬ ЛЕСОВ
(НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГО УРАЛА)**

06.03.02 - Лесоведение и лесоводство, лесоустройство и лесная
таксация

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельско-
хозяйственных наук

Екатеринбург - 2015

Работа выполнена ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения
Российской академии наук
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный консультант:	доктор сельскохозяйственных наук, профессор Залесов Сергей Вениаминович
Официальные оппоненты:	Кулагин Алексей Юрьевич, доктор биологических наук, профессор, ФГБУН Уфимского института биологии РАН, лаборатория лесоведения, заведующий лабораторией; Парамонов Евгений Григорьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН, лаборатория ландшафтно-водно-экологических исследований и природопользования, главный научный сотрудник; Дружинин Федор Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВПО Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, кафедра лесного хозяйства, профессор.
Ведущая организация:	ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова»

Защита диссертации состоится 29 октября 2015 года в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» (www.usfeu.ru).

Автореферат разослан «_ 07 _» августа 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. с.-х. наук, доцент

А.Г. Магасумова

Научная библиотека
УГЛТУ
г. Екатеринбург

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Крупномасштабные изменения природной среды, имеющие антропогенный характер, в последнее столетие достигли такого уровня, что экологический дисбаланс способен привести к катастрофическим явлениям (Вернадский, 1977, 1988). В этих условиях возрастает роль лесов как стабилизатора экологической обстановки. Особенно выделяются два аспекта, важных для жизнеобеспечения человека — это наличие пресной воды и уменьшение последствий глобального загрязнения среды.

Урал представляет собой водораздельную территорию, для которой, как и для прилегающих регионов крупных речных бассейнов Волги и Оби, лес является мощным гидрологическим регулятором (Менделеев, 1949). Водорегулирующая роль леса проявляется в переводе поверхностного стока во внутрисочный, что способствует уменьшению паводка и улучшению питания рек в меженьный период (Молчанов, 1960; Воронков, 1973; Побединский, 1979; Рахманов, 1984). Наибольший водорегулирующий эффект имеют горные леса. Дискуссионный характер данных и географическая специфичность гидрологической роли лесов делают проблему достаточно актуальной. Остается важным вопрос установления параметров лесных экосистем, определяющих водоохранные свойства.

В настоящее время средообразующее значение леса актуально в связи с воздействием на природу большого количества промышленных агломераций. Основную экологическую роль в регулировании миграционных потоков элементов-поллютантов в лесных экосистемах играют насаждения, а доминирующими загрязнителями на биосферном уровне стали тяжелые металлы (Добровольский, 2004; Ярмишко и др., 2009; Цветков и др., 2012), которые, по мнению ряда ученых (Бессонова, 1999; Федорова и др., 2007; Ведерников и др., 2009), представляют большую опасность в сравнении с другими ингредиентами промышленных выбросов, учитывая их распространенность и токсичность. В этих условиях возрастает очистительная роль лесных биогеоценозов, а именно — аккумуляция поллютантов. Актуальными являются исследования устойчивости пригородных лесов и лесовозобновительных процессов в них, что необходимо для принятия мер по сохранению ими депонирующей способности и предотвращению вторичной эмиссии поллютантов.

Актуальность темы так же подтверждается вниманием мировой общественности к проблемам загрязнения среды и наличию пресной воды - регулярным проведением Всемирного водного форума, объявлением ООН 2003 г. «Международным годом пресной воды», Киотским протоколом 1997 г. по вопросам загрязнения атмосферы, и созданием в системе ООН специальной программы по окружающей среде (ЮНЕП).

Степень разработанности темы исследования. Изучением роли лесов как регуляторов гидрологического режима речных бассейнов в России начали заниматься с конца XIX века и наибольшего масштаба эти исследования достигли в XX веке. Вопросам лесной гидрологии посвящены работы А.И. Войкова (1948), А.А. Молчанова (1960), В.В. Лебедева (1964), С.Ф. Федорова (1977), Р.В. Опригова (1978), А.В. Побединского (1979), В.В. Рахманова (1981), О.И. Крестовского (1985), П.Ф. Идзона (1986), Н.А. Воронкова (1988) и многих других. Однако, несмотря на широкую изученность вопроса, получены неоднозначные результаты, что связано с различиями в климатических, погодных, почвенных условиях и иногда с кратковременностью наблюдений. На Урале известны работы В.И. Терентьева (1968), А.В. Письмерова (1970), Л.В. Гончарова (1970), изучавших почвозащитную и гидрологическую роль лесов. Большие комплексные исследования выполнены под руководством В.Н. Данилика.

Анализ многолетних и обширных материалов исследований позволил автору рассмотреть процессы формирования стока на покрытых лесной растительностью и безлесных водосборах, в том числе с учетом таксационных характеристик насаждений и на фоне флуктуации погодных условий.

Значительное количество работ посвящено исследованиям процессов техногенной деградации лесов. Обзор этих работ подробно изложен в монографиях В.Т. Ярмишко и др. (2009), В.Ф. Цветкова и И.В. Цветкова (2012) и многих других. Нами продолжены исследования в данном направлении и на примере лесов Среднего Урала предпринята попытка разработать практических рекомендаций по усилению водорегулирующей и поллютанто-депонирующей роли лесов.

Диссертация является законченным научным исследованием.

Цели и задачи исследования. Цель исследования - установить и оценить таксационные показатели насаждений, определяющих водоохранно-защитные свойства горных лесов Урала на фоне воздействия абиотических факторов разной интенсивности. Определить аккумуляцию поллютантов в условиях воздействия промышленных агломераций и влияние техногенного загрязнения на устойчивость насаждений.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Исследовать водорегулирующие свойства покрытых лесной растительностью водосборов в зависимости от таксационных параметров насаждений и сравнить их с непокрытыми лесной растительностью. Сопоставить водно-физические и стокорегулирующие характеристики почв насаждений с почвами вырубок разной давности.

2. Дать экономическую оценку изменений водорегулирующих функций лесных биоценозов при антропогенном воздействии.

3. Исследовать особенности депонирования поллютантов лесными почвами в зависимости от основных таксационных показателей насаждений.

4. Охарактеризовать соотношение содержания подвижных и валовых форм основных поллютантов в лесных почвах по градиентам загрязнения.

5. Оценить процессы естественного лесовозобновления в буферной зоне техногенного загрязнения.

6. Обосновать гипотезу формирования годичного радиального прироста.

7. Исследовать отклик деревьев на техногенное загрязнение через динамику годичного радиального прироста.

Научная новизна. Впервые на основе долгосрочных (18 лет) стационарных исследований (на фоне различных погодных условий) проанализированы и развиты положения о влиянии таксационных показателей лесных насаждений на динамику снегового покрова, промерзание почвы, колебания уровня верховодки, формирование весеннего стока на Среднем Урале. Определены количественные показатели ухудшения водно-физических и стокорегулирующих качеств лесных почв и сроки их восстановления при вырубке древостоев. Обоснована экономическая оценка потерь при нарушении водоохранных качеств лесов. Впервые выявлены депонирующие свойства почв лесных насаждений в зависимости от их таксационных характеристик. Новым аспектом является сравнительный анализ динамики накопления в лесных почвах подвижных (обменных) и валовых форм доминирующих тяжелых металлов, и депонирующая емкость почвы. Впервые разработана гипотеза о физиологических процессах, влияющих на латеральный рост древесной растительности бореальных лесов. Изучена динамика годичного радиального прироста деревьев в условиях хронического техногенного загрязнения методом высокочастотных колебаний.

Теоретическая и практическая значимость работы. Обосновано представление об основных факторах, определяющих снегонакопление, запас воды в снеге, интенсивность снеготаяния, депонирование поллютантов в лесной почве. Установленные таксационные параметры насаждений могут лечь в основу системы лесоводственных мероприятий, обеспечивающих улучшение гидрологического режима и ведения хозяйства в лесах Урала. Последние, ввиду ценности насаждений и для предотвращения вторичной эмиссии поллютантов в будущем, так же требуют особых лесохозяйственных подходов. В результате исследований решается перспективная проблема оценки особенностей накопления лесными почвами разных форм (обменные, валовые) тяжелых металлов в зоне техногенного загрязнения. Полученные автором научные результаты расширяют знания о факторах, влияющих на латеральный рост лесообразующих пород и о динамике годичного радиального прироста.

Результаты исследования рекомендуется использовать для прогноза паводковой опасности. Данные по оценке ущерба могут служить экономической мотивацией максимального сохранения водоохраных функций леса. Материалы исследований использованы для обоснования и разработки практических рекомендаций производству: «Повышение водоохраных и почвозащитных функций лесов Среднего Урала при ведении хозяйства в них» (Уральская ЛОС, 1984 г. № гос. регистрации 01820073517), «Рекомендации по ведению лесного хозяйства и эксплуатации лесов Челябинской области с учетом оптимального распределения их по группам и категориям защитности с целью увеличения водных ресурсов» (Уральская ЛОС, 1986 г., № гос. регистрации 81000446). Разработанные в процессе исследования рекомендации используются при планировании в области воспроизводства лесов для обеспечения устойчивого развития территорий, составлении проектов освоения лесов, лесных регламентов и проектов паркового лесоустройства (справка о внедрении ФГУП «Рослесинфорг»). Результаты исследования включены в лекционные курсы по лесоведению, лесоводству, почвоведению, физиологии растений и используются при подготовке бакалавров и магистров. Заложенные в ходе исследования постоянные пробные площади вошли в архив опытных объектов ФГБУН Ботанический сад УрО РАН и применяются для продолжения исследований, мониторинговых наблюдений, обучения студентов.

Методология и методы исследования. Диссертационная работа базируется на системном подходе. Исследования выполняли по общепринятым в таксации, лесоводстве и почвоведении методикам. Анализ динамики годичного радиального прироста выполнен методом высокочастотных колебаний годичного радиального прироста (цифровой фильтрации), предложенный В.Г. Суховольским., Н.В. Артемьевой (1992).

Положения, выносимые на защиту.

1. Влияние таксационных показателей насаждений на гидрологический режим территории.
2. Длительность трансформации водно-физических и стокорегулирующих свойств лесных почв после заготовки древесины.
3. Экономическая оценка водоохраных свойств леса.
4. Лесоводственно-таксационные показатели насаждений, определяющие уровень депонирования поллютантов лесными почвами. Поллютанто-депонирующий потенциал почв.
5. Формирование на загрязненных почвах устойчивого к тяжелым металлам лесовозобновления.
6. Рекомендации по ведению лесного хозяйства в пригородных лесах.

Степень достоверности и апробация результатов. Обоснованность и достоверность результатов исследования подтверждаются длительным периодом наблюдений и большим объемом собранного материала, его

анализом, выполненным с помощью апробированных методик и современных методов статистической обработки.

Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались на 3 зарубежных, 6 международных, 10 всероссийских и 8 региональных научных конференциях: «Исследование лесов Урала» (Екатеринбург, 1997); «Леса Башкортостана современное состояние и перспективы» (Уфа, 1997); «Проблемы устойчивого функционирования лесных экосистем» (Ульяновск, 2001); «Химико-лесной комплекс – проблемы и решения» (Красноярск 2001); Dynamics of natural and man-conditioned forest ecosystems. Proceedings from the French-Russian scientific seminar (Yekaterinburg, 2001); «Boreal forests and environment: local. Regional and global scales. XI International Conference IBFRA Workshop GOF» (Krasnoyarsk, Russia, 2002); «Proceedings of the VIII intercol International Congress of Ecology» (Seoul, Korea, 2002); «Экологическая безопасность Урала» (Екатеринбург, 2002); «Актуальные проблемы адаптации к природным и экосоциальным условиям» (Ульяновск, 2002); «Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии» (Нижний Тагил, 2002); «Структурно-функциональная организация и динамика лесов» (Красноярск, 2004); «Кадровое и научное сопровождение устойчивого управления лесами: состояние и перспективы» (Йошкар-Ола, 2005); «Проблемы биологической науки и образования в педагогических вузах» (Новосибирск, 2005); «Экология биосистем: Проблемы изучения, индикации и прогнозирования» (Астрахань, 2007, 2009); «Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития» (Ишим, 2008, 2009, 2010); «Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса» (Красноярск, 2009); «Видовые популяции и сообщества в антропогенно трансформированных ландшафтах : состояние и методы его диагностики» (Белгород, 2010); «VI European Congress of Mammalogy» (Pari, 2011); «РусДендро — 2011» (Екатеринбург, 2011); «РусДендро — 2014» (Кыргыстан, 2014); «Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика» (Красноярск, 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 88 работ, в том числе 15 статей в журналах, рекомендованных ВАК. В автореферате приведены основные из них.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, рекомендаций, списка цитированной литературы, 3 приложений. Общий объем диссертации составил 283 страницы машинописного текста, включая 37 таблиц и 25 рисунков. Список литературы содержит 385 работ, в том числе 42 на иностранных языках.

Благодарности. Автор приносит глубокую благодарность своему учителю д-ру с-х. наук В.Н. Данилику, сотрудникам Уральской лесной опытной станции ВНИИЛМ за совместную работу. Глубокую искреннюю благодарность научному консультанту д-ру с-х. наук С.В. Залесову за научные консультации и поддержку, а также за ценные советы д-ру биол.

наук С.Н. Санникову, за предоставленные материалы и обсуждение работы д-ру ф.-м. наук А.Н. Вараксину.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Урал представляет собой регион с мощно развитой тяжелой промышленностью, которая оказывает сильнейший пресс на природу и требует для своего функционирования большого количества воды. Для сохранения благоприятного водного баланса территории незаменима роль лесов. Уральские леса являются регулятором режима речных бассейнов Волги и Оби, выполняя водоохранные, водорегулирующие и почвозащитные функции, которые ни в коем случае не должны нарушаться и сокращаться (Менделеев, 1949). О значении леса для благоприятного баланса территории в мировом масштабе существуют сводки законодательных документов, начиная с 13 века (Китридж, 1951), и значительные материалы исследований гидрологии суши. В России изучение вопросов водоохранный защитной роли лесов начинается с конца 19 века и продолжается до настоящего времени (Молчанов, 1960; Воронков, 1973; Протопопов, 1975; Побединский, 1979; Рахманов, 1984; Онучин, 1985). Результаты работ часто бывали дискуссионными, так как роль лесов не одинаково проявляется в разных физико-географических районах.

Продолжением отдельных работ по изучению почвозащитной и гидрологической роли лесов в разных районах Урала (Мионов, 1963; Терентьев, 1968; Гончаров, 1970; Письмеров, 1970) явились крупные комплексные исследования, проводившиеся коллективом научных сотрудников Уральской ЛОС ВНИИЛМа под руководством д-ра с-х. наук В.Н. Данилика. Они входили в программу работ ВНИИЛМа, посвященную влиянию лесохозяйственных мероприятий на гидрологию леса (руководитель д-ра с-х. наук А.В. Побединский). Поставленная задача на Урале выполнялась комплексом стационарных и экспедиционных исследований, в которых автор принимал непосредственное участие.

Для получения полного представления о водоохранный защитной роли лесов на Урале работа проводилась в нескольких направлениях. Первоочередными задачами исследования были установление и оценка факторов, определяющих водоохранный защитные свойства горных лесов Урала; определение влияния заготовки древесины на водно-физические и стоко-регулирующие свойства почв малых водосборов. Известно, что на весенний сток влияют процессы снегонакопления, уровень промерзания почвы, скорость снеготаяния. Летний сток зависит от интенсивности выпадения и особенностей перехвата лесным пологом атмосферных осадков, водно-физических свойств почвы и лесной подстилки. Рубка древостоев приводит к изменению экологической обстановки. Наибольшую ее трансформацию вызывают сплошные рубки. Более перспективными в водоохранный

защитном отношении являются выборочные рубки. В каждом из физико-географических районов гидрологическая роль леса зависит от сложившегося комплекса условий, в том числе от таксационных показателей лесных насаждений и флуктуации погодных условий. В связи с этим возникают противоречивые выводы различных исследователей. Последнее относится к видовому составу и возрасту древостоев, влияющих на задержание, накопление снега и интенсивность снеготаяния. Исследователи (Орфанитский, Орфанитская, 1971; Коваль, 1976; Клинецов, 1980) приводят различные данные об изменении водно-физических свойств почвы в связи с рубками.

Города стали основной средой жизни людей. Процесс ее загрязнения приобретает глобальный характер. Пригородные леса следует рассматривать с двух позиций. С одной стороны - широко известно воздействие техногенных эмиссий как фактора угнетающего и разрушающего лесные насаждения. С другой - лесные экосистемы оздоравливают территорию. Одно из свойств лесного насаждения - способность к консервации поллютантов, позволяет частично вывести их из миграционного потока и депонировать в своих компонентах. Для разных географических условий распределение миграционного потока поллютантов весьма специфично.

Кроме механической фильтрации, как в древесном ярусе, так и в остальных компонентах фитоценоза в зонах загрязнения происходит накопление в растениях поллютантов и уменьшение их миграционного потока. Однако в конечном итоге поллютанты поступают в лесную подстилку и почву, и в наибольшей степени там накапливаются.

Доминирующими загрязнителями являются тяжелые металлы (Цветков, 1991), которые представляют большую опасность в сравнении с другими ингредиентами промышленных выбросов (Бессонова, 1999; Федорова, и др., 2007). Лесная почва выступает как биофильтр для очистки загрязненного поверхностного стока, в том числе и поступающего транзитом с непокрытых лесной растительностью площадей за счет перевода его во внутрисочвенный. С увеличением длительности техногенной нагрузки снижается депонирующая способность лесной экосистемы, а нарушение ее угрожает вторичным загрязнением среды (Beneke, 1989).

Лесопарки, пригородные леса приобретают важнейшую роль в выполнении санитарно-оздоровительных функций в городских экосистемах. Для сохранения насаждениями депонирующей способности и очищения среды необходимо учитывать возобновительные процессы в лесных экосистемах и состояние деревьев, произрастающих в них.

Таким образом, сложившаяся природно-экономическая обстановка на Урале требует стабилизационного воздействия на экологическую обстановку. Это возможно осуществить при помощи лесных насаждений, изучив специфику их водоохранный защитных и поллютанто-

депонированных свойств и усилив их с помощью лесохозяйственных мероприятий.

Глава 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в горной части Среднего Урала, ограниченной $59^{\circ}15' - 56^{\circ}15'$ с.ш. По лесорастительному районированию (Колесников и др. 1973) район расположен в среднетаежном и южнотасжном лесорастительных округах Среднеуральской низкогорной провинции Уральской горно-лесной области в зоне репродуктивно-защитного направления ведения лесного хозяйства. Он характеризуется низкогорным и среднегорным рельефом со сложным строением и разнообразием геологических пород. Климат района исследований умеренно-континентальный. Преобладающие типы почв: подзолистые и дерново-подзолистые, горные дерново-подзолистые, горно-лесные неоподзоленные ненасыщенные бурые. Леса играют большую водорегулирующую роль, так как Урал является крупным водосбором рек Камы, Оби, Тобола и Урала. Основная часть годового стока рек Среднего Урала приходится на весенний период. Леса, замедляя таяние снега, способствуют равномерному питанию рек. Существенное влияние на внутригодовую зарегулированность речного стока оказывает лесистость водосборов, уничтожение лесов в верховьях рек ухудшает их гидрологический режим. На Среднем Урале доминируют хвойные насаждения, доля которых постепенно снижается. В возрастной структуре насаждений отмечается преобладание средневозрастных древостоев, что указывает на неравномерное использование сырьевых ресурсов. Комплекс природно-климатических условий соответствует благоприятному произрастанию главных лесообразующих пород, но в отдельные годы отмечены резкие отклонения погодных условий от средних многолетних показателей, ухудшающие условия для прорастания семян и развития всходов.

Глава 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись сосновые и еловые насаждения широкого типологического спектра (травяные, разнотравные, липняковые, нагорные, ягодниковые, разнотравно-зеленомошниковые, кисличные, мшистые типы леса), разного возраста и полноты, с соответствующими этим типам леса почвами в горных и предгорных лесах Среднего Урала, а также смежные с ними вырубки. Наблюдение за формированием весеннего стока на покрытых лесной растительностью и безлесных водосборах проводили и в верхних приводораздельных частях логов, оборудованных водосливами Томпсона, и на постоянных пробных площадях (ППП). Почвы на водосборах дерново-подзолистые, слабооподзоленные, по механическому составу суглинистые, подстилаемые плотными глинами на элюво-

делювии конгломератов. Данные проанализированы на фоне различных зимне-весенних погодных условий за восемнадцать лет.

Формирование летнего стока на лесных водосборах и изменение водно-физических, стокорегулирующих и химических свойств лесных почв исследовали на смежных или наиболее близко расположенных участках с различными вариантами и разной давностью проведения лесохозяйственных мероприятий, и в контрольных к ним лесных насаждениях.

В лесах зеленых зон городов Екатеринбург и Первоуральск были заложены 10 ППП, на которых проводили мониторинг за состоянием некоторых компонентов лесных экосистем в связи с техногенным загрязнением. ППП в районе г. Первоуральска были заложены в буферной зоне загрязнения, в одном типе леса – ельник-сосняк ягодниковый. Почвы ППП мелкие дерново-слабоподзолистые, слабощепнистые, горно-лесные суглинистые на элювии горных пород.

Пробные площади закладывали в соответствии с теоретическими положениями лесной таксации, согласно ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустроительные. Методы закладки» (Сукачев и др., 1961; Колесников и др., 1973). Подрост учитывали по породам и группам высот. (Инструкция, 1984). Исследования химических свойств почв после лесохозяйственных мероприятий проведены трилонометрическим методом и методом Соколова. При мониторинге загрязнения на основании градиентного подхода анализировали кислотность почвы (Ягодин, 2004). Подвижные и валовые формы приоритетных поллютантов определяли в лаборатории Федерального государственного учреждения Государственный центр агрохимической службы «Свердловский» (протоколы № 9 от 23.01 и № 43 от 02.03. 2007 г.)

Для оценки депонирования поллютантов пригородными лесными насаждениями (г. Первоуральск) были использованы данные геохимического картирования исследуемой территории и атомно-абсорбционного спектрального анализа загрязнения гумусового горизонта почв на глубину 5-10 см по 20 элементам: никель, кобальт, хром, марганец, ванадий, титан, фосфор, медь, цинк, свинец, серебро, мышьяк, сурьма, кадмий, висмут, молибден, барий, стронций, олово, итрий (Институт Промышленной экологии УрО РАН). Привязка точек взятия почвенных образцов к категориям лесных земель и таксационным характеристикам насаждений выполнена с использованием материалов лесоустройства Свердловской аэрофотолесоустроительной экспедиции и электронных карт (серийный номер MINWRS0950984733 MapInfo Professional 9.5).

При изучении водно-физических характеристик лесных почв на 56 временных пробных площадях общепринятыми методами проводили определение влажности, плотности, скважности, водопроницаемости почв под пологом насаждений и на вырубках (пасеки, пасечные и магистральные волокни). Стокорегулирующие свойства определяли методом иску-

ственного дождевания на микроплощадках А.А.Молчанова (1973). На основе полученных данных вычисляли коэффициенты стока. В качестве оценки стокорегулирующих свойств почвы использовали коэффициент защитности, равный отношению количества искусственных осадков при дождевании с учетом их интенсивности, после которого начинается сток, к максимально возможному количеству осадков при естественных дождях в данном районе (Мельчанов, Данилик, 1973).

При изучении весеннего стока в лесных насаждениях в сравнении с вырубками и факторов его формирования вели наблюдения (44 ППП) за накоплением и таянием снега, интенсивностью водоотдачи, глубиной промерзания почв, скоростью внутрипочвенного весеннего стока, динамикой верховодки и показателями, характеризующими весенний сток, используя общепринятые методики.

Динамику годичного радиального прироста анализировали на фоне хронического техногенного загрязнения с использованием метода анализа высокочастотных колебаний годичного радиального прироста В.Г. Суховольского, Н.В. Артемьевой (1992). Суть метода заключается в том, что временной ряд абсолютных величин радиального прироста можно разложить при помощи фильтра Ганна на два временных ряда, состоящих из величины низкочастотных и высокочастотных колебаний (рис.1).

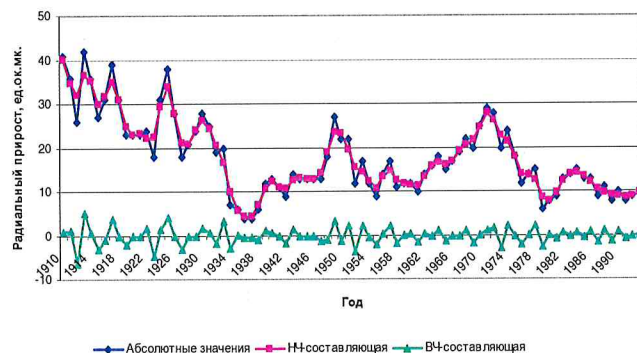


Рисунок 1. Разложение временного ряда радиального прироста на его составляющие

Влияние запасных высокомолекулярных углеводов на формирование радиального прироста изучали с марта по август на образцах древесины березы при микроскопировании после обработки спилов раствором Люголя.

Полученные данные обработаны методами вариационной статистики. При анализах использовался пакет программ Microsoft Excel 2003 и Statistica 7.

Глава 4. ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ЛЕСА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ВЕСЕННЕГО СТОКА С МАЛЫХ ВОДОСБОРОВ

На базе обширных стационарных и экспедиционных исследований лесов Среднего Урала выполнен анализ формирования весеннего стока и его характеристик на лесных и безлесных водосборах. В основу работы легли материалы Уральской ЛОС за 18-летний период с 1969 по 1986 гг. Данные продолжают оставаться актуальными, так как отражают закономерности естественных процессов современного климатического периода. Длительный ряд наблюдений позволяет рассмотреть влияние леса на гидрологический режим при различных вариантах метеорологических условий.

Талые снеговые воды составляют значительную часть руслового стока, за счет высокой доли твердых осадков — порядка 40% от общего их количества. Мощность снегового покрова и запас воды в снеге под пологом древостоя и на вырубке различаются на достоверно значимом уровне ($p < 0.05$) (таблица 1). В процентном отношении в лиственных (березовые, осиновые) и хвойных (еловые, сосновые) насаждениях накапливается снега на 11–17% меньше, чем на вырубках и на 41% больше, чем в поле. Запас воды в снеге на вырубках на 16–20% больше, чем в лиственных (березовые, осиновые) и хвойных (еловые, сосновые) насаждениях. Корреляция между высотой снега и запасом воды в нем не установлена.

В выражении главных компонент дисперсия высоты снега в насаждениях в первую очередь определяется полнотой, возрастом древостоя и средними зимними температурами сезона, а запас воды в снеге обусловлен

Таблица 1 — Среднестатистические показатели запасов снега и воды в нем

Категория площади	Высота снега, см	δ^* , см	Запас воды в снеге, мм	δ^* , мм
Вырубка	$92 \pm 3,3^{**} a^{***}$	25,9	$235,2 \pm 7,56 a$	58
Насаждение	$79 \pm 2,4 b$	24,7	$197,3 \pm 5,51 b$	60
Поле	$47 \pm 0,5 c$	15,7	Нет данных	Нет данных

Примечание: * — стандартное отклонение

** — здесь и далее в таблицах ошибка среднего арифметического

*** — буквенные индексы, достоверные различия ($P < 0,05$) показаны разными буквами

метеорологическими факторами и экспозицией участка, затем, так же, как и высота снега, возрастом и полнотой древостоя. В древостоях одной полноты ведущим фактором в формировании запасов воды в снеге является участие хвойных пород в составе (рис. 2).

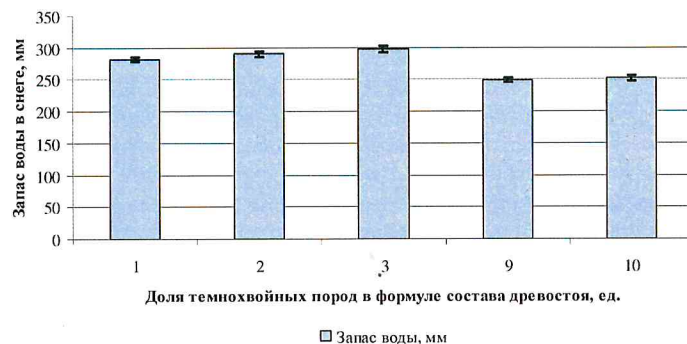


Рисунок 2. Запас воды в снеге под пологом древостоев разного состава (полнота 0,7—0,8)

При измерении запаса воды в снеге в насаждениях одного возраста и класса бонитета установлено, что при увеличении доли темнохвойных пород в составе древостоев запас воды, как правило, уменьшается. Средний запас воды в снеге на вырубках равен 229 мм ($\pm 7,8$ мм), различия в запасах воды на участках северной и южной экспозиции — достигают 10%, однако они не достоверны ($p > 0,05$). Средний запас воды в снеге под пологом насаждений полнотой от 0,4 до 1,0 составил 201 мм ($\pm 5,7$ мм).

В насаждениях наибольший запас воды в снеге зафиксирован при относительной полноте древостоев 0,5—0,6. Регулируя полноту древостоя можно воздействовать на формирование запасов воды на водосборах в твердых осадках. Ориентировочные показатели запаса воды в снеге под пологом древостоев и на вырубках в соотношении с данными о сумме зимних осадков сезона можно получить, используя сведения, представленные на рисунке 3.

Период снеготаяния, по усредненным данным, на вырубках меньше, чем под пологом древостоев. Он составляет 28 и 35 дней соответственно, с диапазоном колебаний на вырубках от 13 до 46 дней, в насаждениях от 20 до 51 дня. В годы с затяжной холодной весной и массивным наступлением тепла разница в продолжительности снеготаяния в насаждениях и на вырубках не наблюдалась или не превышала 1-2 дня.

Интенсивность водоотдачи на вырубках в среднем на 33% больше, чем под пологом древостоя (8,6 и 5,8 мм/сут). Установлено, что на вырубках она в первую очередь определяется средней температурой воздуха ап-

реля, экспозицией вырубки, запасом воды в снеге (таблица 2); в насаждениях — запасом воды в снеге, долей хвойных пород в составе и возрастом древостоя. Последнее свидетельствует, что на интенсивность водоотдачи можно влиять лесохозяйственными мероприятиями.



Рисунок 3. Запас воды в снеге в насаждениях и на вырубках в зависимости от суммы зимних осадков, определяемых в поле, мм

Таблица 2 — Доля признака, определяющего дисперсию интенсивности водоотдачи на вырубках, в выражении главных компонент

Признак	Фактор 1 (35%)	Фактор 2 (24%)	Фактор 3 (20%)
Запас воды в снеге	0,37	0,04	0,07
Экспозиция	0,00	0,22	0,66
Средняя температура воздуха в апреле	0,36	0,10	0,00
Средняя температура воздуха в мае	0,14	0,22	0,25
Сумма весенних осадков	0,12	0,42	0,02

На основании полевых наблюдений рассчитана функциональная зависимость между интенсивностью водоотдачи и факторными признаками, которая выражается множественной регрессией с достоверными коэффициентами для вырубок:

$$I_v = 0,04 \cdot d_w - 0,81 \cdot E + 0,73 \cdot T - 3,98, \quad (1)$$

где I_v — интенсивность водоотдачи на вырубках, мм/сут; d_w — запас воды в снеге на вырубках, мм; E — экспозиция склона (1 — северная, 2 — южная, 3 — западная, 4 — восточная); T — средняя температура воздуха за апрель,

°С. Коэффициент детерминации уравнения $R^2 = 0,48$. Ограничения уравнения: $3 \leq I_v \leq 17$ мм/сут.

Промерзшая почва в период снеготаяния способствует увеличению поверхностного стока. В среднем за многолетний период наблюдений установлено, что на вырубках глубина промерзания почвы на 30% меньше, чем под пологом древостоев и составляет соответственно $9 \pm 1,8$ и $13 \pm 2,1$ см. Различия статистически недостоверны ($p < 0,05$), то есть помимо древостоя имеется ряд факторов, определяющих глубину промерзания почвы. За 18-летний период наблюдений получено регрессионное уравнение глубины промерзания почвы (формула 2) для участков под пологом древостоев и на вырубках. Оно описывает функциональную зависимость с достаточно высокими коэффициентами множественной корреляции и детерминации: $R = 0,80$; $R^2 = 0,64$.

$$P = 0,13 \cdot H + 2,10 \cdot C + 1,9 \cdot E - 0,48 \cdot D + 3,11 \cdot T_z - 0,28 \cdot O + 16,74, \quad (2)$$

где: P – глубина промерзания почвы, см; H – высота снега, см; C – доля темнохвойных пород в формуле состава древостоя, или отсутствие полога; E – экспозиция склона (1 – северная, 2 – южная, 3 – западная, 4 – восточная); D – количество дней с оттепелью за зимний период; T_z – средняя температура за зиму, °С; O – сумма осадков за зимний период, мм. Ограничения уравнения: $0 \leq P \leq 48$ см.

Малые водосборы являются начальным звеном формирования гидрологической ситуации на территории. Стокорегулирующая роль покрытых лесной растительностью водосборов подтверждается такими параметрами весеннего поверхностного стока как коэффициент, модуль и слой стока (таблица 3).

Таблица 3 — Основные параметры весеннего стока с водосборов покрытых лесной растительностью и вырубок (усредненные данные за 18 лет наблюдений)

Показатель	Насаждение (5,4 га)	Вырубка (4,3 га)
Коэффициент стока	$0,31 \pm 0,035$ а	$0,57 \pm 0,040$ в
Максимальный суточный модуль стока, л/с/га	$0,91 \pm 0,136$ а	$3,10 \pm 0,314$ в
Средний модуль стока за весь период стока, л/с/га	$0,19 \pm 0,029$ а	$0,49 \pm 0,058$ в
Слой стока за весь период стока, мм	$74,8 \pm 8,91$ а	$203,0 \pm 22,68$ в

Примечание: достоверные различия ($P < 0,05$) показаны разными буквами

Поверхностный сток на вырубках составляет более половины запаса воды на водосборе, но в отдельные годы он может увеличиваться до 90%.

В насаждениях величина поверхностного талого стока чуть выше 30% от запаса воды на водосборе с максимумом до 60%. Вырубка древостоя в условиях низкогогорного рельефа дестабилизирует гидрологический режим территории. Увеличение поверхностного стока в весенний период на вырубках сохраняется и в течение 10–18 лет после рубки. Однако в отдельных случаях параметры стока в насаждениях приближаются или даже превышают таковые на вырубках. Установлено что угроза повышенного паводка возникает после холодной и многоснежной зимы, при контрастных декадных температурах марта (превышение или уменьшение показателей относительно среднееголетних составляет 4–5°С) и при очень теплой последней декаде апреля или первой декаде мая (превышение показателей относительно среднееголетних составляет 5–6°С). Многолетние наблюдения позволяют прогнозировать объем поверхностного стока с малых водосборов. Для этого необходимо использовать метеоданные о сумме зимних осадков и базу данных о коэффициентах стока.

$$Z = 10 \cdot (V_1 \cdot K_1 \cdot S_1 + V_b \cdot K_b \cdot S_b), \quad (3)$$

где Z — объем весеннего стока с водосборов, т/га; V_1 , V_b — запас воды в снеге покрытых лесной растительностью и безлесных водосборов, мм; K_1 , K_b — коэффициенты стока покрытых и не покрытых лесной растительностью водосборов; S_1 , S_b — площадь покрытых (преобладание хвойных) и не покрытых лесной растительностью водосборов, га.

Объем весеннего поверхностного стока и момент его появления тесно связаны с уровнем верховодки. Наиболее близко к поверхности почвы верховодка поднимается на вырубках и там раньше и в большем объеме образуется поверхностный сток. Средний уровень верховодки на покрытом лесной растительностью водосборе располагается в 1,5 раза глубже, чем на вырубках. Связь уровня верховодки (x) с объемом стока (y) аппроксимируется уравнением вида:

$$Y = a/x + b. \quad (4)$$

Коэффициенты регрессии a и b равны соответственно 5622 и –56, ошибка уравнения равна 0,19.

Уклон водоупорного слоя обуславливает в период снеготаяния внутрипочвенный сток верховодки. На скорость внутрипочвенного стока влияют помимо уклона местности, физические свойства почвы, ее насыщенность корнями. По нашим данным на участках спелого ельника и вырубках трехлетней давности наименьшая скорость внутрипочвенного стока установлена на волоке (при уклоне 2–3° – 22,2 м/сут). Скорость внутрипочвенного стока на пасеке (33,2 м/сут) в 1,5 раза выше, чем на волоке, а в насаж-

дении (72 м/сут.) в 2-3 раза больше, чем на пасеке и волоке. В лесу внутрипочвенный сток наблюдался на большей глубине.

Живые корни, проникающие глубоко в почву, увеличивают ее водопроницаемость. Раскачивание деревьев ветром, приводящее к колебанию корней, вызывает колебания почвенного слоя, пронизанного ими, способствует увеличению водопроницаемости вдоль корней в среднем в 3,7 раза, и почвы в монолите, охваченном корневой системой дерева, в 1,2—1,9 раза. Колебания корней раскачивающихся деревьев, ускоряют прохождение воды вдоль них больше на легких (в 2—5 раз), чем на тяжелых почвах (около 1,5 раза). Из всех видов колебаний корней наибольшие - вертикальные (вверх — вниз), за ними идут боковые (в сторону от корня и обратно) и наименьшие — продольные (вперед и назад по корню от ствола и к нему). Но вертикальные и боковые колебания корней, связанные с их изгибом, при удалении от ствола резко уменьшаются, а продольные, связанные с большей устойчивостью древесины вдоль волокон на растяжение и сжатие, сохраняются на значительном удалении. Амплитуда колебаний корней у деревьев с поверхностной корневой системой больше, чем у деревьев со стержневой системой, причем у последних затухание колебаний корней отмечается ближе к стволу.

Глава 5. ИЗМЕНЕНИЯ СТОКОРЕГУЛИРУЮЩИХ И НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ НА ВЫРУБКАХ И ЛЕСОСЕКАХ

Перевод лесом поверхностного стока в почвенно-грунтовой зависит от структуры почвы, ее плотности и водопроницаемости. Формирование и перераспределение летнего стока исследовано в условно коренных ельниках: нагорном, липняковом, травяном, разнотравном, разнотравно-зеленомошниковом и ягодниковом. Преобладающие почвы горно-лесные с разной степенью оподзоленности и дерново-подзолистые, с разнообразным механическим составом. В ненарушенном состоянии почвы участков характеризуются низкими значениями плотности ($0,63 \text{ г/см}^3$), высокими скважности (74%) и водопроницаемости (16,7 мм/мин) (таблица 4). Полученные результаты имеют широкое варьирование данных, что является подтверждением пестроты и неоднородности свойств лесных почв в пределах одного типа, но взятой из разных биогеоценозов. В связи с неоднородностью почвенного покрова абсолютные величины показателей плотности, скважности, водопроницаемости, полученные на участках вырубки с разной степенью повреждения, нормированы к данным того же показателя из смежного лесного насаждения.

Таблица 4 — Водно-физические свойства лесных почв

Тип леса	Плотность, г/см^3	Скважность, %	Водопроницаемость, мм/мин	Коэффициенты		
				Стока		Защитности
				поверхностного	внутрипочвенного	
Нагорный	$0,59 \pm 0,041$	$77,1 \pm 1,19$	$7,9 \pm 1,21$	0,0010	0,000	3,41
Ягодниковый	$0,55 \pm 0,044$	$76,2 \pm 2,11$	$24,99 \pm 3,923$	0,0000-0,0004	0,024-0,045	2,26-3,88
Липняковый	$0,68 \pm 0,052$	$72,5 \pm 1,91$	$18,24 \pm 10,554$	0,0070-0,0770	0,065-0,200	2,54-3,51
Травяной	$0,74 \pm 0,135$	$70,5 \pm 4,84$	$20,00 \pm 4,775$	0,0010-0,0026	0,027-0,057	4,82-4,22
Разнотравный	$0,45 \pm 0,035$	$82,9 \pm 1,75$	$9,25 \pm 3,245$	0,0000-0,0020	0,001-0,293	5,17-13,39
Разнотравно-зеленомошный	$0,47 \pm 0,019$	$81,6 \pm 0,07$	$4,20 \pm 0,900$	0,0000	0,0014	Не опр.

Наименьшие изменения водно-физических и стокорегулирующих свойств лесных почв наблюдаются на пасеках выборочных рубок и на пасеках с сохраненным подростом, наибольшие на волоках, занимающих от 15 до 30% площади (рис. 4, 5). Изменения большей частью проявляются в снижении водопроницаемости почвы и в увеличении коэффициента поверхностного стока. На волоках он равен 0,02–0,25, при коэффициенте защитности — 0,74–1,21. Резкое ухудшение всех свойств почвы приводит к возникновению плоскостной эрозии даже при уклоне 2–3°.

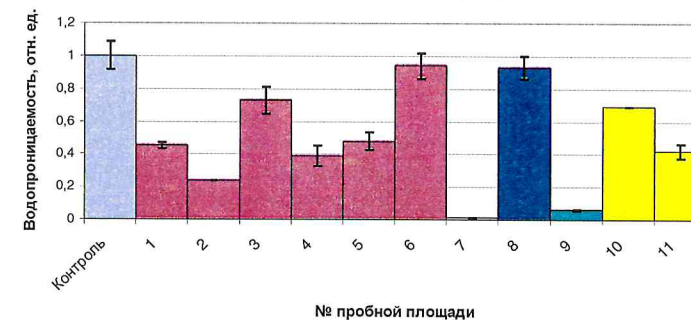


Рисунок 4. Водопроницаемость почвы на пасеках свежих вырубок (1-2 года после рубки) в ельниках разных типов леса: 1- 6 травяной, 7- 8 — ягодниковый, 9 — липняковый, 10 - 11 — разнотравный; 7- ягодниковый и 9- липняковый — рубка велась с использованием многооперационной техники с хаотичным перемещением по площади

Вырубка древостоя приводит к резкому снижению водоохранной значимости площадей. Период восстановления почвы максимальный на волоках. Через 20 лет после рубки плотность почвы на пасаках составляет $0,96-1,35 \text{ г/см}^3$, при $1,63 \text{ г/см}^3$ на магистральных волоках. Коэффициент поверхностного стока на вырубках в 9—53 раза выше, внутрипочвенный сток часто отсутствует, коэффициент защитности на 60—85% ниже, чем в насаждениях. Минимальный период восстановления наблюдается на пасаках с сохранным подростом и составляет 12-20 лет. Период восстановления зависит от механического состава и каменистости почвы выруб. Наибольший период требуется для восстановления свойств тяжелосуглинистых некаменистых почв. Дифференциации по устойчивости почвы к повреждению и по скорости восстановления относительно исследованных типов леса не было выявлено.

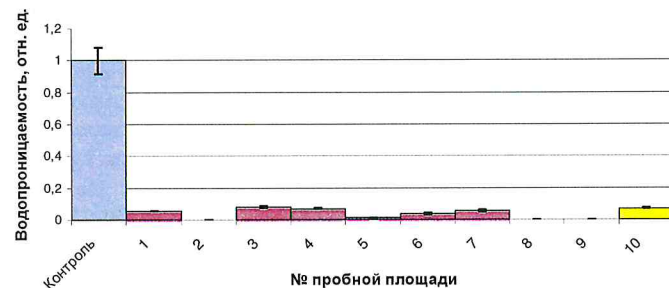


Рисунок 5. Водопроницаемость почвы на волоках свежих выруб в ельниках разных типов леса: 1-7 — травяной, 8 — липняковый, 9-10 — разнотравный; 6 — травяной (волок укрепленный порубочными остатками), 7 — травяной (магистральный волок)

Вырубка древостоев сопровождается изменением соотношения обменных ионов в почвенном поглощающем комплексе (ППК) (Зонн, Карпачевский, 1987), причем наиболее быстрой реакцией на нарушение почвообразовательных процессов на вырубках характеризуется изменение содержания H^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} в ППК (Почвенная съемка, 1950). Известно, что сплошнолесосечные рубки вызывают изменения химических свойств почвы и особенно ее верхних горизонтов (Дедков и др., 1987).

При рубках спелых и перестойных насаждений как сплошных, так и выборочных, наиболее сильным изменениям химического состава подвержена почва волоков. Через 7-9 месяцев после рубки наблюдается увеличение обменных Al^{3+} и H^+ на волок в слое почвы 0-4 см до 8,3% от суммы катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H^+) против 6,4% на пасаке. Наряду с увеличе-

нием обменной кислотности в верхнем слое почв волок на глубине 28-32 см зарегистрировано снижение ее до 31,1% по сравнению с почвой на пасаках (53,1%), что вызвано перемешиванием минеральных слоев почвы с гумусовым горизонтом и лесной подстилкой. При давности рубки более трех лет в поверхностных горизонтах почвы на волоках, не покрытых и ранее покрытых порубочными остатками, наблюдается процесс накопления обменных Ca^{2+} и Mg^{2+} при снижении обменной кислотности. На пасаках, при сохранении темной хвойной подроста, на однолетней вырубке выявлено выщелачивание обменных катионов. При интенсивном выносе Ca^{2+} обменная кислотность почвы возрастает в 1,6 раза по сравнению с почвой под пологом древостоя.

На смежной десятилетней вырубке с развитым травяно-злаковым покровом наблюдается увеличение содержания в слое почвы 0-25 см Ca^{2+} и Mg^{2+} и снижение в 2-3 раза суммы обменных Al^{3+} и H^+ по сравнению с почвами свежей вырубки.

Экономическая оценка стокорегулирующей роли лесов рассматривается через снижение экономической ценности водорегулирующих функций угодий после вырубки древостоев (таблица 5). Экономические потери

Таблица 5 — Экономическая оценка потерь стокорегулирующих свойств лесными площадями при переводе их в нелесопокрытые

Вырубка, лесосека	Годовой прирост поверхностного стока (потеря внутрипочвенного)		Потери стокорегулирующих свойств, руб/га/год
	от годовой суммы осадков, %	м ³ /га	
Вырубка после применения серийной техники с сохранением подроста	0,12-2,13	0,6-10,9	9,3-168,95
в т.ч. на пасаках	0,00-1,30	0,0-6,7	0,00-103,85
на волоках	0,68-10,54	3,5-54,2	54,25-189,7
Вырубка после применения многооперационной техники с сохранением подроста	0,95-8,1	4,9-41,72	75,95-646,66
в т.ч. на пасаках	0,03-0,25	0,2-1,3	3,1-20,15
на волоках	3,30-36,30	16,8-186,8	260,4-2895,4
Вырубка после применения многооперационной техники без сохранения подроста	2,63-8,46	13,5-43,5	209,25-674,25
Лесосека, пройденная выборочной рубкой	0,05-0,47	0,3-2,42	4,65-37,51
в т.ч. на пасаках	0,03-0,14	0,0-0,7	3,1-20,15
на волоках	0,33-4,96	1,7-25,5	260,4-2895,4

после вырубки древостоя выражаются произведением годового прироста поверхностного стока на ренту с 1 м³ воды. Рента составляет в среднем при

пользовании поверхностными водами 0,31 руб./м³, подземными 0,45 руб./м³. Экономическая оценка рассчитывается с учетом норматива приведения разновременных затрат и результатов (для лесного хозяйства равно 0,02).

Полученные стоимостные оценки водоохранной роли леса имеют большую ценность в случае повышения доли рентных платежей в доходной части бюджета. Применение рентной стоимости водоохранных качеств леса должно стимулировать рациональное использование природных ресурсов.

Глава 6. ДЕПОНИРОВАНИЕ ПОЛЛЮТАНТОВ ПРИГОРОДНЫМИ ЛЕСАМИ

В настоящее время наряду с водоохраной большое значение имеет поллютанто-депонирующая роль лесов Урала. Часть поллютантов выводится из миграционного потока и депонируется в лесных биогеоценозах. Накопление их в почве носит мозаичный характер (Воробейчик, Позолотина, 2003). Чтобы выявить тенденцию распределения поллютантов необходимо установить связь этого процесса с основными параметрами насаждений. Нами анализировалось накопление в почве спектра элементов, относящихся к группе тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Sb, Sn, Bi, Cr, As), по их токсичности, а так же менее опасные с точки зрения загрязнения природной среды (Mn, V, Ti, P, Ag, Mo, Ba, Sr, Y). При сравнении концентрации поллютантов в почвах нелесных (сенокосы, выгоны, пашни) и покрытых лесной растительностью участков установлено более высокое (на 11—58%) их содержание в почвах под пологом древостоев. Суммарное содержание общего количества рассматриваемых элементов свидетельствует о том, что максимальными значениями характеризуются хвойные и хвойно-лиственные насаждения (962,48—956,89 мг/кг), затем по убывающей идут насаждения искусственного происхождения (938,13 мг/кг), лиственные, лиственно-хвойные (915,39—873,84 мг/кг). Полагаем, что аккумуляция поллютантов в почвах лесных насаждений и безлесных участков в значительной степени определяется миграцией веществ с потоками воды в период весеннего снеготаяния, что обусловлено особенностями формирования запаса воды в снеге и его влияния на скорость водоотдачи в насаждениях и непокрытых лесной растительностью участках.

Методом главных компонент выявлены характеристики насаждений, определяющие дисперсию поллютантов в поверхностных слоях почвы. В убывающем порядке по значимости — это тип леса, состав, полнота, возраст, класс бонитета древостоя.

Зависимость между содержанием поллютантов и таксационными показателями древостоев установлена в хвойной и лиственной формациях с преобладанием в них деревьев сосны и березы. Расчеты строили на фор-

мировании выборки по загрязнению почвы относительно только одного из показателей древостоя, игнорируя остальные.

Наиболее высокая концентрация поллютантов установлена под пологом хвойных насаждений в ельнике-сосняке травяном, а также производных лиственных насаждениях разнотравно-зеленомошникового и приручейного типов леса. Максимум депонирования поллютантов был зафиксирован в среднеполнотных (0,5—0,6) перестойных древостоях четвертого класса бонитета.

Полученные данные свидетельствуют лишь о тенденции процесса вследствие как неоднородности выборок относительно характеристик древостоев, так и высокой вариации распределения поллютантов в почве, которая была показана в работах Е.Л. Воробейчика и др. (2009), проведенных в том же районе.

При сужении выборки до одного типа леса (таблица 6) наблюдается статистически достоверное ($p < 0.05$) увеличение концентрации поллютантов от лиственных формаций к хвойным (сосна, ель).

Таблица 6 — Содержания поллютантов-токсикантов в насаждениях типов леса ельник-сосняк травяной и сосняк ягодниковый, мг/кг

Лесная формация	Ельник-сосняк травяной	Сосняк ягодниковый
	$M \pm m$	$M \pm m$
Лиственная	$311 \pm 17,4$ а	Нет данных
Лиственно-хвойная	$306 \pm 25,7$ а	$263 \pm 15,9$ а
Хвойно-лиственная	$310 \pm 17,3$ а	$283 \pm 22,4$ а
Хвойная	$428 \pm 52,9$ b	$370 \pm 29,9$ b
Хвойная искусственного происхождения	$441 \pm 66,9$ b	$375 \pm 33,9$ b

Определение уровня загрязнения лесных почв под насаждениями разного состава позволило оценить опасность вторичной эмиссии поллютантов при нарушении экологического равновесия лесных экосистем (таблица 7). В целом по суммарному показателю уровень загрязнения (Z_c) в лиственных насаждениях относится к «опасному» ($Z_c = 32-128$), а в лиственно-хвойных, хвойных, хвойно-лиственных и в искусственных насаждениях к «чрезвычайно опасному» (Z_c больше 128). Индекс загрязнения (K_i) (Воробейчик, 2003) наиболее высокий в искусственных, несколько ниже он в хвойных и хвойно-лиственных насаждениях. Исходя из показателей загрязнения, нарушение лесной среды вызовет вторичную эмиссию поллютантов.

Таблица 7 — Коэффициенты концентрации химического вещества, суммарный показатель загрязнения, индекс загрязнения лесных почв

Насаждение	K _{Ni} *	K _{Co}	K _{Cr}	K _{Cu}	K _{Zn}	K _{Pb}	Z _c **	K _i ***
Лиственные	7,11	3,91	80,77	16,23	1,92	3,95	109	19
Лиственно-хвойные	8,60	3,95	96,67	23,04	1,71	4,40	133	23
Хвойно-лиственные	7,96	3,76	109,52	36,14	2,00	6,28	161	28
Хвойные	8,31	4,08	125,37	26,67	2,40	5,66	168	29
Искусственные сосновые насаждения	19,94	4,52	205,11	31,61	2,71	7,12	266	45

Примечание: * отношение фактической и фоновой концентрации элемента; ** разница между суммой коэффициентов концентраций химических элементов – загрязнителей и числом определяемых суммируемых веществ, уменьшенным на единицу; *** среднее арифметическое отношений концентраций элементов поллютантов к концентрации этих элементов, принятых как региональный фон

На шести ППП (таблица 8), заложенных в ельнике-сосняке ягодниковом, проведен 10-летний мониторинг валового количества тяжелых металлов, и содержания их наиболее токсичных и мобильных обменных форм, относящихся к доступным для растений. Исследования проводились в насаждениях, не имеющих визуальных признаков угнетения и рекреационного использования.

Таблица 8 — Характеристика постоянных пробных площадей (ППП) в Билимбаевском лесничестве (г. Первоуральск)

№ ППП	Участковое лесничество, квартал	Загрязнение ионами меди, ПДК	Состав	Высота, м	Диаметр, см	Класс возраста	Полнота	Класс бонитета
1	Первоуральское, 55	3	9С1Е+Б	25	26	V	0,8	I
2	Первоуральское, 90	3	9С1Е	23	28	V	0,8	I
3	Первоуральское, 81	10	7С1Е2Б	27	32	V	0,8	I
4	Подволошинское, 35	10	8С1Л1Е+Е+Л	28	38	VII	0,7	II
5	Подволошинское, 8	100	8С1П1Б+Е+Л	29	30	V	0,8	II
6	Подволошинское, 25	100	7С2Л1Е	26	36	VII	0,7	II

Активная миграция подвижных форм металлов вниз по профилю не наблюдается, и их основная масса скапливается в лесной подстилке. Наиболее статичными в этом плане являются ионы свинца, в подстилке их содержится от 68 до 100%. Ионы цинка (подвижные формы) мигрируют до глубины 50—90 см, где их можно обнаружить в количестве от 1,75 до 17,5 мг/кг почвы. Однако в основном они накапливаются в лесной подстилке (47—86%). Также в лесной подстилке отмечается высокое содержание ионов подвижных форм меди, где их доля составляет 65—84% от суммарного количества (рис. 6)

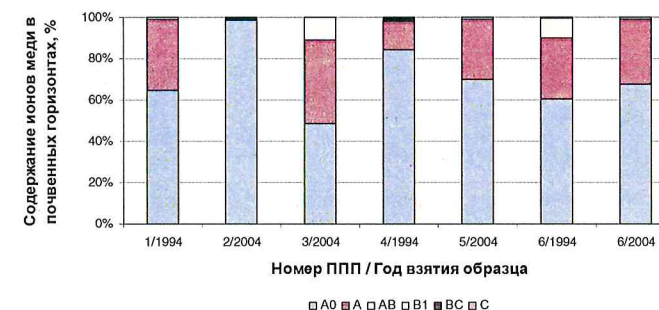


Рисунок 6 — Распределение в почвенном профиле подвижных ионов меди

Сорбционная способность почв и лесной подстилки нами рассматривается как отношение подвижных форм ионов меди к ее валовому содержанию, выраженному в процентах. Это позволяет установить насыщенность почвы ионами меди, вовлекаемой в миграционные потоки, в том числе поступающие в гидрологическую сеть. Наибольшее содержание (30—35%) подвижных форм меди относительно валовых зафиксировано в лесной подстилке ППП 6 (рис. 7).

Несмотря на большие превышения ПДК ионами меди, адсорбционная способность лесных почв, судя по 10-летнему мониторингу, не исчерпана. За этот период валовое содержание ионов меди в почве увеличилось до 263%, а содержание подвижных форм только на 5—17%. Массовые доли содержания в почве подвижных форм свинца и цинка возросли в лесной подстилке в 2,6—4,1 раза и в 2,0—2,3 раза соответственно.

Критерием устойчивости лесной экосистемы является ее потенциальное возобновление, которое изучалось в районе г. Первоуральска (таблица 8), с учетом градиента техногенного загрязнения почв.

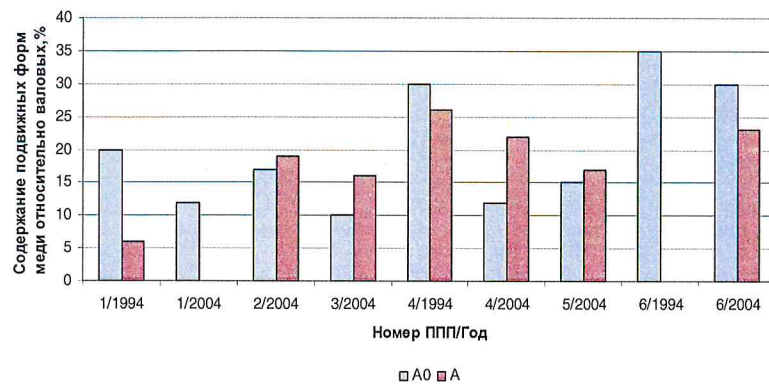


Рисунок 7 — Содержание подвижных форм ионов меди относительно валовых в горизонтах A_0 и А

Из рекомендаций по ведению лесного хозяйства на зонально-типологической основе в лесах Свердловской области были использованы данные о необходимом минимуме обеспеченности подростом под пологом леса для успешного лесовозобновления. В дальнейшем их именуем «нормативными». Из таблицы 9 следует, что крупного пихтового подроста, вне зависимости от уровня загрязнения, будет достаточно для успешного лесовозобновления в случае гибели или вырубki древостоя. Количество мелко-го подроста меньше по сравнению с количеством всходов в 4-17 раз. Необходимое минимальное количество елового подроста по всем трем группам крупности зафиксировано при уровне загрязнения почвы медью до 30 мг/кг. При большем уровне загрязнения почвы елового подроста оказалось не достаточно для успешного возобновления. Наблюдается существование тесной (-0,82 - -0,98) обратно пропорциональной зависимости между уровнем загрязнения почвы и количеством подроста ели и пихты высотой до 1,5 м. У более крупных растений связь с уровнем загрязнения почвы отсутствует.

Таким образом, загрязнение почвы в настоящее время не оказывает катастрофического влияния на лесные биоценозы, о чем свидетельствует наличие достаточного количества подроста пихты для успешного лесовозобновления в случае рубки или гибели древостоя. В перспективе сосновые насаждения на исследованных площадях заменятся пихтовыми с примесью ели. С лесохозяйственной точки зрения такая замена не желательна. Однако будет сохранена доминирующая функция лесной зеленой зоны — депонирование поллютантов.

Таблица 9 — Количество всходов и подроста темновойных пород в лесных насаждениях с разным уровнем почвенного загрязнения, тыс. шт./га

Порода	Загрязнение почвы ионами меди, мг/кг	Всходы	Подрост			В пересчете на крупный*
			Мелкий	Средний	Крупный	
Ель	9	57,5	12,3	1,5	0,8	8,1
	30	65,0	17,8	1,3	0,4	10,3
	300	22,5	2,0	0,4	0,9	2,2
Пихта	9	17,5	4,5	0,6	3,9	6,6
	30	15,0	0,9	1,1	2,4	3,7
	300	41,0	3,1	0,5	2,9	4,8
Ель, пихта	Норматив*	-	2,0	1,5	1,0	3,2

Примечание: *Правила лесовосстановления (утв. приказом МПР РФ от 16 июля 2007 г. N 183)

Глава 7. ДИНАМИКА ГОДИЧНОГО РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА

Защитные возможности лесных фитоценозов не безграничны. Для определения их состояния используют методы дендрохронологии, позволяющие изучать изменения годичного радиального прироста в градиенте загрязнения. Получаемые результаты исследований не однозначны. Наряду со снижением, ряд авторов отмечает увеличение прироста в зоне загрязнения или индифферентное отношение к этому фактору. Основными факторами среды, определяющими годичный радиальный прирост, являются температура, влагообеспеченность, освещенность (Крамер, Козловский, 1963). Окончательно не выявлен основной фактор, влияющий на радиальный прирост. Основываясь на литературных источниках, мы пришли к выводу, что ширина годичного кольца сосны формируется в зависимости от потребления воды, которая большей частью расходуется на транспирацию. Одной из важнейших функций ксилемы является проведение пасоки. В этом плане в качестве механизма водообеспечения наиболее часто применяется пайп-модель (Усольцев, 1997).

Техногенное влияние на величину радиального прироста происходит через механическое или химическое воздействие на листья деревьев (транспирирующую фитомассу). Однако при дефолиации до 50% снижение величины годичного радиального прироста на достоверно значимом уровне часто может не наблюдаться. При этом увеличивается диапазон изменений годичного радиального прироста, а его средняя величина за какой-то период времени в древостое может не меняться, или даже увеличиваться. То есть, наряду с построением проводящей системы, адекватной листовой массе, существует ряд причин, ослабляющих зависимость ради-

ального прироста от степени повреждения кроны. Это могут быть погодные условия или техногенное воздействие, стимулирующие интенсивную транспирацию; блокировка проходимости сосудов (трахеид) предыдущих лет и, как следствие, императив наращивания годичного кольца текущего года.

Нами выдвинута гипотеза влияния крахмала на формирование параметров радиального прироста. При исследовании модельными объектами были производные березовые древостои Среднего Урала (юг Свердловской области): состав древостоев 8Б2С, высота 22 м, диаметр 20 см, полнота 0,6-0,7, класс возраста VI, класс бонитета II, тип леса сосняк разнотравный. Выбор объекта обусловлен более простым определением запасных углеводов (крахмала) у деревьев березы. Результаты наблюдений за изменениями содержания крахмала в ксилеме в течение сезона согласуются с литературными данными. Наиболее высоко содержание крахмала во флоэме перед началом весеннего сокодвижения (рис. 8).

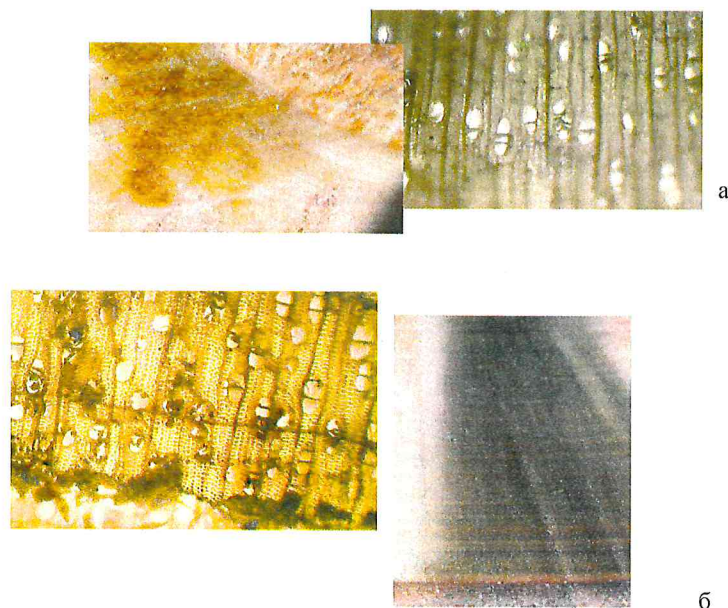


Рисунок 8 — Наличие крахмала в стволе и сосудах березы, а — до сокодвижения, б — после сокодвижения

Формирование текущего радиального прироста может происходить

следующим образом. При весеннем сокодвижении сахара пасоки, не использованные на построение тканей листьев, дегидролизуются в крахмал, зерна которого закупоривают сосуды части ксилемы (рис. 8). Одновременно формируется новое годичное кольцо, компенсирующее временный вывод из водопроводящей системы части сосудов и обеспечивающее новые транспортные пути.

Для подтверждения вышеприведенного положения был выполнен эксперимент по принудительному прекращению тока пасоки в ксилеме во время весеннего сокодвижения (таблица 10). Формирование радиального прироста определяется проводимостью сосудов, а нарушение их целостности во время весеннего сокодвижения может спровоцировать закупорку части сосудов. При нарушении целостности (поранение) сосудов во время весеннего сокодвижения выявлено достоверное и значительное увеличение радиального прироста у деревьев при отсутствии такового при поранении сразу после распускания листьев. То есть, изменение радиального прироста явилось реакцией не на сам факт повреждения ксилемы, а на повреждение ксилемы в период высокой насыщенности сосудов сахарами. Техногенное повреждение фитомассы в весенний период может спровоцировать увеличение радиального прироста текущего года. И, следовательно, сама величина радиального прироста далеко не всегда может быть использована в качестве индикатора техногенного загрязнения.

Таблица 10 — Изменение радиального прироста после нанесения зарубов на высоте 1,3 метра на стволах в 2007 г., мм

Высота, ориентация отбора керна	Время нанесения зарубов				Контроль	
	Во время сокодвижения		После сокодвижения			
	2006 г	2007 г	2006 г	2007 г	2006 г	2007 г
0,5 м, юг	0,59±0,100 а	0,77±0,145 а	0,71±0,125 а	0,66±0,085 а	0,51±0,135 а	0,70±0,140 а
1,15 м, юг	0,70±0,070 а	1,58±0,225 в	0,74±0,110 а	0,82±0,180 а	0,61±0,120 а	0,78±0,150 а
1,3 м, восток	0,84±0,100 а	1,04±0,105 а	0,62±0,105 а	0,95±0,140 а	0,59±0,185 а	0,78±0,175 а
1,3 м, север	0,68±0,045 а	1,10±0,105 в	0,62±0,115 а	0,88±0,140 ав	0,59±0,185 а	0,78±0,175 ав
1,45 м, юг	0,76±0,155 а	1,25±0,190 в	0,54±0,09 а	0,65±0,085 а	0,57±0,135 а	0,62±0,115 а
2,3 м, юг	0,71±0,055 а	1,03±0,095 в	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
4,5 м, юг	0,68±0,095 а	0,89±0,100 а	0,59±0,100 а	0,74±0,115 а	0,61±0,145 а	0,73±0,125 а

Примечание: достоверные различия ($P < 0,05$) в пределах одного варианта показаны разными буквами

Однако техногенное загрязнение влияет на многолетнюю динамику годичного радиального прироста (Алексеев, 1990; Менщиков, Ившин, 2006; Ярмишко и др., 2009). То есть, возможен анализ влияния техногенного загрязнения на динамику радиального прироста деревьев и выявление дифференциации древостоев по этому признаку. Для анализа был использован метод высокочастотных колебаний радиального прироста, предложенный В.Г. Суховольским. Выбор метода позволяет снизить компенсаторное влияние условий произрастания деревьев и неоднородность реакции древостоев по динамике годичного радиального прироста на изменения экзогенных факторов, как погодных, так и антропогенных. Характеристика ППП представлена в таблицах 8, 11.

Таблица 11 — Характеристика постоянных пробных площадей (ППП) в парке «Лесоводов России» г. Екатеринбург

№ ППП	Состав	Высота, м	Диаметр, см	Класс возраста	Полнота	Класс бонитета	Тип леса
1/Е	10С+Б	28	32	VIII	0.4	II	С _{яг}
2/Е	10С+Б	25	28	VII	0.4	II	С _{тр}
3/Е	10С+Б	24	32	VII	0.4	II	С _{тр}
4/Е	10С	26	35	VII	0.4	II	С _{тр-эм}

Сравнение величины ВЧ-составляющей проводили в 40- и 42- летние периоды для деревьев, произрастающих в районах г. Екатеринбурга (1952-1991 и 1912- 1951 гг.) и г. Первоуральска (1952-1993 и 1910-1951 гг.). Временные отрезки выбраны в связи с началом активной застройки и развития промышленности и автотранспорта.

В период 1953-1993 гг. отмечено увеличение среднегодовой температуры воздуха на 0,7°C. Значительное потепление наблюдается в эти годы в период с декабря по май. С июня по октябрь (за исключением июля) среднемесячные температуры воздуха несколько ниже (0,01-0,35°C). Среднегодовая сумма осадков за 1953 - 1993 гг. уменьшилась на 3,16 мм. При увеличении суммы осадков с сентября по февраль (0,11- 4,9 мм), в период с марта по август (за исключением апреля) она снизилась на 1,6 - 1,9 мм. Изменение климата влияет на величину радиального прироста (Мазепа, 2000) ВЧ-составляющая прироста в большей степени должна зависеть от контрастности изменений внешних условий.

Поэтому, наряду с усредненными данными погодных условий, установлены параметры их высокочастотных колебаний в рассматриваемые периоды. Установлено, что за последний хронологический период наблю-

дается снижение высокочастотной составляющей колебаний (цикла) суммы осадков и температуры воздуха практически во все месяцы, кроме 3—4 месяцев в году. По среднегодовым значениям ВЧ колебания (цикл) равны 0,38 и 0,37 по сумме осадков; 0,37 и 0,36 по температуре воздуха; 0,38 и 0,35 колебаний/год по гидротермическому коэффициенту Селянинова за периоды 1910-1951 и 1952- 1993 гг. соответственно. Таким образом, в период увеличения техногенных эмиссий наблюдалось некоторое снижение ежегодной флуктуации погодных условий на фоне снижения суммы весенне-летних осадков и повышения зимне-весенних температур воздуха.

Наиболее устойчивая к внешним факторам часть древостоя представлена деревьями, не изменившими величину колебаний годичного радиального прироста в течение 80-84 лет со значительной величиной ВЧ—колебаний, составляющей в среднем 0,36 кол./год (таблица 12). Максимальное количество таких деревьев (14-15%) находится в верхней и нижней частях катены. На ППП около г. Екатеринбурга преобладают деревья, уменьшившие величину ВЧ—колебаний радиального прироста (50—58%), то есть снизившие реакцию на внешнее воздействие. В пригородных лесах г. Первоуральска, напротив, преобладают насаждения, увеличившие ВЧ-колебания годичного радиального прироста (46—51%).

Таблица 12 — Соотношение деревьев, изменивших ВЧ составляющую колебаний годичного радиального прироста в 40— и 42- летние периоды и величина ВЧ колебаний

Показатели	ППП						
	Екатеринбург				Первоуральск		
	1/Е	2/Е	3/Е	4/Е	1	4	6
Количество деревьев, увеличивших ВЧ- составляющую, %	41	35	39	31	50	51	46
Количество деревьев, уменьшивших ВЧ- составляющую, %	50	58	52	55	35	43	44
Количество деревьев, не изменивших ВЧ- составляющую, %	9	7	9	14	15	6	10
Величина высокочастотных колебаний, кол/год							
деревья, увеличившие частоту колебаний в последние 40-, 42- года	0,34	0,36	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36
предыдущий период	0,31	0,32	0,33	0,33	0,33	0,32	0,27
деревья, уменьшившие частоту колебаний в последние 40-, 42- года	0,31	0,32	0,33	0,34	0,33	0,32	0,32
предыдущий период	0,35	0,37	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36
Деревья, не изменившие частоту колебаний	0,34	0,37	0,35	0,37	0,36	0,35	0,35

На наиболее загрязненной ППП 6 разница между 42-летними периодами была максимальной и составила 0,09 кол/год. С большой долей вероятности можно утверждать, что на этом участке фактор загрязнения спровоцировал у 46% деревьев в древостое резкое увеличение реакции на внешние факторы. Таким образом, анализ изменения ВЧ—колебаний радиального прироста в древостоях, подвергающимся разным типам загрязнений (кислотное атмосферное загрязнение и загрязнение почв тяжелыми металлами в районе г. Первоуральска и в основном пылевое атмосферное загрязнение в районе г. Екатеринбурга), показал разнонаправленность этих изменений, несмотря на то, что климатические условия в этих районах были идентичны. Полученные результаты позволяют предложить использование метода ВЧ—колебаний для выявления влияния фактора загрязнения на древостой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При оценке гидрологической роли лесов на Урале были изучены процессы формирования стока. Сформирована база данных коэффициентов поверхностного стока с покрытых лесной растительностью и безлесных водосборов, позволяющая прогнозировать объем поверхностного стока с малых водосборов и паводковую опасность. Установлены характеристики насаждений, влияющие на динамику снежного покрова, промерзание почвы, интенсивность снеготаяния, что позволяет предложить систему лесохозяйственных мероприятий, улучшающих гидрологический режим. Дестабилизирующее действие на гидрологический режим оказывает вырубка древостоев в условиях низкогогорного рельефа. Ухудшение стокорегулирующих свойств почвы после вырубки древостоя выражается в снижении ее водопроницаемости и в увеличении коэффициента поверхностного стока. Установлены сроки восстановления физических и химических свойств почвы после проведения сплошнолесосечных рубок. Потери воды при нарушении водоохраных (водорегулирующих) функций лесов представляют собой объект экономической оценки. При расширении использования экологической ренты будет иметь значение экономическая мотивация максимального сохранения водоохраных функций леса.

Леса вокруг городов осуществляют функцию биологических фильтров. Исследование этой функции позволило выявить влияние насаждений на аккумуляцию лесными почвами тяжелых металлов. Установить преимущество насаждений в депонировании поллютантов по сравнению с открытыми территориями. В результате исследований найдены характеристики насаждений, способствующие повышению уровня депонирования поллютантов. Выполнен мониторинг накопления и динамики в почвенном профиле тяжелых металлов. Выявлены валовые и наиболее агрессивные обменные формы содержания тяжелых металлов в почвах под пологом

насаждений. Для оздоровления территории вокруг промышленных городов необходимо сохранять лесные насаждения и учитывать специфику работ на загрязненных территориях при проведении лесохозяйственных мероприятий. Ведение хозяйства, ориентированного на содействие естественному лесовозобновлению, позволит избежать вторичной эмиссии поллютантов. Несмотря на большие превышения ПДК тяжелых металлов, адсорбционная способность лесных почв, судя по 10-летней динамике загрязнения, еще не исчерпана.

В результате исследований установлена дифференцированность древостоя по изменению годичного радиального прироста деревьев в ответ на техногенное загрязнение. Основываясь на методе ВЧ—колебаний, выделены более и менее устойчивые к экстремальным факторам части древостоев. Выдвинута гипотеза, подтвержденная наблюдениями и экспериментом о физиологических процессах, влияющих на латеральный рост деревьев в зоне бореальных лесов.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Основные предложения по ведению хозяйства строятся с учетом поддержания водоохраной и поллютанто поглощающей роли лесов через сохранение, или скорейшее восстановление лесистости территории. В условиях низкогогорного рельефа рекомендуется:

1. Сохранять и повышать лесистость территории, вести хозяйство без смены хвойной формации на лиственную; восстанавливать условно коренные насаждения; формировать равномерную представленность на территории всех возрастных групп древостоев; сохранять леса вдоль рек; применять при лесозаготовке щадящие технологии, минимизируя повреждение почвы; ввести ставки рентных платежей в зависимости от степени нарушения почв и снижения водоохраной ценности площадей при заготовке древесины.

2. Для сохранения лучшей гидрологической ситуации на лесных водосборах, и особенно на водосборах с низкой лесистостью (менее 60 %), следует применять выборочные рубки, как вариант лесозаготовки, минимизирующий отрицательное воздействие на водно-физические и стокорегулирующие свойства почвы.

3. На водосборах с высокой лесистостью проводить полосно-постепенные и узколесосечные сплошные рубки с сохранением подроста и сокращением площади волоков. На почвах, тяжелых по механическому составу с низкой каменистостью, проводить лесозаготовку только в зимний период при промерзшем грунте. При отсутствии подроста и молодняка проводить мероприятия по содействию естественному лесовозобновлению.

4. Максимальный запас воды в снеге формируется при регулировании полноты древостоев до 0,5—0,6. При увеличении доли темнохвойных

пород в формуле состава с 1 до 10 единиц запас воды в снеге можно уменьшить на 16-49%.

5. С целью получения наилучших водоохранных свойств следует формировать на водосборах темнохвойные насаждения с полнотой 0,6—0,7, имеющие в формуле состава 2—3 единицы лиственных пород.

6. С целью предупреждения паводковой опасности и получения информации о потенциале водности рек в меженьный период следует определять запас талой воды в насаждениях и на вырубках, исходя из его соотношения с суммой твердых осадков сезона.

7. Вокруг городов с крупными предприятиями необходимо увеличивать площадь зеленых зон относительно рекомендуемых нормативными документами. Зона должна иметь эллипсовидную форму с увеличением ширины в соответствии с розой ветров.

8. В эксплуатационных лесах, примыкающих к зеленым зонам, и на лесных водосборах при наличии источников водоснабжения следует использовать специфические режимы ведения лесного хозяйства, закрепленные в регламентах лесничеств и проектах освоения лесных участков.

9. После проведения сплошных рубок на техногенно загрязненных лесных землях, в случае отсутствия достаточного количества жизнеспособного подроста хвойных пород, рекомендуется создавать лесные культуры сосны и ели крупномерным посадочным материалом без подготовки почвы. Минимизация нарушения почвенного покрова позволит сократить вынос поллютантов в гидрологическую сеть, а использование крупномерного посадочного материала ускорит процесс формирования насаждений.

10. На загрязненных почвах при проведении выборочных рубок спелых и перестойных насаждений рекомендуется ориентироваться на группово-выборочный и группово-постепенный (котловинный) способы. Площадь вырубаемых «окон» и котловин не должна превышать 0,4 га. При этом в образующихся «окнах» и котловинах консервируется наибольшее количество поллютантов за счет максимального накопления твердых осадков и их длительного снеготаяния.

11. При проведении рубок не следует допускать смены коренных хвойных древостоев на лиственные, так как последние отличаются пониженной консервацией поллютантов. С целью увеличения поллютантоаккумулирующих свойств почвы в производных лиственных насаждениях с хвойным подростом под пологом древостоев следует проводить рубки переформирования.

12. Для усиления аккумуляции поллютантов относительную полноту в насаждениях целесообразно снижать до 0,5 - 0,6. Последнее будет дополнительно способствовать накоплению хвойного подроста.

13. В насаждениях III класса бонитета следует избегать сплошных рубок, поскольку в связи с особенностями строения почв там скапливается

большое количество поллютантов. В противном случае будет спровоцирована их вторичная эмиссия.

14. При проведении рубок ухода на техногенно загрязненных территориях при осветлениях следует стремиться к формированию чистых хвойных насаждений или допускать примесь до 4 единиц лиственных пород в составе. При прочистках проводить рубки умеренно высокой интенсивности. При прореживании в еловых и березовых насаждениях увеличить снижение сомкнутости крон на 0,1 (до 0,6) относительно действующих рекомендаций. Проходные рубки в лесах лесопарковых и зеленых зон на Среднем Урале проводить не рекомендуем, так как формирование товарной древесины не отвечает целевому назначению этих насаждений.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Данилик, В.Н. Влияние колебаний корней деревьев на водопроницаемость почвы / В.Н.Данилик, Г.П.Макаренко, **О.В.Толкач** // Лесоведение. — 1989. — № 1. — С. 40-45.
2. **Толкач, О.В.** Влияние рубок на горные подзолистые почвы Урала / О.В.Толкач // Лесоведение. — 1993. — № 2. — С. 12-20.
3. Фрейберг, И.А. Влияние березы на сосну при переводе лиственных насаждений в хвойные / И.А.Фрейберг, **О.В.Толкач**, С.В.Залесов, Н.А.Луганский // Лесное хозяйство. — 2006. — № 4. — С. 40-41.
4. **Толкач, О.В.** Связь депонирования поллютантов в лесных почвах Среднего Урала с таксационными характеристиками древостоев / О.В.Толкач // Лесной журнал. — 2006. — № 1. — С.40-45.
5. Залесов, С.В. Восстановительные способности пригородных лесов Среднего Урала с учетом промышленного загрязнения / С.В.Залесов, В.Н.Луганский, **О.В.Толкач** // Лесной вестник. — 2007. — № 8. — С.11-14
6. **Толкач, О.В.** Реакция годичного радиального прироста на внешние условия в зависимости от степени толерантности березовых древостоев / О.В.Толкач, С.Л.Соколов, А.Шнайдер // Лесной журнал. — 2007. — № 3. — С. 14-20.
7. **Толкач, О.В.** Опыт применения метода высокочастотных колебаний годичного радиального прироста в условиях зоогенной дефолиации / О.В.Толкач, В.И.Пономарев // Вестник защиты растений. ВИЗР. — 2007. — С. 61-62
8. **Толкач, О.В.** Динамика годичного радиального прироста в лиственных древостоях в период вспышек массового размножения насекомых с учетом лесорастительных условий / О.В.Толкач, Н.Н.Теринов, Н.В.Шаталин // Вестник Лесотехнической Академии. — 2008. — С. 296-305.

9. Толкач, О.В. Влияние запасных питательных веществ на формирование водопроводящих путей у березы повислой (*Betula pendula Roth*) / О.В.Толкач // Лесной вестник. – 2008. – № 3. – С. 88-82.

10. Черноусова, Н.Ф. Анализ изменений сообществ мелких млекопитающих в зависимости от трансформации лесорастительных условий лесопарков. / Н.Ф.Черноусова, О.В.Толкач // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 9. – С. 72-75.

11. Толкач, О.В. Лес, как фактор оптимизации окружающей среды (на примере Среднего Урала) / О.В.Толкач // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т.11. – №1(3) (27). – С. 400-402.

12. Черноусова, Н.Ф. Сообщества мелких млекопитающих в градиенте изменений лесного фитоценоза под влиянием урбанизации / Н.Ф.Черноусова, О.В.Толкач, О.В.Толкачев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т.11. – №1(3) (27). – С. 531-536.

13. Толкач, О.В. Возможное влияние экзогенных факторов на изменение годичного радиального прироста берёзы, дефолированной непарным шелкопрядом *Lymantria dispar* (L.) (lepidoptera, lymantriidae) / О.В.Толкач, Н.В.Шаталин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2011. – № 196. – С. 101-108.

14. Толкач, О.В. Состояние возобновления в зеленых зонах города Екатеринбурга / О.В.Толкач, О.Е.Добровотворская // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 1-4. – С. 919-921.

15. Толкач, О.В. Изменение годичного радиального прироста березы, дефолированной непарным шелкопрядом *Lymantria dispar* (L.) / О.В.Толкач // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.

В прочих изданиях:

16. Луганский, Н.А. Повышение гидрологической роли лесов областей питания лечебных минеральных вод рубками ухода / Н.А. Луганский, Г.П.Макаренко, В.А. Ивлев, О.В. Толкач // Проблемы организации и ведения лесного и лесопаркового хозяйства в пригородных зонах. – Свердловск, 1981. – С. 78-80

17. Луганский, Н.А. Повышение водоохранной роли лесов рубками ухода/ Н.А. Луганский, Г.П.Макаренко, В.А. Ивлев, О.В. Толкач // Охрана природных вод Урала. – Свердловск, 1982. – Вып.13. – С. 73-83.

18. Макаренко, Г.П. Влияние рубок ухода на изменение среды и транспирации древостоев / Г.П.Макаренко, В.А. Ивлев, О.В. Толкач // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 713. Москва, 1982 (деп. В ЦБНТИ лесхоз 22.10.1982, – № 152 ЛХ-Д82)

19. Данилик, В.Н. Влияние лесосечных работ на лесную среду и возобновление в лесах Среднего Урала / В.Н. Данилик, Г.П. Макаренко, М.К.Мурзаева, Н.Н. Теринов, О.В. Толкач // Проблемы лесовосстановления в горных лесах. – М., 1984. – С. 23-28.

20. Данилик, В.Н. Использование классификации типов леса при разработке рекомендаций по увеличению водных ресурсов в Челябинской области / В.Н. Данилик, Г.П. Макаренко, М.К.Мурзаева, Н.Н. Теринов, О.В. Толкач // Проблемы использования типов леса в лесном хозяйстве и лесоустройстве. УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1986 г. – С. 76-80.

21. Данилик, В.Н. Изменение водоохранно-защитной роли лесов Среднего и Южного Урала под влиянием хозяйственных мероприятий / В.Н. Данилик, Г.П. Макаренко, Н.Н. Теринов, О.В. Толкач // Средаобразующая роль лесов и ее изменения под влиянием антропогенного воздействия. ВНИИЛМ. – Москва, 1987. –С. 3-21.

22. Толкач, О.В. Влияние рубки и способов лесовосстановления на химизм почв еловых лесов Среднего Урала / О.В. Толкач // Областная молодежная научно-практическая школа конференция «Экологические системы Урала: изучение, охрана, эксплуатация». – Свердловск, 1987. – С. 52.

23. Толкач, О.В. Рубки ухода в рекреационно-курортных лесах Урала / О.В. Толкач, Г.П. Макаренко // Оптимизация ведения хозяйства в лесах рекреационного назначения. М., 1989. – С. 93-95.

24. Данилик, В.Н. Изменение водно-физических и стокорегулирующих свойств лесных почв Урала под антропогенным воздействием / В.Н. Данилик, Г.П. Макаренко, О.В. Толкач, Н.Н. Теринов, А.А. Кутовая // Лесоводственные основы лесопользования и средозащитная роль лесов Урала. УрО АН СССР. – Свердловск, 1991. – С. 123-154.

25. Толкач, О.В. Экономическая оценка ущерба наносимого стоко-регулирующим свойствам леса / О.В. Толкач // Проблемы рационального использования, воспроизводства и экологического мониторинга лесов. ИЛ УрО РАН. – Свердловск, 1991. – С. 151-152.

26. Толкач, О.В. Подходы к обоснованию стоимости лесных земель зеленых зон как аккумуляторов поллютантов / О.В. Толкач // Формирование лесного кадастра, системы плат за лесопользование и аренду лесов Урала. – Екатеринбург: ИЛ УрО РАН, 1996. – С. 55-57.

27. Толкач, О.В. Изменение кислотности почвы зеленой зоны г. Екатеринбурга / О.В. Толкач // Исследование лесов Урала. Мат. науч. чтений посвященных памяти Б.П.Колесникова. – Екатеринбург, 1997. – С. 119-120.

28. Толкач, О.В. Формирование радиального прироста сосны и его использование при мониторинге за состоянием среды / О.В. Толкач // Леса Урала и хозяйство в них. Сб. науч. тр. – Екатеринбург. 1998. Вып. 20. – С. 226-230.

29. **Толкач, О.В.** Динамика радиального прироста сосны в лесопарках г. Екатеринбурга / О.В. Толкач // Химико-лесной комплекс - проблемы и решения. Сб. статей по мат. всероссийской научно-практ. конф. Т.1. – Красноярск, 2001. – С. 134-136.

30. **Толкач, О.В.** Лесопарки, как биофильтры / О.В. Толкач. Г.Г. Новгородова // Актуальные проблемы адаптации к природным и экосоциальным условиям среды. Мат. симпозиума с межд. участием. – Ульяновск, 2002. – С. 153-154.

31. **Толкач, О.В.** Влияние состава древостоев на накопление поллютантов в лесных почвах Среднего Урала / О.В. Толкач // Сб. «Леса Урала и хозяйство в них». 2004. – С. 113-117.

32. **Толкач, О.В.** Состояние и барьерные функции лесных биогеоценозов, трансформированных урбанизированной средой / О.В. Толкач // Структурно-функциональная организация и динамика лесов. Мат. всероссийской конф. – Красноярск, 2004. – С. 365-367.

33. **Толкач, О.В.** Возможные факторы, влияющие на формирование водопроводящих путей у березы повислой / О.В. Толкач // Устойчивость экосистем и проблемы сохранения биоразнообразия на Севере. Мат. межд. конф. Т. II. – Кировск, 2006. – С. 274-276.

34. **Толкач, О.В.** Годичный радиальный прирост как индикатор состояния сосновых древостоев трансформированных урбанизированной средой / О.В. Толкач // Международная научно-практической конференции, посвященной 75-летию Астраханского государственного университета. – Астрахань, 2007 г. – С. 127-129.

35. **Толкач, О.В.** Сосновый подрост в условиях техногенного и рекреационного воздействия в зеленых зонах г. Екатеринбурга / О.В. Толкач // Леса России и хозяйство в них. – 2011. – № 3. – С. 30-36.

36. **Толкач, О.В.** Водорегулирующие свойства горных лесов Среднего Урала / О.В. Толкач // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика. Мат. Всерос. науч. конф. с межд. участием. Красноярск, 2014. – С. 518-520.

37. **Tolkach, O.** The role of starch in the formation of annual radial growth increments in silver birch (*Betula pendula* Roth.) / O. Tolkach, V. Ponomarev // Skvortsovia. – 2015. – №2 (1). – P. 1-7. URL: www.skvortsovia.uran.ru/2015/2.