

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ВЫСШЕМУ
ОБРАЗОВАНИЮ

УРАЛЬСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

КАФЕДРА ЛЕСНОЙ ТАКСАЦИИ И ЛЕСОУСТРОЙСТВА

В.А.Усольцев

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЛЕСНОЙ МОНИТОРИНГ,
ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ
И БАЗЫ ДАННЫХ О ФИТОМАССЕ ЛЕСОВ

Екатеринбург 1995

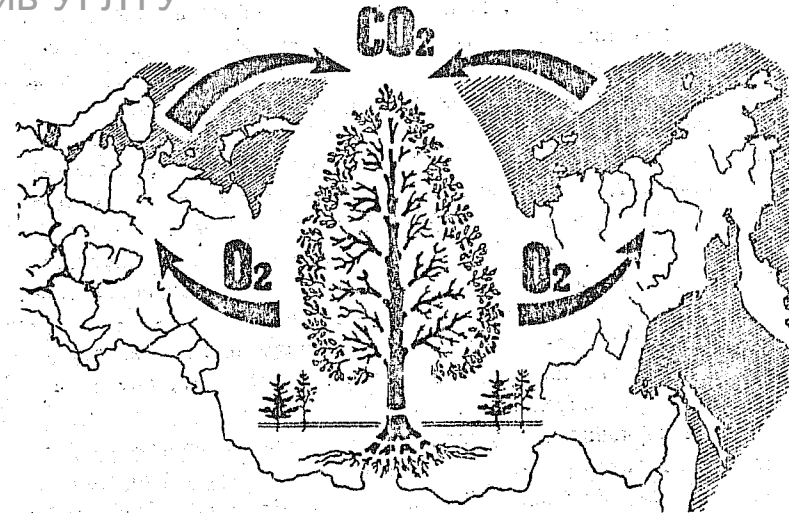
Рассмотрено и рекомендовано методической комиссией лесохозяйственного факультета. Протокол № 7 от 5 мая 1995 г.

Рецензенты: ученый секретарь Института леса УрО РАН, кандидат с.-х. наук, доцент Галако В.А. и доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства УГЛТА, кандидат с.-х. наук, доцент Коростелев И.И.

Редактор : автор В.А.Усольцев

Подписано в печать 10.05.95 Формат 50x84 1/16
Плоская печать Объем 5,35 Тираж 200
Заказ № 427 Бесплатно

Редакционно-издательский отдел УГЛТА
Ротапринт УГЛТА



ВВЕДЕНИЕ

Современная наука вступает в новый этап своего развития. Особенность его состоит в том, что в центре научных исследований все в большей степени оказываются сложные саморазвивающиеся системы, в которые в качестве активно действующего компонента включается сам человек. Один из идеологов нового образа мышления И.Р.Пригожин полагает, что по сути речь идет о новой глубокой научной революции (цит. по: Лесков, 1992). К проявлениям этой тенденции можно отнести реализацию международного лесного мониторинга и тесно смыкающихся с ним глобальных экологических программ.

Все большая экологизация характерна для многих наук о лесе, в том числе для лесоводства и лесной таксации (Стадницкий, 1964; Антанайтис, 1985). Это связано с обострением так называемого экологического кризиса вследствие истощения некоторых природных ресурсов в ближайшем будущем и снижения качества окружающей среды: нарушения озонового слоя в атмосфере, сокращения ресурсов чистой питьевой воды, промышленных

загрязнений атмосферы, почв и водных бассейнов вследствие выделения сернистых и других веществ, вредных для жизнедеятельности биоты. Проблема снижения качества окружающей среды обусловила необходимость экологического мониторинга.

Основной задачей экологического мониторинга является слежение за состоянием экологических систем, определение направления и темпов естественных изменений и выявление ответных реакций на внешние возмущения, вызванные деятельностью человека (Вазилевич, 1985). Составной частью экологического мониторинга является мониторинг лесов - систематическое слежение за состоянием лесов и земель лесного фонда в целях организации рационального хозяйства, обнаружения и предотвращения негативных изменений в лесах, включая учет, оценку и прогноз (Терминологический словарь..., 1993).

Для изучения и моделирования изменений в лесных ресурсах ученые всего мира, национальные агентства, Европейская Экономическая Комиссия, Объединенный Исследовательский Центр европейского сообщества, ФАО ООН и другие организации собирают, анализируют и интерпретируют разнообразную информацию по лесному покрову планеты. Они имеют одну общую цель - дать полную картину состояния и тенденций в динамике мировых лесных ресурсов. С целью координации и стандартизации этих усилий XIX Мировой конгресс ИКОР в Монреале в 1990 году инициировал разработку Рекомендаций по международному мониторингу лесов, в которой приняли участие около 100 ученых из 20 стран.

В нашей стране работы по лесному мониторингу всех уровней, дистанционному зондированию и его наземной идентификации часто нескоординированы между собой. Применение различных методов и подходов дает несопоставимые результаты. Для одних территорий информация отсутствует, для других - дублируется. Более того, утвержденные Федеральной Службой лесного хозяйства России в октябре 1993 года "Основные положения лесного мониторинга в России" составлены по методике ЕЭК-ООН, по которой европейскими странами в течение последних десяти лет развивались национальные системы мониторинга, но которая в достаточной мере не согласуется с Рекомендациями ИКОР по международному мониторингу лесов.

Ухудшение экологической обстановки на планете создает опасность существенного повышения содержания углерода в атмосфере. Атмосферный углерод находится в непрерывном круговороте: в результате фотосинтеза он усваивается растительностью, а в результате сжигания и разложения органики углерод освобождается и выбрасывается в атмосферу (рис. 1). Поток углерода через наземную биоту вследствие фотосинтеза растений, дыхания и разложения составляет ежегодно около 100 Гт (гигатонн, или мрд. т). Океан имеет большой резерв углерода, но годичный нетто-поток в атмосферу через его биоту примерно равен наземному (рис. 2).

Развитие человеческой цивилизации привело к нарушению естественного круговорота и баланса углерода в биосфере. В последние десятилетия наблюдается особенно быстрое увеличение содержания атмосферного углерода, связанное с интенсивным сжиганием ископаемого топлива (каменного угля, нефтепродуктов, газа), определяемое термином "антропогенная эмиссия CO₂". Оценки антропогенной эмиссии углерода составляют от 3 (Tans et al., 1990) до 7 Гт/год (Kräuchi, 1993). Хорошее соответствие между нарастанием эмиссии и количеством сжигаемого ископаемого топлива наблюдалось, начиная с 1958 года. Но в начале 80-х годов взаимосвязь названных двух тенденций внезапно нарушилась и первая из них стала все более преобладать над второй (рис. 3). Причины такого расхождения кроются в интенсивном сведении лесов, особенно тропических, и в нарастающих масштабах сжигания органики, или фитомассы как первичной продукции растительного покрова, в том числе вследствие лесных пожаров (Levine, 1991).

Накопление углеродсодержащих газов CO₂, CO, CH₄, хлорофторуглеродов и др., из которых абсолютно преобладает первый, приводит к так называемому "парниковому" эффекту, или повышению температуры приземного слоя атмосферы. Согласно прогнозам (Gammon et al., 1985), в ближайшие 200-300 лет содержание CO₂ в атмосфере может подняться в 10 раз и за сравнительно очень короткое время достичь уровня, который уже был на Земле 100 млн. лет назад (рис. 4). Исходя из этой тенденции, предполагается в следующем столетии наступление

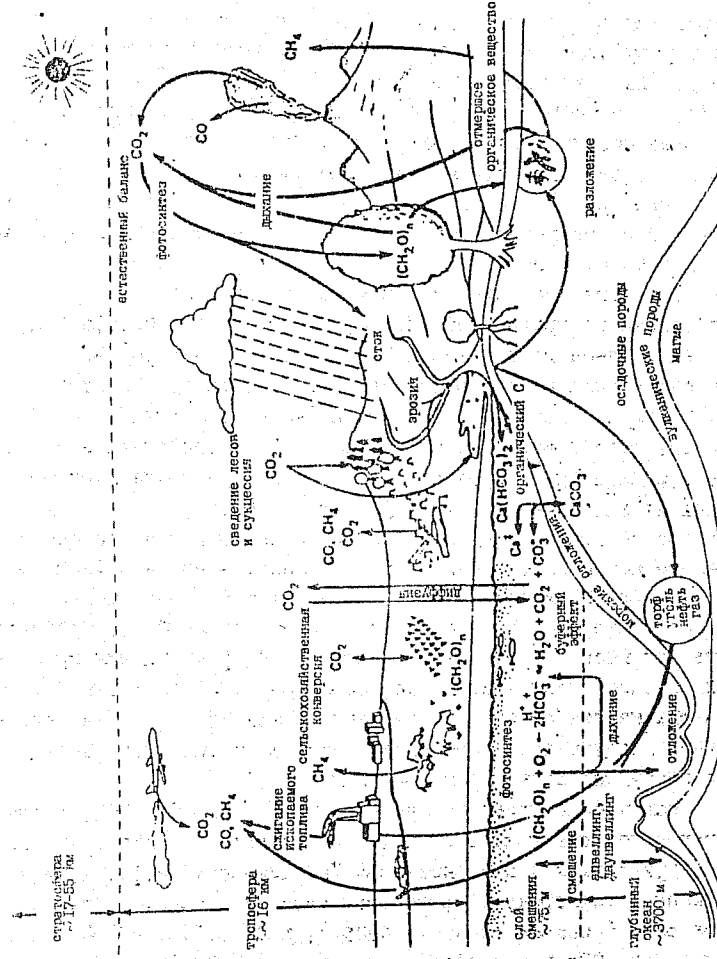


Рис. 1. Схематическая диаграмма глобального углеродного цикла. (Solomon et al., 1985).

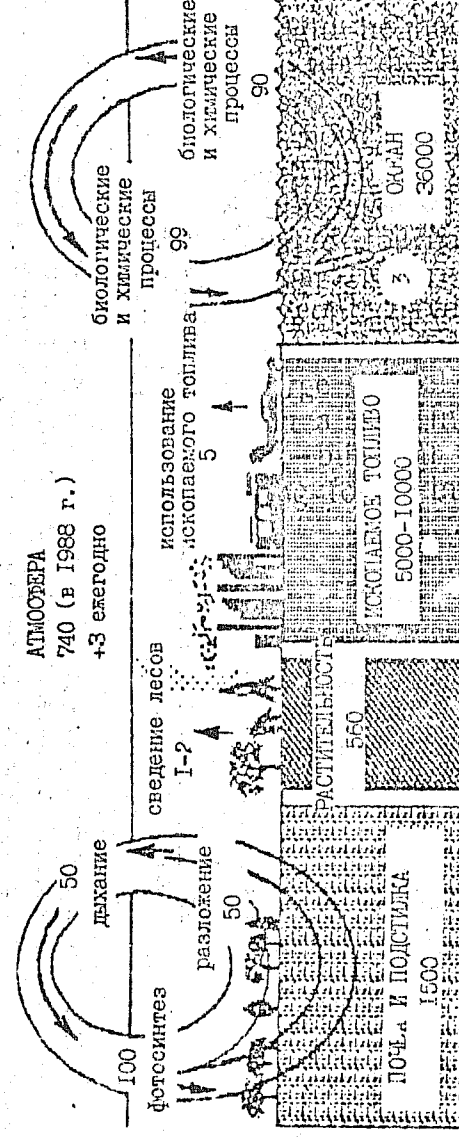


Рис. 2. Запасы и годовые потоки углерода в биосфере в гигатонах (Schneider, 1990; цит. по: Global..., 1991).

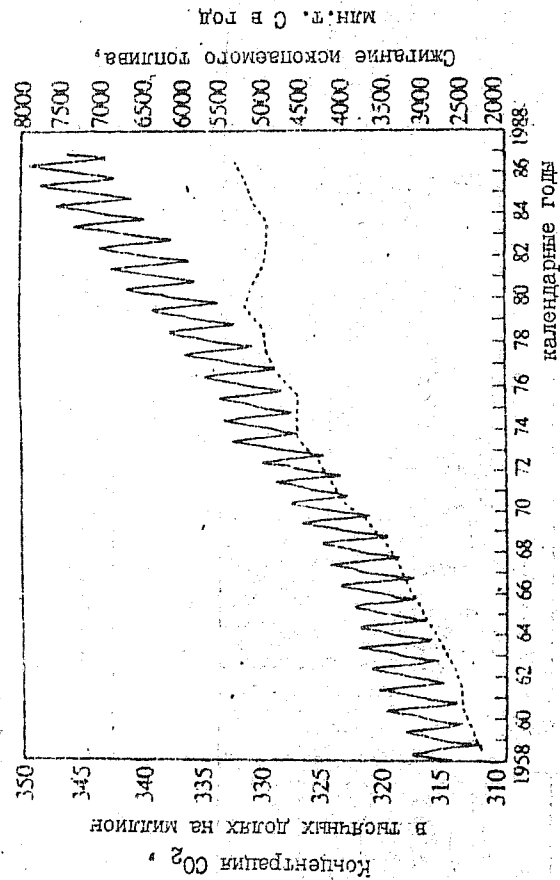


Рис. 3. Увеличение концентрации атмосферного CO_2 (сплошная пульсирующая кривая) и эмиссия С от сжигания ископаемого топлива (прерывистая линия). Ежегодная пульсация содержания CO_2 обусловлена сезонностью фотосинтетической активности (Lashoff and Tigrak, 1989; цит. по: Levine, 1991).

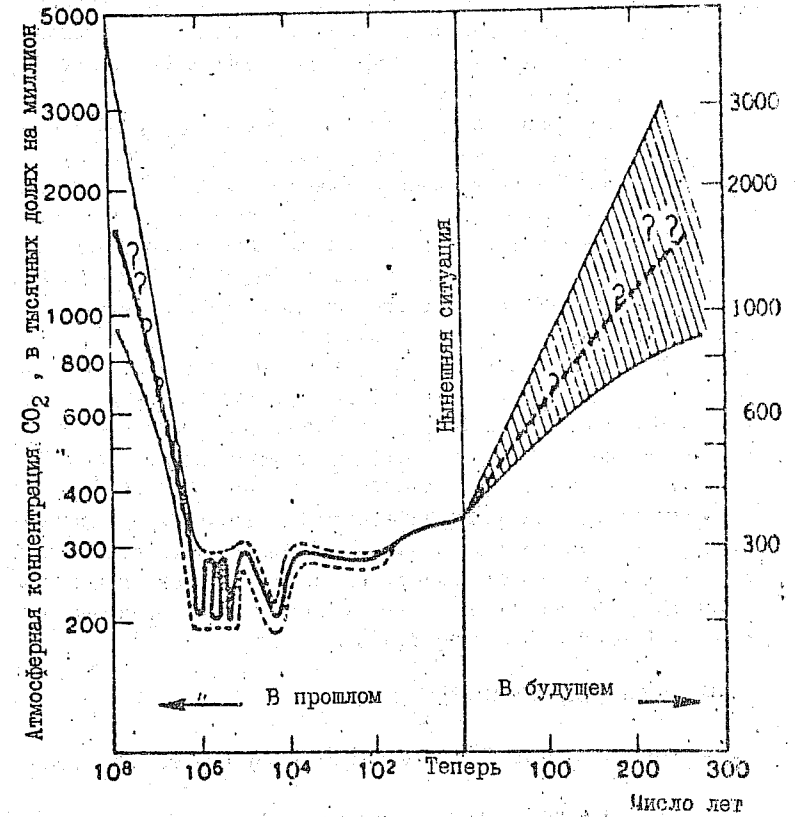


Рис. 4. Ретроспектива динамики содержания атмосферного CO_2 в течение 100 млн. лет в логарифмических координатах. Для сравнения в линейном временном масштабе дан прогноз на последующие столетия. Пульсация кривой в течение последнего миллиона лет связана с периодическими обледенениями (Gammon et al., 1985).

глобального потепления климата с непредсказуемыми и необратимыми катастрофическими последствиями: например, в результате таяния приполярных льдов уровень мирового океана может подняться примерно на 30 м.

Поскольку лесной покров играет определяющую роль в формировании газового состава атмосферы, отправным этапом реализации глобальных экологических программ является создание баз данных о всей органической массе лесов и ее круговороте. Сегодня технология лесоустройства в нашей и большинстве западных стран не учитывает потребности мониторинга лесов и не соответствует решению актуальных экологических проблем различного уровня. Создаваемые банки и базы лесоустроительных данных дают количественную информацию только о запасах стволовой древесины и иногда - описательную информацию о нижних ярусах растительности. Базы данных о всей фитомассе лесов необходимы не только при разработке систем экологического мониторинга и глобальных программ, но и при решении других проблем: разработке ресурсосберегающих стратегий в лесопользовании, создании автоматизированных систем обработки данных дистанционного зондирования лесов, при разработке и реализации математических моделей лесных пожаров, прогнозировании вспышек популяций энтомофитов и т.д.

I. МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСОВ

I.1. Рекомендации ИЮФРО по международному мониторингу лесов

Рекомендации Международного Союза Лесных Исследовательских Организаций (ИЮФРО) по мониторингу лесов имеют ближайшей целью дать перечень показателей по лесным площадям и экологическим аспектам и разработать основные принципы сбора таких данных, пригодных для международного использования. Они преследуют и долгосрочную цель глобальной экологической информационной службы - создание информационной сети мировых лесных ресурсов и межнациональной сети стандартизованных (совместимых) баз данных и методов идентификации данных дистанционного зондирования. Рекомендации разработаны Рабо-

чей Группой ИЮФРО по дистанционному зондированию и мониторингу мировых лесов (S4.02.05) в кооперации с ФАО ООН при финансовой поддержке Финского Агентства Международного Развития (TUTRO..., 1994).

I.1.1. Уровни мониторинга лесов

Первым шагом при любом начинании по мониторингу является оценка потребности в информации. Это критическая фаза планирования, которая слишком часто либо игнорируется, либо, в лучшем случае, остается на заднем плане. В любом серьезном начинании наиболее важны два вопроса: "Для какой цели?" и "Кто будет использовать результаты?".

Существуют три основных уровня мониторинга, на которых оцениваются потребности в информации: глобальный, национальный и локальный. На всех уровнях мониторинга рассматриваются три группы полезностей информации:

- получение представлений о состоянии и развитии лесов и связанных с ними ресурсов,
- планирование и управление ресурсами,
- исследование продовольственного потенциала и таких процессов, как нарушение углеродного баланса и изменение климата.

На международном уровне мировые леса рассматриваются как первичный источник древесины и недревесных продуктов, а также весомых и невосполнимых полезностей. Столь же, если не более, важны леса как преобладающая составная часть биосферы, обуславливающая ее биологическую продуктивность. Глобальные выходы включают в себя биологическое разнообразие, санитарное состояние и охрану лесов, круговорот углерода и изменение климата, а также водный круговорот.

На втором уровне - при инвентаризации национальных лесов предметом первоочередной заботы является непрерывное пользование лесными ресурсами в стране. Наиболее важными показателями являются лесная площадь и ее изменение, а также баланс между оценками сокращения и прироста лесных ресурсов. Должны исследоваться также изменения в почвах, санитарном состоянии лесов и т.д., чтобы обеспечить лесопользование на будущее.

- 12 -

Третий уровень оценки потребности в информации - локальный, т.е. осуществляемый в пределах какой-то части страны, наиболее часто необходимый для обеспечения лесопродукцией. Здесь наиболее часто потребности в информации концентрируются на растительном покрове, схеме землепользования, кадастровой оценке лесных земель, качественной оценке почв и других характеристиках, необходимых в планировании использования земель под влиянием антропогенной нагрузки. Учитывается также социальная среда и локальные культурные проблемы.

Различные подходы к мониторингу требуют разной информации, поэтому перечень необходимых показателей может варьировать от проекта к проекту. С учетом нынешней глобальной ситуации, первоочередное значение на всех уровнях мониторинга имеют: размер лесного покрова, продукция фитомассы для оценки накопления и изъятия углерода, темпы изменений в лесных площадях, качественное и санитарное состояние лесов (табл. I).

I.1.2. Виды мониторинга.

Различают мониторинг (табл. 2):

- покрова земли или землепользования (для управления земельными ресурсами),
- лесных ресурсов (для производства лесопродукции),
- фитомассы (для энергетического использования или контроля баланса углерода),
- качества окружающей среды (для управления экосистемами).

При мониторинге покрова земли представляет интерес общая площадь, ее нынешнее использование, растительный покров и его потенциал, если предполагается изменение структуры землепользования. Лесное хозяйство - лишь один из пользователей.

При мониторинге лесных ресурсов и мониторинге фитомассы учитывается практически один и тот же набор показателей, хотя традиционная инвентаризация стволовой древесины отличается от оценки фитомассы. При инвентаризации фитомассы, например, крон и корней древостоев, подлеска, кустарника и других видов недревесной растительности, требуются специальные подходы. Дополнительно к данным о древесных запасах или фитомассе учи-

Информация, необходимая на различных уровнях мониторинга лесов. Составные элементы (показатели) проекта: xxx - крайне важные, xx - средней важности и x - отчасти важные.

Показатели	Степень важности показателя на разных уровнях мониторинга		
	локальный (сырьевая оценка)	национальный (инвентаризация лесов)	глобальный
Целевое землепользование	xxx	xxx	xxx
Вид покрова земли	xxx	xxx	xxx
Деградация территории	xxx	xxx	xx
Тип местообитания	xxx	xxx	xx
Тип почв	xxx	xxx	xx
Топография	xxx	xx	xx
Вид собственности	xxx	xx	x
Доступность	xxx	xx	x
Фитомасса	xxx	xxx	xxx
Запас стволовой древесины	xxx	xxx	xx
Прочие лесные продукты	xxx	xxx	x
Биологическое разнообразие	xx	xxx	xxx
Санитарное состояние лесов	xxx	xxx	xxx
Дикая фауна	xxx	xx	x
Антропогенное воздействие	xxx	xx	xx
Водоразделы	xx	xx	xx

тывается масштаб и направление изменений запасов и прироста, темпов сведения и деградации лесов. Необходимо также знать причины изменений (пожары, лесозаготовки, браконьерство, смена породы или видового состава, антропогенное воздействие).

Мониторинг качества окружающей среды включает общее и санитарное состояние экосистемы, биологическое разнообразие растительного покрова и взаимосвязь последнего с другими экосистемами. При оценке качества окружающей среды могут быть использованы специальные биоиндикаторы.

Однако, названные виды мониторинга редко применяются в чистом виде, часто мониторинг объединяет сбор данных для нескольких целей одновременно.

Таблица 2

Данные, необходимые для мониторинга покрова земли, лесов, фитомассы и качества среды; х - необходимый показатель.

Показатели	Покров земли	Лес	Фито-масса	Качество среды
Идентификация положения пробной площади:				
координаты	х	х	х	х
высота над уровнем моря	х	х	х	х
экспозиция	х	х	х	х
положение на склоне	х	х	х	х
год наблюдений	х	х	х	х
Классификация площади:				
класс землепользования	х	х	х	х
класс покрова земли	х	х	х	х
тип растительности	х	х	х	х
сомкнутость крон	х	х	х	х
нарушение древостоя		х	х	
Характеристика дерева (растения):				
порода		х	х	х
высота дерева		х	х	х
диаметр на высоте груди (диаметр кроны)		х	х	х
возраст		х		
Характеристика ствола:				
размеры бревен		х		
качество сортиментов		х		
Характеристика кроны:				
диаметр кроны			х	х
длина кроны			х	х
площадь листовой поверхности			х	
степень охвоенности		х		х
Биоиндикаторы				х
Оценка повреждения		х		х
Дендрохронология				х
Растительность нижних ярусов		х	х	х
Химический состав листьев				х
Индикаторы продуктивности почв	х	х		х

1.1.3. Источники информации для мониторинга

Большая часть имеющейся информации дается в виде картографического материала, данных дистанционного зондирования данных наземных (полевых) изменений.

1.1.3.1. Картографический материал

Картографическим материалом охвачена большая часть территории земного шара. Хотя масштаб, датировка и содержание карт может варьировать, они дают основу для планирования работ по мониторингу.

Большинство изображений, несущих географическую информацию, имеет то преимущество, что они довольно стабильны, как например, реки, озера, контурные линии. Другие объекты, например, лесопокрываемые площади, дороги и населенные пункты, могут менять очертания в более короткие промежутки времени. Картографические материалы могут быть задействованы в планировании мониторинга, особенно при анализе его данных.

Процедура анализа данных на простейшем уровне включает составление и сопоставление специальных карт. Такой анализ может быть выполнен вручную или более эффективно, с использованием компьютера. Компьютерная технология геоинформационных систем (ГИС), обеспечивает лучшую возможность анализа картографических материалов. Характеристики мониторинга могут включаться в различные базы данных, а для лесохозяйственных целей могут обрабатываться как отдельные уровни информации.

Наземные данные и данные дистанционного зондирования лесов могут быть объединены в рамках существующей системы мониторинга. ГИС обеспечивает многие полезные функции, в частности:

- объединение карт (информация с карт различных масштабов, проекций и легенд может быть объединена),
- наложение карт (например, данные дистанционного зондирования могут быть наложены на лесную тематическую карту),
- пространственный анализ.

1.1.3.2. Данные дистанционного зондирования

Установки и сенсоры для дистанционного зондирования варьируют от обратных спутниковых изображений AVHRR с разрешением 4 км до ручных видеокамер на летательных аппаратах с разрешением менее 1 м.

Для получения дистанционных изображений применяются следующие приборы:

- фотокамеры с различными наборами оптических фильтров,
- видеокамеры (иногда с наборами фильтров),
- сканирующие устройства, дающие изображения на нескольких частотах одновременно, зондирующие поверхность объекта повторными полосами в диапазоне частот от видимой до инфракрасной областей спектра,
- радарные системы, работающие в микроволновой части электромагнитного спектра в активном режиме - облучения исследуемой поверхности и приема отраженной энергии,
- лазерные устройства.

При любом виде дистанционного зондирования обеспечивается информация по:

- датировке объекта и методам калибровки,
- используемым областям спектра и сенсорам, включая всю процедуру обработки данных.

Аэрофотоснимки

Аэроснимки в сравнении с наземными наблюдениями предполагают наличие синоптической видимости больших лесных площадей. С одной стороны, они дают высокую разрешающую способность и возможность детального анализа, а с другой - дают возможность исследовать труднодоступные территории, где полевые наблюдения требуют большого материально-технического обеспечения и создают климатические, экологические или политические проблемы.

Аэрофотоснимки дают некоторые преимущества:

- широкий диапазон съемки в видимой и инфракрасной областях спектра и высокий уровень технологии наряду с широким вы-

- бором высоты полета, что обеспечивает разнообразие масштабов изображений (от очень крупных с высокой разрешающей способностью до мелких для целей общего распознавания),
- сравнительно низкие затраты на съемку,
- не требуется сложной техники для обработки,
- дают реальную информацию об объекте и возможность интерпретации природного процесса,
- измерительная достоверность и возможность точных измерений,
- возможность получения стереоскопических изображений.

Дешифрирование аэрофотоснимков дает возможность распознавания и картирования различных типов лесной растительности, а также мониторинга, оценки ущерба и состояния экологических стрессов.

В зависимости от вида съемок, для получения характеристик исследуемых лесов должен быть подобран соответствующий масштаб. Масштабы менее 1:30000 могут быть использованы для регионального картирования, а масштабы от 1:30000 до 1:10000 - для детального картирования лесов, а также для дешифрирования типов лесной растительности и оценки ущерба (поражения). Масштабы более 1:10000 используются для очень детального мониторинга и картирования, включая оценку отдельных деревьев.

Спутниковая информация

Для съемки на континентальном уровне наиболее эффективны по затратам и обеспечивают приемлемую точность данные системы AVHRR с 1-километровым разрешением и суточной периодичностью. С использованием данных LAC с 1-километровым разрешением возможна классификация по укрупненным показателям (например, существующие типы растительности, лесная/нелесная площади) в масштабе 1:500000 и мельче.

Для лесного мониторинга и общих изображений сельскохозяйственных площадей рекомендуются спутниковые системы Landsat и SPOT. Landsat MSS имеет то преимущество, что представляет наиболее старую спутниковую информацию для оценки характеристик территорий и дает возможность ретроспективного дешифрирования снимков, начиная с 1972 года. Landsat принимает

широкий спектральный диапазон с 7 каналами, SPOT дает наилучшее пространственное разрешение в цифровой спутниковой информации.

Эти спутниковые системы регистрируют изображение в оптическом диапазоне электромагнитного спектра, и наличие облачности является главной помехой получения информации. Однако микроволновые (радарные) спутниковые системы, как существующие (ERS-1, JERS-1, ALMAZ), так и будущие (RADARSAT) могут оказаться очень эффективным средством для мониторинга лесов.

Основные преимущества спутниковой информации:

- частая повторяемость изображений земной поверхности,
- цифровой формат, что дает возможность автоматизировать дешифровку данных,
- нормируемые и контролируемые измерения во времени и пространстве,
- низкие затраты на единицу снимаемой поверхности.

Основные спутниковые операторы (такие как NOAA, SPOT, NASA, ESA) обеспечивают непрерывность спутниковой информации и имеется определенная уверенность в том, что будущие спутниковые системы (например, Landsat, SPOT или ERS) также обеспечат непрерывность данных. Появятся и новые спутники (например, ODEOS, Radarsat), что обеспечит новую и дополнительную информацию.

Стоимость спутниковой информации для целей глобального отслеживания изменений в настоящее время находится в центре внимания многих стран, и предполагается (по крайней мере в США) сделать информацию для этих целей доступной при сниженных затратах.

Обработка спутниковой информации включает подготовительный этап, в ходе которого проводятся необходимые радиометрические и геометрические коррекции, а также цифровая, визуальная или совмещенная (гибридная) классификация изображений.

Планы на будущее

- I. Учитывать ограничения сенсоров в развитии систем классификации, определений классов и описаний.

2. Предлагать данные в гео-скорректированном формате. Важнейшую часть процедуры дистанционного зондирования составляет подготовка данных для обработки. Это должно выполняться региональными центрами (радиометрические и геометрические коррекции и геокодирование и реструктурирование стандартной проекции). В файле должны быть точки наземного контроля. Должен быть каталог вспомогательных данных, сопровождающих данные изображений.
3. Собирать информацию, обеспечивая возможность ее реформатирования в Систему Классификации Лесных Площадей ФАО.
4. Обеспечить сбор общих данных, дающих возможность более эффективной калибровки данных дистанционного зондирования. Могут сравниться различные подходы и методы дешифрирования с использованием хорошо оформленных полевых данных в сочетании с соответствующими данными дистанционного зондирования. Эти комплекты данных дистанционного зондирования и полевых данных должны быть в базах общего пользования, например, в ведении ФАО или Программы по Окружающей Среде ООН (ЮНЕП).

I.1.3.3. Полевая информация

Для успешного международного мониторинга необходимо сочетать данные дистанционного зондирования с данными пробных площадей. Поэтому необходимы рекомендации как для проведения дистанционного зондирования, так и для закладки пробных площадей. Данные дистанционного зондирования используются для картографирования и мониторинга больших площадей. Выборочная информация (как по дистанционному зондированию, так и по наземной инвентаризации) необходима для:

- калибровки данных зондирования (тренировка, оценка точности результатов),
- сбора данных, которые невозможно получить с помощью картографического материала и с использованием сенсоров (обычно это данные о фитомассе и состоянии лесных объектов),
- обеспечения основы для научных исследований и построения моделей.

Полевая информация (в чистом виде или в сочетании с дистанционным зондированием) является существенной составляющей при проведении любой лесоинвентаризации и при картографировании. Необходимые данные могут быть получены со всей интересующей площади, но чаще используются некоторые ключевые (пробные) ее участки.

Основные направления использования пробных площадей:

- а) инвентаризация и мониторинг лесов:
 - в качестве самостоятельных пробных площадей или
 - в сочетании с данными дистанционного зондирования;
- б) исследование роста и продуктивности лесных экосистем.

В соответствии с целевым назначением обычно оптимизируется тип и способ закладки пробной площади. Однако при совмещении полевой информации с данными зондирования вполне применимы пробные площади, заложенные, например, для изучения роста и продуктивности древостоев.

Конфигурация пробных площадей

Пробная площадь - это некоторый участок земной поверхности, имеющий определенные границы или точку привязки. Она может быть малой и большой, круговой или прямоугольной в зависимости от типа растительности, таксационных традиций и направления использования данных. Пробные площади могут образовывать кластеры (наборы) или быть независимыми.

Пробная площадь может быть временной или постоянной, в зависимости от того, проводятся или не проводятся на ней повторные измерения. Временные пробные площади обмеряются лишь однажды и возможность повторного визита для выявления произошедших изменений не предусматривается.

Постоянная пробная площадь:

- закладывается, обозначается и оформляется таким образом, чтобы повторные обмеры проводились в тех же границах и на том же объекте, и
- имеет план проведения повторных измерений.

Размер и форма пробной площади зависят от условий произрастания, например, от ее доступности, лесорастительных усло-

вий и размеров деревьев. Однако распознать пробную площадь при дистанционном зондировании значительно легче, если ее размеры достаточно велики. Поэтому при комбинированном использовании пробных площадей и данных дистанционного зондирования рекомендуется размер пробной площади больший, чем при использовании только пробных площадей.

Для привязки спутниковой информации к наземным условиям всегда нужны полевые данные. Если ставится цель проследить изменения условий произрастания, необходимы постоянные пробные площади с повторными измерениями. Вся полевая информация должна привязываться к определенным координатам.

I.1.4. План выборочного учета

Для инвентаризации и мониторинга лесов план выборочного учета является вопросом чрезвычайной важности. Цель выборочного учета - обеспечить эффективный сбор данных при приемлемых затратах и надежности информации.

Мониторинг может осуществляться с использованием двух основных методов:

- а) проведение исследований в различные моменты времени на независимых выборках, фиксируя произошедшие изменения как разность результатов;
- б) использование одних и тех же выборочных единиц в различные моменты времени, устанавливая произошедшие изменения по разности результатов между повторами.

Преимущество второго метода (периодические измерения на одних и тех же пробных площадях) очевидно, поскольку при оценке изменений ошибки выборки (отклонения по ее репрезентативности) имеют один и тот же знак и таким образом дают более достоверный результат.

Оценка изменений по второму методу проводится на площадях, называемых единицами мониторинга (monitoring units), которые формируются из выборочных единиц определенной стадии в многостадийном выборочном учете.

1.1. Стадии выборочного учета

Первая стадия в планировании процедуры выборочного учета - обозначение границ интересующей генеральной совокупности в соответствии с типом единицы выборочного учета. Если выборка представлена пробными площадями, генеральная совокупность называется как большое количество равноудаленных пробных площадей. Если используются выделы, то генеральная совокупность представляет набор всех выделов в пределах интересующей территории. С научной точки зрения использование пробных площадей более предпочтительно, поскольку границы между соседними выделами обычно размыты и их установление несет элементы субъективизма. Тем не менее, в практическом смысле выделение однородных единиц растительного покрова, т.е. выделов или биотопов, часто бывает привлекательным, особенно когда выделы или другие однородные единицы можно отсортировать с использованием дистанционного зондирования.

Вторая стадия - проверка наличия информации по интересующей генеральной совокупности. Приемлемую основу для стратификации объекта могут обеспечить спутниковые изображения (NOAA, Landsat, SPOT и др.), аэрофотоснимки или карты растительности.

Третья стадия - принятие решения о плане инвентаризации и мониторинга с допускаемой ошибкой выборочного учета. Принимаются во внимание также ошибки измерений и моделирования.

1.1.4.2. Стратификация объекта

Стратификация является мощным средством повышения эффективности инвентаризации и мониторинга лесов. Суть ее состоит в объединении в одни и те же страты выборочных единиц, сходных по своим данным. Объем понятия страта обычно устанавливается на основе полевых измерений. Чем меньше варьирование показателей в пределах страты, тем меньше требуется пробных площадей для достижения заданной точности.

Имеются две разновидности стратификации: географическая и стратификация выборочных единиц в пределах данной террито-

рии или географического страта.

Географическая стратификация проводится на основе картографического материала, иногда с привлечением данных дистанционного зондирования. Например, страна, экофлористическая зона, защитная или резервная территория, регион, тяготеющий к транспортным путям, могут быть отнесены к различным стратам. Эффективность оценки повышается при использовании постоянных пробных площадей, когда они предварительно распределяются таким образом, чтобы наиболее высокая интенсивность выборочного учета соответствовала стратам или регионам с наибольшей вероятностью предполагаемых экологических изменений.

При другой разновидности - стратификации пробных площадей - для каждой пробной площади требуется вспомогательная или предварительная исходная информация, с использованием которой эти выборочные единицы (sample units) объединяются в однородные страты. Часто, но не всегда, есть смысл проводить такую стратификацию по географическим стратам.

1.1.4.3. Многостадийный и многофазный выборочный учет

Эти термины бывает трудно различить. При экстенсивной лесоинвентаризации могут присутствовать элементы обоих видов учета. Типичная для многостадийного учета ситуация, когда выборочные единицы сменяются по стадиям, тогда как при многофазном учете они остаются неизменными по фазам. Это можно проиллюстрировать примером (табл. 3).

Таблица 3

Пример схемы выборочного учета

Стадия или фаза	Исходный материал	В ы б о р о ч н а я е д и н и ц а	
		многостадийный учет	многофазный учет
1.	Спутниковая информация	Спутниковое изображение	Полевой кластер (набор пробных площадей)
2.	Аэрофотосъемка	Фотоснимок	Полевой кластер
3.	Полевые измерения	Полевой кластер	Полевой кластер

Многостадийный выборочный учет

Многостадийный выборочный учет может использоваться по нескольким различным вариантам. Допустим, что применяется стратификация. Вначале спутниковые изображения стратифицируются или ранжируются по приоритету применительно к инвентаризации. Затем некоторые из них отбираются для более детального изучения на аэрофотоснимках. Последние опять стратифицируются и некоторые из них отбираются для проведения полевых измерений. Более детально эти стадии можно показать на примере.

Стадия I.

- а) Деление общей площади на форматы спутниковых изображений; пусть их число равно n_1 .
- б) Получение спутниковых изображений для всех или какой-то части форматов n_1 . Предположим, что получено n_1 спутниковых изображений, представляющих страты, обозначаемые индексом n .
- в) Деление n_1 спутниковых форматов на n_2 аэрофотоформатов, или единиц второй стадии.
- г) Стратификация n_2 аэрофотоформатов по спутниковым изображениям на страты, обозначаемые индексом n_1 .

Стадия 2.

- а) Составление подвыборки n_2 из всех n_2 аэрофотоформатов для их аэрофотосъемки.
- б) Подбор аэрофотоснимков для составленной подвыборки аэрофотоформатов n_2 .
- в) Деление n_2 аэрофотоформатов на n_3 потенциальных полевых кластеров, или единиц третьей стадии.
- г) Стратификация n_3 полевых кластеров путем дешифрирования аэроснимков на страты, обозначаемые индексом n_1 .

Стадия 3.

- а) Составление подвыборки n_3 из n_3 полевых кластеров.
- б) Отбор каждого из n_3 полевых кластеров по схеме кластера (часто более предпочтителен систематический отбор).
- в) Проведение измерений на всех полевых кластерах.

- г) Расчет фактических наземных данных для каждого полевого кластера.

Вес фактического измеренного наземного показателя (например, запаса стволовой древесины, $m^3/га$, или доли лесопокрытой площади) для выборочной единицы uni_j при расчете показателей всей генеральной совокупности представляет обратную величину от произведения компонентов выборочного учета: $n_1h/n_1h \times n_2h_1/n_2h_1 \times n_3h_{1j}/n_3h_{1j}$.

Многофазный выборочный учет

Многофазный выборочный учет отличается от многостадийного тем, что единицы учета на всех уровнях одни и те же. Применительно к приведенному выше примеру (табл. 3) это могут быть полевые кластеры. По аналогии с многостадийным учетом получаем следующий перечень фаз и операций.

Фаза I.

- а) Деление общей площади на единицы равного размера, представляющие площадь полевого кластера. Количество этих единиц, скажем n_1 , может быть очень большим. Они хорошо обозначаются картами и координатными системами.
- б) Получение спутниковых изображений на все или только часть единиц n_1 . Предположим, что для n_1 единиц получены спутниковые изображения.
- в) Стратификация n_1 единиц по спутниковому изображению на однородные страты с получением n_1h единиц в страте h .

Фаза 2.

- а) Составление подвыборки n_2 из n_1 единиц с получением n_2h единиц из страты h .
- б) Получение аэрофотоснимков для подвыборки n_2 . Из практических соображений подвыборка должна быть географически сконцентрирована с целью рационализации работы по аэрофотосъемке, дешифрированию фотоснимков и особенно по полевым измерениям.
- в) По единицам второй фазы n_2 дешифрирование на аэроснимках

тех показателей, которые находятся в тесной корреляции с показателями, наиболее важными для инвентаризации и мониторинга лесов.

- г) На основе дешифрирования аэроснимков стратификация n_2 единиц в однородные страты U_2h_1 .

Фаза 3.

- Составление выборки необходимого количества (n_3h_{ij}) единиц каждого страта (U_2h_1) второй фазы для полевых измерений. Здесь также важно предусмотреть географическую концентрацию n_3 полевых единиц во избежание больших затрат на передвижение.
- Полевые измерения всех показателей, которые являются важными для лесоинвентаризации и мониторинга.
- Расчет фактических наземных данных для каждой единицы U_1h_{ij} : например, среднего запаса, $m^3/га$, или доли лесной площади.

Обозначим фактические наземные данные, полученные на страте U_1h_1 , индексом u_{h1} . Это будет матрица полевых данных, полученных с n_3h_1 полевых кластеров. Все выборочные единицы страта U_1h_1 , дешифрированные по аэроснимкам, могут быть обеспечены полевыми данными u_{h1} . Это означает, что все n_2 выборочных единиц второй фазы могут быть обеспечены данными полевых измерений.

Поскольку все единицы второй фазы имеют фактические наземные данные, можно перенести данные с n_2 единиц второй фазы на n_1 единиц первой фазы через страты U_h . Единицы, относящиеся к одному и тому же страту, получают одинаковые значения наземных показателей. Поэтому при необходимости все n_1 единиц второй фазы могут быть обеспечены самостоятельными значениями наземных показателей. Это придает инвентаризации и мониторингу любой выборки генеральной совокупности достаточную гибкость.

В случае мониторинга экологических изменений все или отдельные стадии или фазы периодически обеспечиваются новыми данными. Сравнение новых и прежних материалов дистанционного зондирования дает возможность проведения стратификации на

основе экологических изменений, т.е. эффективного мониторинга страт для инвентаризации сведения лесов или их деградации.

I.I.4.4. Целевой, или нестатистический выборочный учет

При планировании инвентаризации и управления лесами обычно более предпочтительны строгие статистические процедуры. Однако как исключение может использоваться систематический выборочный учет, более практичный и эффективный по сравнению с рандомизированной выборкой, хотя такие результаты имеют подтверждения статистической надежности.

Иногда мы не имеем возможности для сбора полевых данных объективным методом. Однако некоторые измерения можно провести вблизи путей транспорта. В комбинации с картой лесов и со спутниковой информацией даже такие измерения лучше, чем ничего. Путем целевой выборки можно обеспечить полевыми данными каждый страт. При этом могут использоваться пробные площади, заложенные для других целей, например, для изучения роста и продуктивности древостоев.

I.I.4.5. Общие аспекты

Вся информация в пределах площади инвентаризации и мониторинга должна быть упорядочена в координатной и привязанной системе. С этой точки зрения вся информация теоретически отвечает требованиям постоянной пробной площади. Важно подчеркнуть особую важность точности территориальной привязки получаемых данных.

Роль пробных площадей, обмеренных в поле, очень важна. Необходимы пробные площади, равномерно представляющие генеральную совокупность в целом как географически, так и по стратам (пропорциональное размещение пробных площадей) в масштабах географического страта.

Постоянные пробные площади необходимы при мониторинге экологических изменений, т.е. инвентаризации динамики лесов. Для точной привязки постоянных пробных площадей рекомендуются глобальные системы определения их местоположения. При этом

мониторинге роста и отпада деревьев необходимо их картирование, при котором в полярных координатах измеряются направление и расстояние деревьев от центральной точки. Размещение пробных площадей должно быть географически равномерное и в то же время не должны быть велики транспортные расходы при проведении измерений. Поэтому обычно используются кластеры (территориальные группировки) пробных площадей.

В целом, оценки, выполненные на основе точных научных методов, более надежны и обладают большим доверием у пользователей. Лучше иметь несколько надежных пробных площадей, чем большое количество ненадежных. Информация используется учеными, имеющими представление о статистической точности и применяющими оценки точности при интерпретации своих научных результатов.

I.1.5. Построение инфраструктуры мониторинга

I.1.5.1. Структура и организация мониторинга

Глобальная база данных основывается на структурах национального уровня, которые могут быть объединены на планетарном уровне. Основные составляющие этих структур имеются сегодня во многих регионах мира, как в развитых, так и в развивающихся странах. Международные организации могут помочь в проведении мониторинга регионам, не имеющим достаточной поддержки на национальном уровне. Цель международного мониторинга - обеспечить поддержку и помощь этим странам в развитии своей национальной структуры для мониторинга лесов.

Ученые, государства и организации, участвующие в мониторинге лесов, должны:

- оказывать благотворительную помощь в проведении мониторинга, особенно в развивающихся странах,
- оказывать поддержку правительствам и национальным организациям,
- содействовать координации и стандартизации технологий дистанционного зондирования лесов,
- обеспечивать лучшее взаимодействие и координацию усилий ученых, государств, организаций и благотворительных фондов,

- осознавать важность наличия текущей информации о лесных ресурсах и банка данных, составляемого международной организацией для поиска и коррекции нужной информации,
- изыскивать новые источники поддержки лесоводственных исследований.

ФАО и ЮНЕП по существу являются организациями, функционально предназначенными для координации и осуществления деятельности, связанной с глобальным ресурсным мониторингом. Международные организации должны взаимодействовать с государствами-участниками и другими организациями, обеспечивающими вклад в региональный и глобальный мониторинг.

Все страны должны иметь одинаковый доступ к новой технологии и информации. Необходимо стажировка участников, особенно в развивающихся странах. Особое внимание должно уделяться обеспечению потоков информации в двух направлениях: от международных организаций - к странам-участницам, ученым и ответственным чиновникам и обратно. Для обеспечения информационных потоков необходимо разрабатывать новые и совершенствовать существующие базы данных, обобщающие глобальную, региональную и национальную информацию о лесном покрове.

I.1.5.2. План мониторинга

Для проведения мониторинга необходимо составить его план, включающий:

- 1) полномочия (юридические мандаты и уставы, согласно которым организация будет выполнять программу мониторинга);
- 2) стратегию (общие принципы организации мониторинга);
- 3) цели (разработка целей путем оценки потребности в информации);
- 4) обязанности и инфраструктуру (положение о том, кто выполняет работу, когда и в какой последовательности);
- 5) определение терминов, ссылок и источников информации (разработка общих стандартов для сбора данных и для обобщения сопоставимых результатов);
- 6) план выборочного учета (включает интенсивность выборки, план и конфигурацию пробных площадей в соответствии с целями мониторинга);

применение или наблюдаемые показатели (включают стандарты, деления и кодировки);

методику полевых работ (порядок привязки, оформления и обеспечения сохранности пробных площадей, методика измерений, порядок записи данных и заполнения полевых форм и порядок закладки и повторных измерений на пробных площадках);

порядок подготовки и анализа данных (как использовать данные для выполнения поставленных целей, выполнять статистическую обработку и оформлять отчетность);

финансовые потребности и источники финансирования закладки и повторных измерений на пробных площадках;

утверждение составленного плана (экземпляр утвержденного плана направляется в координирующую организацию).

Национальные и международные организации должны иметь сведения о необходимой финансовой и юридической поддержке лесного мониторинга. Перечень некоторых контактных агентств имеется в Руководстве по грантам и стипендиям Лесной Службы США.

1.2. Основные положения лесного мониторинга в России

В настоящее время в лесном хозяйстве России осознана необходимость интеграции собираемой информации об изменениях состояния лесного фонда в единую информационно-поисковую систему на основе компьютерной информационной технологии. Концепция информатизации лесного хозяйства была разработана в 1990 году ВНИИЛесресурсом (Концепция..., 1990). Для реализации единой научно-технической политики в области мониторинга лесов России постановлением коллегии Федеральной Службы лесного хозяйства России от 21 октября 1993 года № 10 утверждены "Основные положения лесного мониторинга в России", направленные на объединение различных видов наблюдений в единую систему лесного мониторинга на локальном, региональном и федеральном уровнях. Предложена система лесного мониторинга для регистрации текущих изменений в состоянии лесного фонда России, связанных с лесопользованием, пожарами, загрязнением

природной среды и изменениями структуры землевладения при переходе к рыночной экономике.

1.2.1. Общие положения

В соответствии со ст. 78 "Основ лесного законодательства Российской Федерации", соответствующими статьями законов Российской Федерации об охране окружающей природной среды и земельным законодательством, лесной мониторинг является информационной системой, необходимой для обеспечения государственных интересов в области управления лесами, включая охрану лесов и рациональное использование лесных ресурсов. Такая информационная система должна дать возможность оперативного слежения за изменениями состояния лесов, вызванных лесопользованием, природными и техногенными воздействиями, а также регистрации и анализа поступающей информации.

В лесном хозяйстве России существует система наблюдений за санитарным состоянием лесов, ежегодно составляются обзоры, базовую информацию для которых предоставляют Государственная лесная охрана, лесоустроительные экспедиции и специальные лесопатологические обследования. В научно-исследовательских учреждениях и лесоустроительных предприятиях накоплен опыт слежения и контроля состояния насаждений с применением как наземных, так и дистанционных методов, и ресурсной оценки лесного фонда. Осваиваются современные методы автоматического дешифрирования аэрокосмической информации и применения технологий ГИС.

Тем не менее, органы управления лесным хозяйством России, особенно федерального и регионального уровней, испытывают значительные трудности в оперативном управлении лесами, так как не обладают систематизированной информацией о произошедших изменениях в состоянии лесного фонда после последнего во времени лесоустройства.

1.2.2. Цели лесного мониторинга

Организация лесного мониторинга в России преследует следующие цели:

1) Выполнение обязательств России по участию в европейской

системе мониторинга за состоянием лесов на территориях России, входящих в 500-километровую зону вдоль границ бывшего СССР, на основе методики ЕЭК-ООН.

- 2). Обеспечение информационными потоками блока лесного мониторинга в Единой государственной системе экологического мониторинга России.
- 3). Регистрация текущих изменений состояния лесного фонда России, анализ и прогнозирование состояния лесного фонда и динамики его основных характеристик.
- 4). Обеспечение оперативного контроля за состоянием лесного фонда, информационная поддержка вырабатываемых решений по ведению лесного хозяйства в условиях рынка и изменения окружающей среды для всех уровней управления лесами.

1.2.3. Организационная структура лесного мониторинга

Основным структурным звеном осуществления лесного мониторинга являются лесничество и лесхоз. Организационная структура лесного мониторинга базируется на трех вертикальных уровнях управления лесами: федеральном (национальном), региональном, локальном.

Федеральный уровень лесного мониторинга создает и поддерживает в функционирующем состоянии единую пространственно-распределенную (с региональными центрами) информационную систему по оперативной регистрации текущих изменений в состоянии лесного фонда России для обеспечения функций государственного управления лесами.

Региональный уровень лесного мониторинга использует существующую систему получения информации об изменениях лесного фонда региона (республика, край, область) на основе наземных и дистанционных методов силами Государственной лесной охраны, лесоустроительных экспедиций и специальных видов обследований лесов.

Локальный уровень лесного мониторинга использует работников Государственной лесной охраны для получения оперативной информации о текущих изменениях в состоянии лесного фонда лесничества и лесхоза.

В табл. 4 дана схема распределения усилий между различными учреждениями и предприятиями системы Рослесхоза по проведению лесного мониторинга.

Таблица 4
Организационная структура лесного мониторинга России

Организация	Функции
1	2
<u>Федеральный уровень</u>	
Рослесхоз	Организация работ по лесному мониторингу в лесном фонде России
ВНИИЛесресурс	Координация, методическое, программное и картографическое обеспечение работ по лесному мониторингу, создание системы связи и дистанционных методов слежения за лесным фондом
НЦЛМ ВНИИЛесресурса	Выполнение работ по мониторингу состояния лесов по методике ЕЭК-ООН, сбор и обработка лесопатологической информации. Методическое и программное обеспечение лесопатологических обследований лесного фонда
<u>Региональный уровень</u>	
Территориальный орган управления лесами	Организация работ по лесному мониторингу на вверенной территории
Лесоустроительное предприятие	Организация системы сбора информации (наземной и дистанционной) о текущих изменениях в лесном фонде в межревизионный период, закладка сети ППН, заполнение и ведение базы данных
Отдел лесоустройства (мониторинга) при территориальном органе управления лесами	Сбор, обработка, агрегирование и передача информации на федеральный уровень

I	II	2
Группа полевых наблюдений отдела лесоустройства (мониторинга)		Получение исходных данных
<u>Локальный уровень</u>		
Лесхоз	Организация и выполнение работ по лесному мониторингу на вверенной территории, сбор и передача информации на региональный уровень	
Лесничество (Заповедник)	Проведение регулярных обходов и объездов вверенных участков лесного фонда, регистрация произошедших изменений, выполнение необходимых измерений	
Работники лесной охраны		
Инженер защиты и охраны леса (Егерь)	Сбор, агрегирование и отправка электронной почтой данных о состоянии лесного фонда	

1.2.4. Средства и методы ведения лесного мониторинга

В соответствии с организационной структурой лесного мониторинга средства его осуществления распределяются следующим образом:

- а) на локальном уровне - наземная система сбора информации о состоянии лесного фонда;
- б) на региональном уровне -
 - наземная система сбора информации о состоянии лесного фонда, лесоинвентаризационные, обследовательские и лесоустроительные работы, выполняемые учреждениями и предприятиями системы Рослесхоза;
 - комплекс средств получения и обработки данных дистанционного зондирования, позволяющий дополнить и обобщать данные наземного сбора информации о состоянии лесного фонда;
 - локальная вычислительная сеть с базами данных, информационно-поисковыми системами и ГИС;

в) на федеральном уровне -

- единая пространственно распределенная (с региональными центрами) информационная система по оперативной регистрации текущих изменений в состоянии лесного фонда России для обеспечения функций государственного управления лесами и для выполнения взятых международных обязательств России по охране лесов и защите биоразнообразия;
- комплекс средств получения и обработки данных дистанционного зондирования, позволяющий дополнять, обобщать и корректировать данные региональной информации;
- локальные вычислительные сети с базами данных, информационно-поисковыми, географическими, экологическими и экспертными информационными системами;
- конкретные приемы ведения лесного мониторинга, определяемые рамками отдельных функциональных направлений, функционирующих как самостоятельные подсистемы.

Предполагаются три основных метода ведения лесного мониторинга:

- а) экологический мониторинг с размещением сети пунктов постоянного наблюдения по узлам регулярной сети (по методике ЕЖ-00Н); ведется на землях лесного фонда России, попадающих в 500-километровую полосу вдоль западной границы бывшего СССР;
- б) комплексный мониторинг состояния лесного фонда с применением дистанционных методов наблюдения по всей площади и системы наземного контроля с выборочным размещением пунктов постоянного наблюдения (ППН) с учетом природных условий, факторов влияния, экологического и хозяйственного значения лесов; применяется в зоне интенсивного лесопользования и ведения лесного хозяйства, особо ценных и охраняемых лесах и лесах, подверженных неблагоприятным воздействиям;
- в) фондовый мониторинг состояния лесного фонда на эталонных участках, выбранных на основе ландшафтного подхода, с экстраполяцией полученных данных по материалам космической съемки; применяется в зоне резервных и притундровых лесов

на севере европейской части России, Сибири и Дальнего Востока. Выбор элементарной единицы наблюдения зависит от уровня агрегации информации, уровня затрат и возможностей технического обеспечения.

1.2.5. Организация и внедрение системы лесного мониторинга

При создании системы лесного мониторинга предполагается поэтапная организация работ (табл. 5).

Предполагается подготовка программ подсистем лесного мониторинга, разделенных как по уровням агрегации информации (лесхоз-область, область-федеральный уровень), так и по функциональным задачам (контроль хозяйственной деятельности, лесопатологический, лесопожарный и экологический мониторинг).

Практическое внедрение лесного мониторинга в России возлагается на Главное управление лесоустройства Рослесхоза, региональные управления лесами и ВНИИЛесресурс.

Главное управление лесоустройства обеспечивает организацию работ по поэтапному внедрению системы лесного мониторинга. Региональные управления лесами совместно с лесоустроительными предприятиями обеспечивают создание наземной системы сбора информации об изменениях состояния лесного фонда.

ВНИИЛесресурс обеспечивает:

- разработку методического и программного обеспечения лесного мониторинга;
- координацию ведения лесного мониторинга;
- подготовку и стажировку специалистов лесоустройства и лесного хозяйства для использования современных компьютерных технологий в системе лесного мониторинга; первый центр такой подготовки организуется на лесохозяйственном факультете УГЛТА;
- создание системы дистанционного получения и обработки информации о состоянии лесного фонда;
- сбор данных об изменениях состояния лесного фонда в целом по стране, их обобщение и обработку;
- выполнение работ по экологическому мониторингу на европейской части России по методике ЕЭК-ООН.

Таблица 5
Поэтапный план работ по организации лесного мониторинга в России

№ поз.	Наименование этапа	Исполнитель	Сроки выполнения, млн. рублей в год					Результат
			1	2	3	4	5	
1	1	1	1	2	3	4	5	6
1.	Разработка методического и программного обеспечения комплексного мониторинга на всей территории России, проведение районирования лесного фонда по целям и методам мониторинга	ВНИИЛесресурс	1993	1994	50	Методика, программное обеспечение, районирование		
2.	Организация наземной системы сбора информации о текущих изменениях лесов, лесных фондов - отдельных регионов России, выполнение работ по экологическому мониторингу вдоль западных границ бывшего СССР	Управления лесами, лесохозяйственные предприятия, ВНИИЛесресурс	100	Выполнение первых этапов организации лесного мониторинга и международных обязательств России по мониторингу и охране лесов				
3.	Оптно-производственная проверка методического и программного обеспечения комплексного и лесного мониторинга	Управления лесами, лесохозяйственные предприятия	1994-1995	200	Системы мониторинга конкретных объектов			

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6
	мониторинга России на объектах Кольского полуострова, Центра Рос- сии и Дальнего Востока ВНИИЛесресурс	ительные предприятия, ВНИИЛесресурс			
4.	Техническое обеспечение и органи- зации информационно-аналитической системы на ВНИИЛес- ресурсах (Мурманская, Московская, Кост- ромская, Тульская обл., Примор- ский и Хабаровский края)	Рослесхоз, 1994- 20 ВНИИЛес- ресурса	1995		Информационная система федерального уровня
5.	Техническое обеспечение системы мониторинга на всех уровнях (лес- ничество-лесхоз-региональный центр-федеральный центр); созда- ние сети пунктов постоянного ком- плексного и фонового мониторинга на всей территории России	Рослесхоз, 1996- ВНИИЛес- ресурс, лесо- устойчивые предприятия, управления лесами	Более 2000 500		Государственная систе- ма лесного мониторинга

Примечание: Стоимость работ дана в ценах III квартала 1993 года и в нее не включены затраты на приобретение необходимого технического оборудования.

2. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

2.1. Программа BIOME

Глобальная программа BIOME (BIOSpheric Mitigation and Evaluation - Биосферная компенсация и оценка) осуществляется Агентством по защите окружающей среды США, Корваллис, шт. Орегон, в течение 1992-1997 годов и включает в себя оценку:

- вариантов наземного биосферного контроля с целью снижения уровня атмосферного накопления "парниковых" газов,
- пригодности вариантов ведения лесного и сельского хозяйства,
- технологий переработки фитомассы на топливо для планетарного применения.

Цель программы BIOME - оценить, в какой мере лесные и агроэкосистемы могут быть приспособлены к связыванию атмосферного углерода и его консервации в лесной фитомассе, а также в какой степени ископаемые источники топлива могут быть заменены фитомассой с целью снижения уровня накопления в атмосфере "парниковых" газов. Иными словами, глобальная программа BIOME должна ответить на следующий принципиальный вопрос: можно ли повысить концентрации атмосферного CO₂ эффективно снизить или приостановить путем связывания его лесными и агроэкосистемами и путем замены ископаемого топлива фитомассой? (Global BIOME Program..., 1991).

Перечень вариантов наземного биосферного контроля по связыванию и консервации углерода в лесной фитомассе для биомов планеты и отдельно для США приведен в табл. 6.

Около 1/3 поверхности земной суши занято лесами. В наземной фитомассе на леса приходится около 66 % углерода суши и в подземной - примерно 45 %. Атмосферный углерод совершает круговорот через наземную биоту через каждые 7 лет, и на планетарные леса приходится около 90 % (90 Гт) атмосферно-наземного круговорота углерода ежегодно. Согласно табл. 6 потенциальный уровень глобальной компенсации содержания углерода в атмосфере составляет около 10 Гт в год, в том числе

Таблица 6

Потенциальный уровень глобальной биологической компенсации содержания углерода (надземной и подземной)

	США	Умеренная зона	Тропики	Бореальная зона
(Гт С/год)				
Связывание углерода:				
- облесение территорий	0,10	1,6	1,9	0,1
- агролесоводство	0,05	0,1	2,1	-
- лесовосстановление	0,05	0,2	0,9	0,4
- лесоводственные приемы	0,03	0,1	0,2	0,1
Консервация углерода:				
Сокращение сведения лесов	-	-	1,5	0,1
Приостановка аридизации	-	0,2	0,2	-
Контроль за сжиганием фитомассы	-	0,2	-	0,2
Итого	0,23	2,4	6,8	0,9

в тропиках, умеренной и бореальной зонах соответственно 70, 20 и 10 % (Global BIOME Program..., 1991).

Для связывания атмосферного CO₂ и компенсации его выделения могут быть использованы приемы ведения лесного хозяйства и утилизации фитомассы: облесение неудобных земель, расширение площадей под лесными культурами, озеленение урбанизированных территорий и замена ископаемого топлива фитомассой. Размеры таких компенсаций для условий США показаны на рис. 5.

Усилия по консервации направляются на сохранение углерода в наземной биосфере. Вырубка лесов в мировом масштабе идет со скоростью 20 га в минуту и превышает прирост фитомассы примерно в 20 раз. При таких темпах лесистость планеты будет снижаться со скоростью около 1 % в год и станет критической при лесистости территории около 20 % (Федоренко, Реймерс, 1983). Снижение темпов сведения лесов может законсервировать свыше 1 Гт углерода в год.

Агроэкосистемы содержат около 12 % мировых наземных запасов почвенного углерода, и консервация этих запасов

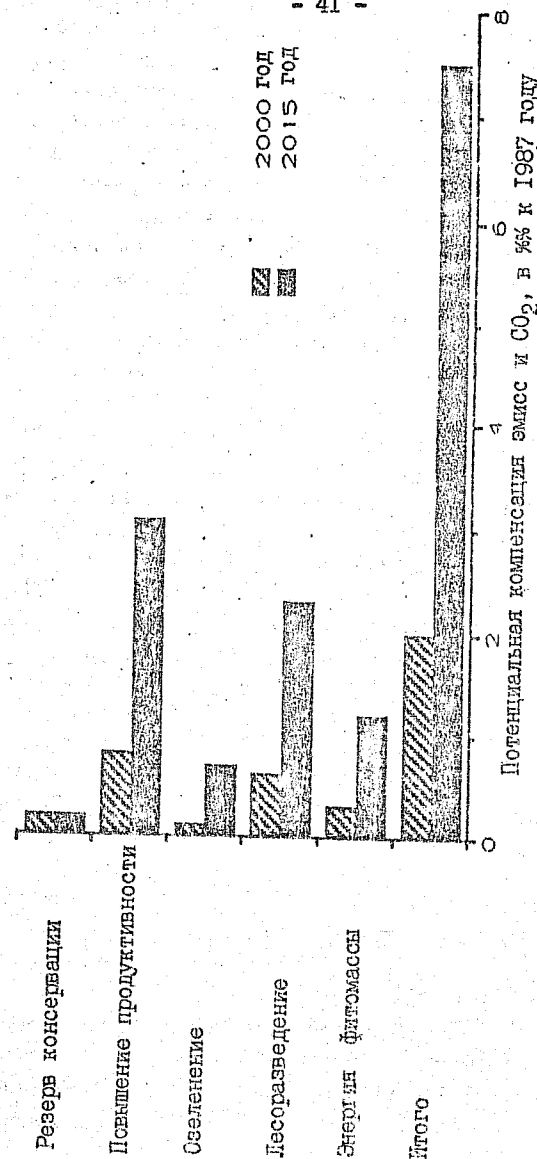


Рис. 5. Потенциальная компенсация эмиссии углерода лесоводственными приемами в США (Global BIOME Program..., 1991)

важна не только для снижения эмиссии CO_2 , но и для поддержания урожайности культур. Такие приемы, как щадящая обработка почвы, использование растительных отходов, применение органических удобрений и сапропели, севооборот с применением бобовых, способствуют консервации углерода в почве. Дополнительный эффект от использования этих агроприемов состоит в повышении водоудерживающей способности почвы и содержания элементов питания, улучшении физических свойств почв и снижении водной и ветровой эрозии. Стратегия консервации почвенного углерода в сельском хозяйстве во многом применима и к лесному хозяйству, и к агролесомелиорации.

Сжигание фитомассы дает 40 % мировой эмиссии CO_2 (Levine, 1991), или 50 % эмиссий от сжигания всех ее видов (Andrasko et al., 1991). На планетарном уровне общее количество ежегодно сжигаемой фитомассы составляет около 8,7 Гт сухого вещества (что дает в результате около 3,5 Гт CO_2), в том числе 3,7 Гт - от выжигания растительности саванны с целью повышения продуктивности ее кормовых угодий, 2,0 Гт - от сжигания отходов сельхозкультур, 1,4 Гт - от сжигания топливных дров и 1,6 Гт - в результате лесных пожаров (Levine, 1991). Другие оценки глобальной эмиссии CO_2 от сжигания фитомассы колеблются от 3,0 до 6,2 Гт/год (Crutzen, Andreae, 1990), в том числе от лесных пожаров - от 0,4 до 2,6 Гт/год (Tans et al., 1990). К.Вонг (Wong, 1978) дает значение эмиссии углерода от сжигания фитомассы 5,7 Гт/год, в том числе от лесных пожаров в бореальной и умеренной зоне 0,47 Гт/год. Г.Фанесток (Fahnestock, 1979) показал, что данные К.Вонга по эмиссии углерода вследствие лесных пожаров завышены примерно в 4 раза, поскольку они были получены в предположении полного сгорания лесной фитомассы. Г.Фанесток показал, что при верховых пожарах сгорает только хвоя, листва и ветви тоньше 6 мм, т.е. фракции фитомассы, составляющие лишь 8 % живой надземной фитомассы.

Бореальные леса России играют существенную роль в углеродном цикле планеты и составляют свыше 25 % мировых лесных ресурсов (Kolchugina, Vinson, 1993 а). Прямая и косвенная эмиссия CO_2 в результате лесных пожаров в России дости-

гает 0,33 Гт/год (Dixon, Krankina, 1993) и примерно равна количеству CO_2 , связываемому лесной растительностью - 0,41 Гт/год (Sedjo, 1992).

С целью сокращения эмиссии CO_2 вследствие сжигания ископаемого топлива как наиболее значительного антропогенного фактора исследуется потенциальная возможность замены некоторой его части энергией фитомассы. Использование фитомассы способствует также более интенсивному созданию лесных культур и агроэкосистем, которые будут усваивать и связывать CO_2 . Утилизация фитомассы является потенциально важнейшей частью программы BIOME, поскольку приемы ведения лесного и сельского хозяйства имеют ограниченные возможности, и накопленный наземный углерод в конце концов окажется в составе CO_2 в атмосфере. Проблема заключается в том, чтобы свести к минимуму бесполезное сжигание и разложение фитомассы и путем переработки ее в спирты подготовить экологически безопасный заменитель ископаемого топлива. Тем самым, поток CO_2 в атмосферу, имеющий место при бесполезном сжигании и разложении углеродсодержащей фитомассы, предварительно "пропускается" через двигатели внутреннего сгорания, котельные и т.д., а уровень снижения CO_2 в атмосфере в этом случае будет определяться количеством сэкономленного ископаемого топлива.

Для реализации программы BIOME проводится сбор данных по 16 ключевым странам, располагающим наиболее значительными лесными ресурсами. Эти страны представляют все континенты планеты в зонах бореальных, умеренных и тропических лесов, в том числе бореальная зона представлена двумя странами - Россией и Канадой. По ключевым странам и биомам рассчитываются балансы углерода, включая биогенные и антропогенные компоненты, и моделируются потоки его связывания и эмиссии с целью оценки вклада каждой страны (положительного или отрицательного) в общий углеродный баланс и выискивании договорных позиций по климатической конвенции.

Для прогноза предполагаемой интенсивности эмиссии CO_2 в атмосферу используются биогеохимические модели глобальных запасов и потоков углерода. Оценивается эффективность вари-

антов наземного биосферного контроля по снижению выбросов CO_2 в атмосферу. Для учета реакций наземной биосферы на предполагаемые климатические изменения и обратных связей используются модели общей циркуляции углерода, совмещенные с атмосферно-биосферными моделями. Привлекаются также модели экономических, социальных и экологических решений для оценки пользы-ущерба по вариантам глобального контроля.

2.2. Другие экологические программы

В настоящее время международным научным сообществом активно исследуется возможность климатических изменений и их экологические последствия. Одна из ключевых программ - Международная Геосферно-биосферная Программа IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) Международного Совета научных союзов. Ее разработка предполагает ответить на следующие вопросы (Kräuchi, 1993):

- 1) Как регулируется химический состав атмосферы и какова роль биологических процессов в продуцировании и потреблении рассеянных газов?
- 2) Как влияют и реагируют на изменения климата биогеохимические процессы мирового океана?
- 3) Как влияет изменение в землепользовании на биологические ресурсы прибрежной зоны и как повлияет изменение уровня моря на прибрежные экосистемы?
- 4) Как взаимодействует растительность с физическими процессами гидрологического цикла?
- 5) Как влияют глобальные климатические изменения на наземные экосистемы?
- 6) Какие существенные климатические и экологические изменения имели место в прошлом и каковы их причины?
- 7) Как интегрировать и синтезировать наши знания о компонентах биосферы на количественной основе с целью обеспечить возможность прогнозирования?

Для решения обозначенных проблем была начата разработка нескольких исследовательских программ. Среди них можно отметить две: Международный Проект глобального химического состава

ва атмосферы IGAC (International Global Atmospheric Chemistry Project) и проект "Глобальные изменения и наземные экосистемы" GOTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems Project). Первая имеет цель познать процессы, регулирующие биогеохимические взаимодействия между наземными и морскими компонентами биосферы и атмосферы и их роль в изменении климата. Вторая предполагает исследования в трех направлениях: изменения в физиологии экосистем, изменения в структуре экосистем и влияние глобальных изменений на сельское и лесное хозяйство.

Для получения научной информации, связанной с различными последствиями климатических изменений и для разработки реалистичных стратегий управления климатическими изменениями Международной Метеорологической Организацией и ЮНЕП в 1988 г. организована Межправительственная Комиссия по изменению климата IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Первый отчет IPCC (1990), подготовленный 170 учеными всего мира, был первой попыткой оценить все многообразие последствий увеличения концентрации "парниковых" газов в атмосфере. Следующий отчет IPCC (Houghton et al., 1992) включает обширный круг вопросов: анализ источников эмиссии и связывания "парниковых" газов, оценку воздействия на климат возрастающей солнечной радиации, обзор различных сценариев эмиссии CO_2 , моделирование и прогнозирование климатических изменений, проверку моделей и др.

Главная цель Программы исследований мирового климата WCRP (World Climate Research Programme) - определить, в какой мере предсказуемы краткосрочные климатические отклонения, и создать научную основу прогнозирования реакции планетарного климата на антропогенные воздействия. Программа поддерживается Международной Метеорологической Организацией и Международным Советом научных союзов.

Программа исследований бореальных экосистем и атмосферы BOREAS (Boreal Ecosystem - Atmosphere Study) представляет собой совместное исследование США и Канады, посвященное взаимодействию между биомом бореальных лесов и атмосферой и выяснению роли этих взаимодействующих компонентов в глобальных изменениях.

Советом по исследованиям природной среды Соединенного Королевства в 1991 году начата программа "Наземная инициатива по глобальному исследованию окружающей среды" TIGER (Terrestrial Initiative in Global Environmental Research), имеющая четыре основных раздела: наземный углеродный цикл, рассеянные "парниковые" газы, глобальные водный и энергетический балансы и воздействие климатических изменений на экосистемы. Эта программа связана с программой IGVR. Аналогичный проект - Национальная исследовательская программа "Изменение климата и природные катастрофы" (NFR 31) начата в 1992 году в Швейцарии.

Важным источником информации является Аналитический информационный центр по двуокиси углерода CBIC (Carbon Dioxide Information Analysis Center), расположенный в Отделе по изучению окружающей среды Национальной Лаборатории Оак Ридж и обеспечивающий информационную поддержку международным исследованиям экологических последствий увеличения атмосферного CO_2 , включая потенциальное изменение климата. CBIC основан в 1982 году Департаментом по энергии США с целью поддержки Исследовательской Программы по двуокиси углерода CDRP (Carbon Dioxide Research Program). Цель программы CDRP - обеспечивать научную информацию для формирования политики и правительственных мероприятий по поводу изменений концентрации атмосферного CO_2 . Основные направления программы CDRP:

- выяснить процессы, контролирующие глобальный углеродный цикл и обеспечивающие прогнозирование изменений концентрации атмосферного CO_2 в будущем;
- обеспечить информацию и моделирование процессов, благодаря которым изменения радиационного баланса Земли могут повлиять на климат, и предсказать темпы этих изменений;
- обеспечить информацию и модели, необходимые для определения и предсказания совмещенного воздействия климата и CO_2 на растения, культуры и экосистемы.

Международным сообществом финансируется и в Международном институте прикладного системного анализа (IIASA) в Австрии разрабатывается программа по оценке биологических ресурсов лесов бывшего СССР и их вкладу в углеродный баланс. При

этом не только оценивается влияние наземной биоты на углеродный баланс по всей территории бывшего СССР по состоянию на начало 1990-х годов, но и разработан сценарий возможного повышения количества связываемого углерода путем рационализации ведения лесного и сельского хозяйства в течение следующего столетия (Shvidenko et al., 1994). Реализация программы дает на сегодня наиболее детальные и систематизированные данные по запасам, отпаду и продуктивности фитомассы и ее вкладу в углеродный баланс лесных экосистем бывшего СССР.

Успешно завершён первый этап совместного российско-японского проекта "Накопление углерода и углеродный баланс в лесных экосистемах", разрабатываемого Исследовательским институтом лесоводства и лесных продуктов в Саппоро и Якутским институтом биологии РАН с целью выяснить роль сибирской тайги в изменении глобального углеродного баланса, а также влияние глобального потепления на лесные экосистемы в зоне вечной мерзлоты (Takahashi, 1994). Начиная с 1995 года к разработке этого проекта подключается Институт леса СО РАН в Красноярске.

В рамках проекта "Изучение лесных экосистем" ГНТИ ИГ "Глобальные изменения природной среды и климата" проводятся исследования по оценке депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России в Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН в Москве (Исаев и др., 1993).

Характерная черта всех проводимых исследований - отсутствие единой, достаточно достоверной и детальной базы данных о фитомассе и ее продуктивности как для мировых лесов, так и для лесов России, а также отсутствие единого, научно обоснованного методического подхода к проблеме, в результате чего оценки ежегодно связываемого лесной растительностью углерода разнятся на порядок и более: на планетарном уровне от 2 (Kiyuchi, 1993) до 10 Гт (Global..., 1991), а для лесов России и бывшего СССР - от 212 (Исаев и др., 1993) до 900 (Shvidenko et al., 1994) и даже 4360 млн. т. (Kolchugina, Vinson, 1993a). При таком разбросе данных возможность какого-либо прогнозирования экологической ситуации представляется сомнительной. Прежде всего, необходима достаточно надежная база данных о фитомассе лесов, разработанная на основе повсеместного банка лесоучетных данных о запасах стволовой древесины.

3. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗ ДАННЫХ О ФИТОМАССЕ ЛЕСОВ РОССИИ И СРЕДНЕЙ ЕВРОПЫ

3.1. Некоторые методические вопросы создания баз данных о фитомассе лесов.

3.1.1. Сводные таблицы и банки данных о фитомассе лесов

Исследования структуры и динамики фитомассы лесов России интенсивно ведутся с 30-х годов текущего столетия и имеют свою специфику. Это трудоемкость весового определения фракционного состава фитомассы, разнообразие структуры лесов и лесорастительных условий, неполный учет исследователями факторов, определяющих запас фитомассы и ее годичный прирост на 1 га, разнообразие применяемых методов, что в совокупности делает значительную часть полученного материала трудно сопоставимой. Перечисленные обстоятельства являются одной из причин того, что на сегодня не разработана процедура инвентаризации всей фитомассы лесов по аналогии с инвентаризацией стволовой древесины, однако предпосылки к этому созданы.

Изучение биологической продуктивности лесов получило существенный импульс в связи с работами по Международной биологической программе (МБП). Не претендуя на анализ состояния исследований по проблеме биопродуктивности в этот период, можно лишь отметить данные многолетних исследований в различных природных зонах СССР Л.Е.Родина и Н.И. Базилевич (1965), данные по структуре фитомассы основных лесобразующих пород европейской части СССР А.А.Молчанова (1971) и В.В. Смирнова (1971) и данные по фитомассе сосняков, ельников и березняков различных типов леса (Лазимиров и др., 1973, 1977; Продуктивность..., 1974).

Первые сводки данных по биопродуктивности лесов различного породного состава по типам леса появились как отдельно для европейской части СССР (Гортинский и др., 1975) и Сибири (Поздняков, 1975), так и для СССР в целом (Уткин, 1970). Последние, по-видимому, наиболее полно суммирует итоги работ

по биопродуктивности лесов СССР на тот период. По мере завершения работ по МБП было опубликовано несколько сводок данных по фитомассе лесов мира, представленных в виде унифицированных схем по ключевым участкам и древесным породам большинства стран-держателей лесов. Эти сводки фактически представляют собой оформленные на бумажных носителях банки экспериментальных данных о фитомассе древостоев и ее приросте по фракциям (Cannell, 1982), о фитомассе лесных экосистем, ее приросте и отпаде (DeAngelis et al., 1981), о запасах фитомассы различных ярусов растительности и ее химическом составе (Limmins et al., 1985).

3.1.2. Банки данных и географическая изменчивость фитомассы лесов

Один из важнейших этапов создания банков данных по фитомассе лесов представляет исследование географических закономерностей динамики фитомассы. Однако путь традиционной лесной таксации, основанной на стереометрических методах оценки стволовой древесины (Загребев, 1978; Тябера, 1988), здесь неприемлем, поскольку, во-первых, при весовом фракционном учете фитомассы невозможно получить обширные материалы, аналогичные данным о запасах стволовой древесины, и, во-вторых, влияние комплекса экологических факторов на распределение различных фракций фитомассы невозможно исследовать без применения новых методов.

Географические закономерности динамики фитомассы исследуются обычно либо на локальном (по типам леса в регионе), либо на глобальном, по регионам и биосферам мира (Родина, Базилевич, 1965) уровнях. Выявление подобных закономерностей на национальном уровне затруднено значительной изменчивостью показателей фитомассы на локальных уровнях и более высокими требованиями к точности оценки по сравнению с предварительными данными глобального уровня, получаемыми на отдельных ключевых участках биомов, репрезентативность которых неизвестна.

Единственная попытка не только составить исчерпывающую

сводку экспериментальных данных, но и выявить возрастные закономерности распределения фитомассы древостоев на примере ели европейской по трем климатическим поясам бореальной зоны от Урала до Бельгии, по-видимому, принадлежит Я.К.Палуметсу (Палуметс, 1988; Palumets, 1991). Автор использовал данные 30 источников по IOI древостоев в возрастном интервале от 10 до 250 лет. Однако при анализе географических закономерностей распределения фитомассы он не в полной мере реализовал те возможности, которые давала ему имевшаяся в его распоряжении сводка данных - ограничился исследованием лишь парных связей показателей фитомассы с погодно-климатическими факторами и возрастом по каждому поясу отдельно. Применение многомерных методов в этом случае было бы более результативным, поскольку динамика и изменчивость фитомассы древостоев, как и любой экосистемы, имеют многофакторную природу.

Кроме того, ограничение климатических поясов уровнем ФАР представляется слишком упрощенным. В пределах таких климатических поясов могут быть существенные колебания в распределении фитомассы. По нашим наблюдениям, сосна Велико-Анадольского лесного массива и Казахского мелкосопочника, произрастающая примерно на одном широтном уровне, при одинаковых линейных размерах ствола различается по охвоенности побегов в 2-3 раза, поскольку в первом случае хвоя держится на побегах в течение 2 лет, а во втором - до семи. Сравнение данных по массе охвоенных побегов пихты сибирской в условиях горного Алтая и горного Урала показывает, что при условии равенства показателей возраста, полноты и класса бонитета названный показатель на Урале больше почти вдвое (Усольцев и др., 1994а).

Таким образом, необходимость учета географических особенностей в структуре фитомассы древостоев на национальном уровне очевидна, однако принципы отбора и учета факторов, определяющих географическую изменчивость фитомассы, пока не разработаны. На феноменологическом уровне достоверность региональных различий в структуре фитомассы в пределах одной породы можно оценить с использованием блоковых "фиктивных" переменных (Дрейлер, Смит, 1973; Усольцев, Сальников, 1993; Усольцев и др., 1994а).

3.1.3. Использование физиологически обусловленных взаимосвязей при создании банков данных о фитомассе лесов

Рабочей группой ИЖПРО "Лес, изменение климата и загрязнение атмосферы" опубликован отчет (Schläpfer, 1993) "Последствия климатических изменений и атмосферных загрязнений для лесных экосистем", в котором отмечается общая тенденция снижения охвоенности полога в лесах Европы, тогда как прирост лесов в течение последних 20 лет имеет неуклонную тенденцию повышения. Одна из возможных причин такого парадокса состоит в применении визуальной оценки степени деградации крон и снижения их охвоенности (In es, Boswell, 1990), когда игнорируется функциональная связь между ассимилирующей массой, ее влагообеспеченностью и отложением ассимилятов. Делаются лишь первые единичные попытки использования подобных физиологически обусловленных взаимосвязей при оценке жизнеспособности деревьев и их деградации по показателю охвоенности крон в исследовании названной парадоксальной ситуации (Kaufmann, Watkins, 1990; Norntvedt, 1993).

Ассимиляционный аппарат дерева функционально связан с двумя потоками лаги - восходящим коилемным и нисходящим флоэмным, что предполагает сбалансированность массы кроны с площадью сечения водопроводящей заболони (теория "пайн-модели", Shinozaki et al., 1964) и с приростом объема ствола (теория распределения ассимилятов). Первый аспект может быть опосредован аллометрической зависимостью массы фракций кроны (P_i) от диаметра ствола у основания кроны (D_c), представленного, в основном, водопроводящей заболонью:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D_c . \quad (1)$$

К.Шинозаки с соавт. (Shinozaki et al., 1964) установили, что зависимость (1) является инвариантной не только относительно возраста и условий произрастания, но и в пределах трех различных популяций одной древесной породы - березы. Аналогичную зависимость (1), общую для четырех популяций березы на территории от Кольского полуострова до Приморья, выявили М.В.Ковалов и И.В.Соколова (1984). С.Г.Рожественский с

савт. (1991) показали, что зависимость (I) при определении массы листвы дерева является общей для двух разных пород - березы и осины неморально-кисличной группы типов леса в широком возрастном диапазоне.

Эта закономерность подтвердилась и на наших объектах исследования, выполненного в березняках Урала, Казахского мелкосопочника и Тургайского прогиба, а также в осинниках Казахского мелкосопочника. Анализ зависимости (I) для массы кроны березы в свежем состоянии, выполненный с использованием блоковых "фиктивных" переменных (Дрейнер, Смит, 1973), показал, что она является общей для перечисленных трех регионов (Усольцев, Сальников, 1993). В ходе дальнейшего, более детального анализа зависимости (I) для массы кроны в абсолютно сухом состоянии оказалось, что она является общей не только для наших популяций березы, но и для березы, представленной данными К.Шинозаки (Shinozaki et al., 1964) и С.Г.Рожественского с савт. (1991). Не было подтверждено статистически различие зависимости (I) и для массы крон осины по нашим экспериментальным данным и данным С.Г.Рожественского с савт. (1991). Более того, зависимость (I) оказалась общей для двух различных рассеянно-сосудистых пород - березы и осины, представленных всеми упомянутыми популяциями в отдельности (Усольцев, Сальников, 1996).

Относительная стабильность зависимости (I) характерна и для кольцесосудистых сосны, ели и пихты (Усольцев и др., 1994а, б, г), однако, в отличие от березы, точность оценки массы кроны у хвойных повышается, когда в уравнении (I) дополнительно к первому из двух упомянутых аспектов структурно-функциональной организации дерева учитывается второй (флосный транспорт) в виде показателя прироста площади сечения ствола. Возможно, это связано с тем, что кольцесосудистые породы отличаются специфическими соотношениями зон транзита и депонирования влаги (Иванов, Дубинин, 1992). Однако эта модифицированная (совмещенная) зависимость оказалась видоспецифичной, и еще предстоит проверить ее общность для различных популяций в пределах породы.

Применение инвариантной (или псевдо-инвариантной) зави-

симости (I) позволяет существенно снизить трудоемкость формирования банков экспериментальных данных по фитомассе древостоев. Во-первых, отпадает необходимость взятия 300-500 модельных деревьев для охвата всего диапазона факторов, определяющих запас фитомассы на 1 га (все классы возраста, в пределах каждого - все группы типов леса или классы бонитета и в пределах каждого класса бонитета - все группы полнот). Специальное исследование (Усольцев и др., 1994б; Усольцев, Сальников, 1996) показало, что вследствие инвариантности зависимости (I) для ее получения достаточно не более 20-40 модельных деревьев, взятых случайным образом в указанном диапазоне определяющих факторов. Ошибки оценок фитомассы на 1 га по уравнениям (I), рассчитанным по массивам из 20-40 и 300-500 деревьев, практически одинаковые. Во-вторых, при охвате экспериментальным материалом по фитомассе крон всего диапазона возрастов и эколого-ценотических условий процедура взвешивания фитомассы заменяется менее трудоемкой процедурой обмера диаметров у основания кроны D_0 и на высоте груди D . В итоге получаем зависимости $D_0 = f(D)$, дифференцированные по названным диапазонам возрастов и эколого-ценотических условий.

Таким образом, наличие инвариантной зависимости (I) позволяет формировать банки данных о фитомассе древостоев лишь по замерам линейных размеров стволов, минуя трудоемкую процедуру фракционирования, взвешивания и сушки фитомассы.

3.1.4. Стыковка экспериментальных данных фитомассы с традиционными таксационными нормативами

3.1.4.*. Переводной коэффициент

В условиях оптимума среды обитания древесные породы обладают генетически закрепленными тенденциями в изменении характерных соотношений фитомассы, например, надземной и подземной (Лир и др., 1974). Эти закономерности во многом определяются также некоторыми особенностями относительных показателей (в сравнении с абсолютными), к которым можно отнес-

ти ... "уменьшение числа переменных, подлежащих изучению, более четкое выражение внутренних связей процессов, получение для некоторого множества случаев обобщенных характеристик, позволяющих вынести общие закономерности для этого множества и представить их в конечном счете в количественной форме" (Т.А.Детлаф, А.А.Детлаф, 1982, с. 27).

Возможно, именно поэтому изменение относительных показателей массы фракций (хвои, ветвей, корней и т.д.) дерева (древостоя), выраженных в долях от общей массы (Семечкина, 1978) или от объема (запаса) стволовой древесины (Поэдинов и др., 1969; Протопопов, Зюбина, 1977; Онучин, Борисов, 1984), в связи с основными таксационными показателями дерева (древостоя) прослеживается более четко, чем изменение абсолютных показателей.

Однако справедливость этого положения подтверждается не для всех фракций фитомассы, а лишь для тех, доля которых в общей массе относительно невелика. Специальным исследованием установлено, что чем ниже парная связь между показателями массы фракций, тем в большей мере отношение этих показателей определяется эколого-ценотическими, онтогенетическими и другими характеристиками деревьев и древостоев (Усольцев, 1985а). Менее всего названные характеристики объясняют изменчивость отношения массы ствола к его объему, представляющего показатель базисной плотности древесины ствола (Усольцев, 1986).

Относительный показатель фитомассы, или переводной коэффициент, имеющий в знаменателе величину объема (запаса) стволовой древесины, заслуживает внимания и по другой причине. Лесная таксация за свою 150-летнюю историю накопила огромное количество нормативов для оценки запасов стволовой древесины, которые невозможно продублировать аналогичными нормативами для всей фитомассы в силу их чрезвычайной трудоемкости. Единственно приемлемый путь - использовать традиционные нормативы и банки лесоустроительных данных по запасам стволовой древесины, сопрягая их с данными по фитомассе лесов на основе переводных коэффициентов.

Переводной коэффициент, представляющий отношение массы фракции к объему ликвидной древесины, впервые был предложен в прошлом веке швейцарским ученым Ф.Флури (Flury, 1892). Ныне его применение при оценке фитомассы лесов претерпело ряд методических модификаций, в частности, используются отношения: массы фракций к объему ствола (Hitchcock, 1979; Adams, 1982), массы фракций к общей фитомассе (надземной и подземной) или к массе ствола (Smith, 1976), общей фитомассы к массе ликвидной древесины (Sharp et al., 1975; Johnson, Sharpe, 1983). Переводной коэффициент принимается либо постоянным для данной породы или группы пород (Armentano, Ralston, 1980; Delcourt et al., 1981; Birdsey, 1992; Sampson, 1992; Kolchugina, Vinson, 1993b; Аткин, 1994), либо рассматривается как функция одной переменной, например, среднего диаметра древостоя (Brown et al., 1989) либо возраста (Исаев и др., 1993).

На рис. 6 нанесены наши экспериментальные данные переводного коэффициента, представляющего отношение массы хвои в абсолютно сухом состоянии к запасу стволовой древесины на I га для чистых одновозрастных сосняков островных боров степной зоны Казахстана (естественные древостои и культуры, классы бонитета с Ia по Ia, полнота с 0,4 до 1,0) в зависимости от возраста древостоев. Их анализ показывает, что в возрасте 10, 20, 40 и 100 лет перепад значений переводного коэффициента, т.е. разность между максимальным и минимальным значениями, составляет соответственно 200, 90, 20 и 10 кг/м³. Аналогичная закономерность прослеживается по данным фитомассы влажных тропических лесов четырех стран (Камеруна, Французской Гвианы, Малайзии и Шри Ланки) с породным составом до 40% наименований (Brown et al., 1989). Отношение общей (надземной и подземной) фитомассы к массе стволовой древесины, нанесенное на график в зависимости от среднего диаметра ствола, в низших ступенях толщины имеет максимальный разброс (рис. 7).

Конечно, показанные на рис. 6 и 7 зависимости могут быть аппроксимированы уравнением гиперболы с высоким коэффициентом детерминации, и тем не менее в левой части поля распределения экспериментальных данных это уравнение будет давать высокую ошибку. Ф.Флури (Flury, 1892) исследовал двана-

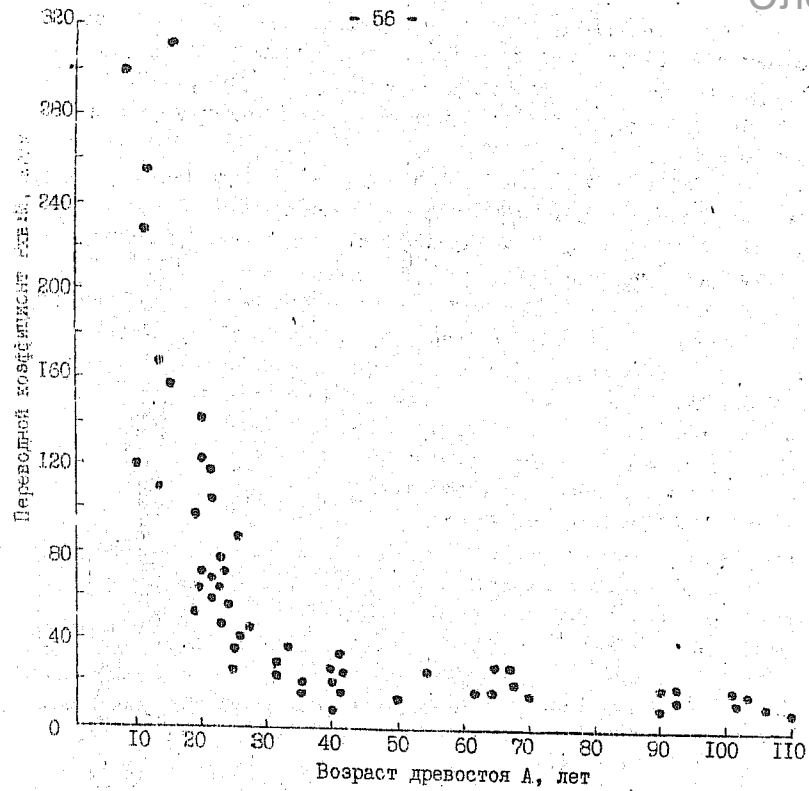


Рис. 6. Зависимость переводного коэффициента (отношения массы хвой в абсолютно сухом состоянии к запасу стволов древостоя) от возраста естественных древостоев и культур островных боров Тургайского прогиба.

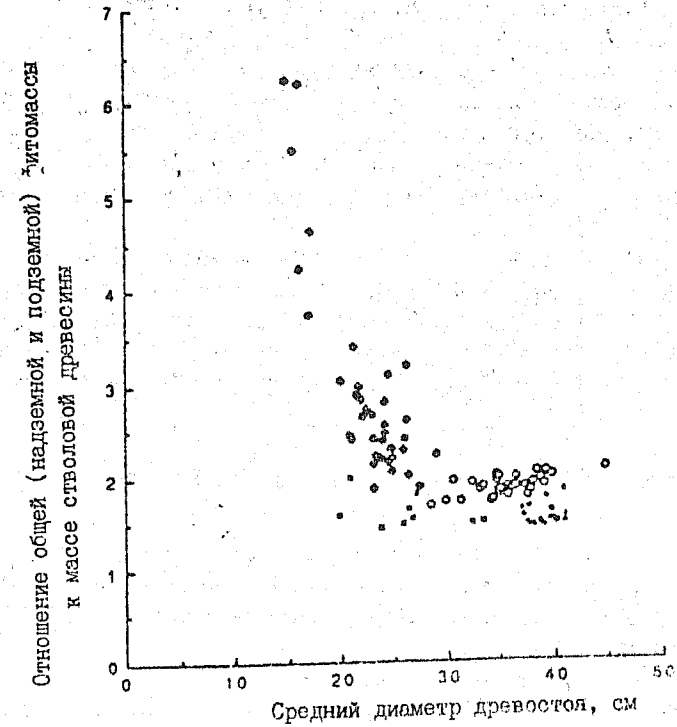


Рис. 7. Зависимость переводного коэффициента (отношения общей фитомассы к массе стволов) от среднего диаметра древостоев влажных тропических лесов (Камерун, Французская Гвинея, Малайзия и Шри-Ланка) с составом, включающим до 400 пород (Brown et al., 1989).

зоны варьирования переводного коэффициента, представляющего отношение объема ветвей (пл.м³/га) к объему ликвидной древесины (пл.м³/га), у ели на 124 и у бука - на 89 пробных площадях в возрасте от 19 до 154 и от 20 до 220 лет соответственно. Ошибка определения переводного коэффициента была обратно пропорциональна возрасту и средней высоте древостоя (рис. 8). При группировке ошибок по грациям средней высоты их величина вдвое меньше, чем при группировке по классам возраста, но в обоих случаях у бука она существенно выше, чем у ели.

Таким образом, определение переводного коэффициента по одному из определяющих факторов связано со значительной ошибкой при малых величинах последнего. Для выявления влияния на величину переводного коэффициента всего комплекса определяющих факторов необходимо применение многомерных методов исследования.

3.1.4.2. Стыковка фитомассы с таблицами хода роста древостоев

Исследовав зависимость переводного коэффициента от основных определяющих факторов по данным фитомассы сосняков Сибири на 83 пробных площадях, А.А.Онучин и А.Н.Борисов (1984) вывели уравнения

$$P_i/M = f(A, M, n), \quad (2)$$

где P_i - масса кроны, хвои или корней в абсолютно сухом состоянии, т/га; M - запас стволов в коре, м³/га; A - возраст, лет; n - номер класса бонитета. Коэффициенты детерминации составили по фракциям соответственно 0,920; 0,960 и 0,865. По задаваемым грациям каждого из трех определяющих факторов авторами были составлены трехходовые таблицы для каждой из названных фракций.

При анализе и объяснении изменчивости переводного коэффициента регрессионным методом по обширным экспериментальным данным фитомассы сосняков, березняков и осинников Северного Казахстана вместо запаса стволов использован показатель суммы площадей сечений, расчлененный на два независимых показателя - число стволов F , тыс.экз./га, и средний диаметр

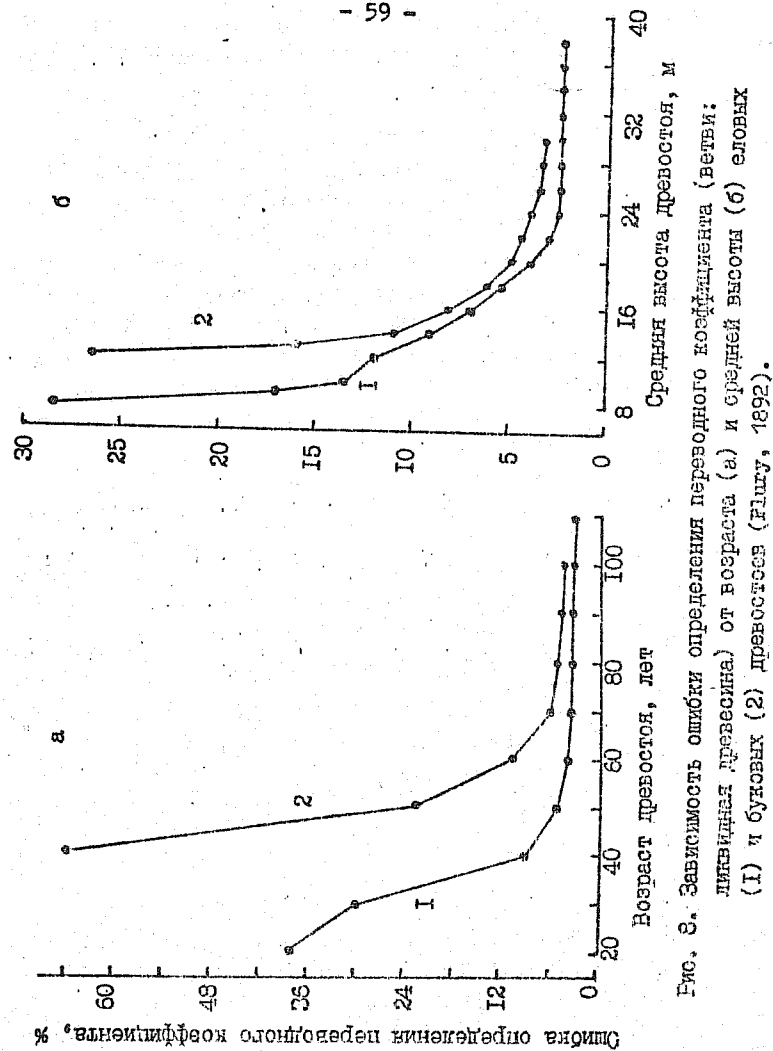


Рис. 8. Зависимость ошибки определения переводного коэффициента (ветви: ликвидная древесина) от возраста (а) и средней высоты (б) еловых (1) и буковых (2) древостоев (Плугу, 1992).

D_{cp} , см (Усольцев, 1985б, 1988). Класс бонитета был выражен высотой древостоя $H_{100(50)}$ м, в возрасте 100 (у сосны) или 50 лет (у лиственных) по бонитетной шкале М.М. Орлова. Коэффициенты детерминации полученных уравнений

$$P_i/M = f(A, H_{100(50)}, D_{cp}, N) \quad (3)$$

составили для хвои, ветвей и корней у сосны 0,939; 0,838 и 0,979 соответственно, для листьев и ветвей у березы соответственно 0,752 и 0,758 и у осины 0,924 и 0,862.

Структура модели (3) была использована далее при исследовании и объяснении изменчивости переводного коэффициента P_i/M в сосняках и ельниках Среднего Урала (Усольцев и др., 1994в). Коэффициенты детерминации составили для хвои и ветвей у сосны 0,635 и 0,374 и у ели 0,949 и 0,898 соответственно. По экспериментальным данным сосны Среднего Урала были рассчитаны также уравнения (2), однако структура этой модели оказалась неприменимой к нашим экспериментальным данным: определяющие факторы были статистически не значимы, а коэффициент детерминации слишком мал - от 0,06 до 0,23.

Покажем возможную причину несостоятельности структуры модели (2) на конкретном уравнении для массы ветвей сосны Среднего Урала, рассчитанном согласно модели (3):

$$\ln(P_i/M) = -16,7155 + 25,5357 \ln A - 2,2484 \ln H_{100} - 3,3939 \ln N + 0,3881(\ln N)^2 + 0,4963 \ln D_{cp} \ln A - 8,4956(\ln A)^2 + 0,7752(\ln A)^3 + 0,1663 \ln N(\ln A)^2; R^2 = 0,874. \quad (4)$$

Все константы значимы на уровне t_{05} и выше. Протабулировав уравнение (4) по заданным значениям $A = 100$ лет, $H_{100} = 17,5$ м и $M = 150$ м³, приведем его к частному виду

$$\ln P_i = -5,0060 - 0,1330 \ln N + 0,3881(\ln N)^2 + 2,2856 \ln D_{cp}.$$

Приним значение суммы площадей сечений $G = 30$ м²/га и разложив ее на составляющие: в одном случае $D_{cp} = 6$ см и $N = 10,6$ тыс. экз./га, а в другом - $D_{cp} = 20$ см и $N = 0,965$ тыс. экз./га, получаем значения массы скелета полога соответственно 2,5 и 6,3 т/га, различающиеся в 2,5 раза. Иными словами, при одинаковых значениях возраста, класса бонитета, запаса стволовой древесины и полноты древостоев, но при диаме-

трально противоположных значениях D_{cp} и N фитомасса полога этих древостоев существенно различается.

Наряду с тем, что уравнения (3) имеют относительно высокие значения коэффициента детерминации, их легко можно использовать для дополнения традиционных таблиц хода роста насаждений (ТХР) показателями фитомассы различных фракций на 1 га, т.е. для стыковки экспериментальных данных фитомассы с ТХР. Последняя, как известно, дает для каждого класса бонитета возрастную динамику запасов стволовой древесины и таксационных показателей, определяющих этот запас, в том числе среднего диаметра и текущей густоты. Путем подстановки последних, взятых из ТХР для каждого возраста и класса бонитета, в уравнения (3) были составлены эскизы таблиц биопродуктивности для основных лесобразующих пород Северного Казахстана и Урала (Усольцев, 1985а,б; Усольцев и др., 1994а; Usoltsev, 1989, 1990).

3.2. Формирование базы данных по фитомассе лесов Урала

3.2.1. Методы формирования баз данных по фитомассе лесов

Первые оценки общей фитомассы лесов и ее прироста основаны на материалах учета площадей на уровне биомов (лесотундра, тайга, смешанные леса, лесостепь), когда экспериментальный материал был получен лишь с нескольких ключевых проб, репрезентативность которых неизвестна (Olson et al., 1983; Kolchugina, Vinson, 1993a). Очевидно, что правомерность распространения данных фитомассы небольших выборок на обширные площади без учета породного, возрастного и структурного разнообразия лесов весьма сомнительна (Исаев и др., 1993). Объективность оценки запасов фитомассы и ее прироста может быть обеспечена при использовании материалов государственной инвентаризации лесов.

Располагая значениями переводных коэффициентов для различных пород, можно состыковать их не только с ТХР, но и с лесоустроительными банками данных. При этом можно выделить несколько уровней приближения к реальности.

Первый уровень приближения.

Метод основан на расчете среднего значения переводного коэффициента для той или иной породы или группы пород. Умножением названного коэффициента на запас стволовой древесины, полученный при лесоинвентаризации того или иного региона, получают значения фитомассы на всей или какой-то части его лесопокрытой площади (Armentano, Ralston, 1980; Delcourt et al., 1981; Birdsey, 1992; Sampson, 1992; Kolchugina, Vinson, 1993b).

Второй уровень приближения.

Метод включает расчет переводного коэффициента в пределах породы или группы пород, дифференцированного по возрастным группам (Исаев и др., 1993) или среднему диаметру древостоев (Brown et al., 1989). Значения фитомассы для того или иного региона получают путем взвешивания переводного коэффициента по лесопокрытым площадям и запасам стволов в соответствии с распределением последних по возрастным группам или ступеням среднего диаметра.

А.С.Исаев с соавт. (1993) приводят подробный алгоритм расчета накопленной и ежегодно депонируемой фитомассы древесной и кустарниковой растительности, включающий в себя оценку:

- распределения общей площади лесного фонда России по категориям земель;
- распределения покрытой лесом площади по основным лесообразующим породам и группам возраста древостоев;
- удельных запасов стволовой древесины для основных лесообразующих пород по группам возраста древостоев;
- переводных коэффициентов (общая фитомасса: запас стволовой древесины) для основных лесообразующих пород и групп возраста древостоев;
- общих запасов фитомассы древесной, кустарниковой и травянистой растительности на всех категориях земель лесного фонда;

- годичных изменений среднего запаса стволовой древесины древесных и кустарниковых пород в расчете на 1 га;
- годичных изменений среднего запаса фитомассы древесных и кустарниковых пород.

Далее умножением показателей запаса и прироста фитомассы на коэффициент 0,5 (Кобак, 1988) получены общие оценки запаса и ежегодного депонирования углерода в лесной фитомассе. Авторы рассматривают свои оценки запасов и депонирования фитомассы (и углерода) как первый этап исследований, которые они продолжают по аналогичной методике на уровне отдельных экономических районов и далее - по республикам, краям, областям и лесхозам по принципу "от общего к частному". Однако по мере дробления объекта исследования адекватного повышения точности суммарных оценок может не произойти. Если переводной коэффициент продолжать рассматривать как функцию только одного определяющего фактора, в данном случае - возраста.

Особого внимания требует методический подход к оценке депонирования фитомассы на площадях под лесными культурами, которые на ранних этапах роста относятся к категории не покрытых лесом, а после смыкания уравниваются с естественными древостоями (Исаев и др., 1993). Это положение можно проиллюстрировать на примере тропических лесных плантаций (культур). Несмотря на существенно более высокую интенсивность связывания атмосферного углерода плантациями по сравнению со спелыми естественными древостоями, их роль в углеродном балансе обычно игнорировалась вследствие небольших площадей (менее 1 % общей площади тропических лесов). Однако важен не столько размер площади под плантациями, сколько темпы их создания, соотношенные со скоростью сведения лесов. Фактическое приращение около 1 га плантаций на каждые 9 га вырубленных сомкнутых спелых древостоев выводит плантации в число существенных составляющих углеродного цикла. Количество атмосферного углерода, депонируемого в тропических плантациях, составляет около 70 млн. т/год, большая часть которого (около 80 %) приходится на первые два класса возраста (Brown et al., 1986). Однако, как было показано выше, именно молодые древостои характеризуются наибольшим варьированием и наибольшей ошибкой определения переводного коэффициента.

Третий уровень приближения.

По этому методу в настоящее время проводится вторая инвентаризация фитомассы лесов Канады (методику и результаты первой инвентаризации см.: Вонног, 1985). Итогом первой фазы проекта являются матрицы переводных коэффициентов, рассчитываемых как отношение надземной фитомассы к запасу балансовой древесины. С помощью переводных коэффициентов значения запасов балансовой древесины, распределенных по провинциям, породам, классам возраста и бонитета, переводятся на показатели надземной фитомассы (Penner, 1995). Метод предполагает более точную оценку общей фитомассы по сравнению с предыдущим, поскольку переводной коэффициент взвешивается по удельной площади и запасам балансовой древесины, распределенным не по одному, как в предыдущем варианте, а по двум определяющим факторам одновременно - возрасту и классу бонитета.

Четвертый уровень приближения.

Поскольку вклад не покрытой лесом и нелесной площадей в общее депонирование фитомассы составляет всего 10 % (Исаев и др., 1993), то совершенствование методики учета фитомассы по этим площадям практически не изменит конечного результата. И напротив, с учетом изложенного выше дальнейшие усилия по совершенствованию методики оценки фитомассы на покрытых лесом площадях могут быть вполне оправданными. На четвертом уровне приближения используется повидельный банк лесоустроительных данных, рассортированный по четырем определяющим факторам, приведенным в уравнении (3), и стыковка повидельного банка со значениями переводного коэффициента, которые рассчитываются по уравнению (3) и взвешиваются по тем же четырем определяющим факторам на основе двухэтапной процедуры. По этому методу формируется в настоящее время база данных по фитомассе лесов Урала.

Вводимые в действие "Концепция информатизации лесного хозяйства" (1990) и "Основные положения лесного мониторинга в России" (1993) предполагают организацию общегосударствен-

ной сети автоматизированных рабочих мест лесничих, что является предпосылкой для создания баз данных по фитомассе лесов по принципу "от частного к общему", т.е. с иерархией от уровня лесничества и лесхоза до общенационального. Покажем принцип реализации такой предпосылки по двум вариантам стыковки экспериментальных данных фитомассы сосняков с повидельным банком лесоустроительных данных на примере Северского лесничества Учебно-опытного лесхоза УГЛТА.

3.2.3. Составление базы данных по фитомассе сосняков на примере Учебно-опытного лесхоза УГЛТА

В качестве исходных данных для проведения анализа количественного представительства лесных насаждений с различной лесотаксационной характеристикой и получения итоговых результатов используются повидельные таксационные описания на магнитном носителе. Наиболее трудоемкой частью работы является процесс распределения элементарных лесных площадей (выделов) по градациям основных таксационных показателей. Процесс автоматизации данного блока работ состоит из четырех основных этапов (Усольцев и др., 1995):

- разработки специального математического (программного) обеспечения ЭВМ для экстракции необходимых данных из таксационного описания выдела;
- собственно экстракции данных и импортирования их в специальный формат;
- разработки специального математического обеспечения ЭВМ для сортировки подготовленных на втором этапе данных и вычисления необходимых абсолютных и относительных итоговых характеристик распределения выделов по градациям основных таксационных показателей;
- автоматического распределения данных и вычисления итоговых результатов.

Для выполнения данного блока работ применяется IBM-совместимый персональный компьютер с процессором Intel 80486, оснащенный встроенным математическим сопроцессором. Применяется столь мощной вычислительной техники для автоматизации

нашей разработки оправдано, поскольку требуется обработка большого информационного объема с множеством ключевых параметров. Математическое обеспечение для второго этапа подготовки данных разработано на языке программирования Pascal (версия Borland pascal 7,0). Последовательность процессов, выполняемых программой, описывается без предоставления алгоритма и исходного кода.

Таксационные описания, изначально представленные в виде обычных текстовых файлов, содержащих поведельные таксационные характеристики кварталов, подвергаются логическому разбиению по элементам на основе характерных строковых последовательностей в следующем порядке: лесхоз — лесничество — квартал — выдел — таксационные показатели. Данные, прошедшие интеграцию в описанной последовательности, оформляются в текстовый файл, пригодный для исполнения автоматического импорта в формат системы управления базами данных (СУБД) FoxBase plus (версия 2,0).

Заключительный этап рассматриваемого блока работ выполняется с использованием математического обеспечения, созданного с применением средств, предоставляемых стандартной СУБД FoxBase plus. Выбор конкретной среды разработки не имеет решающего значения, поскольку все современные СУБД предоставляют разработчику мощные средства сортировки данных, что и является основной задачей на данном этапе разработки.

Стиковка данных фитомассы с поведельным банком данных осуществлена по двум вариантам сортировки поведельного банка и расчета матрицы переводных коэффициентов:

- I - по возрасту и классу бонитета (согласно структуре уравнения (2) и
- II - по возрасту, классу бонитета, среднему диаметру и числу стволов на I га (согласно структуре уравнения (3).

I вариант.

Используя изложенную программу, получаем распределение площадей лесфонда по категориям земель, а также покрытой лесом площади и соответствующих запасов стволовой древесины

по лесообразующим породам. Установили, что в общей площади лесфонда Северского лесничества покрытая лесом площадь составляет 87 %. Доля сосны в лесопокрытой площади 64, березы — 26 и ели — 10 %. Затем для каждой породы производится сортировка величин площадей выделов и соответствующих им запасов по двум определяющим факторам — возрасту и классу бонитета. Далее в качестве примера взята преобладающая порода — сосна.

Каждое значение запаса стволов ($m^3/га$), приходящееся на ячейку матрицы, соответствующую заданным классам возраста и бонитета, взвешивается по величине площадей выделов, накапливаемых в данной ячейке. Результаты сортировки запасов стволовой древесины сосны по классам возраста и бонитета представлены двойным образом (табл. 7). Во-первых, запасы стволовой древесины отнесены к единице площади (числитель), чтобы обеспечить возможность стыковки переводных коэффициентов P_i/M согласно уравнений (2) с систематизированным по классам возраста и бонитета поведельным банком данных, и во-вторых, эти же стратифицированные запасы выражены в долях от тысячи m^3 общего запаса (знаменатель), чтобы распределение состыкованных значений P_i/M , приведенных к абсолютным величинам P_i , можно было перенести на сосновые древостои любой площади или административно-хозяйственной единицы. Поскольку поведельный банк данных, записанный на магнитных носителях, имеется лишь для половины лесхозов области, этот прием может быть применен в случае создания базы данных о фитомассе лесов для территории, выходящей за пределы обеспеченности информацией на магнитных носителях, с использованием обобщенного распределения запасов стволов, аналогичного приведенному в табл. 7.

Распределение переводных коэффициентов массы кроны сосны по классам возраста и бонитета после табулирования уравнения (2) по данным табл. 7 (числитель) приведено в табл. 8. После умножения данных табл. 8 на числовые значения табл. 7 (знаменатель) имеем итоговую массу кроны $P_{кр} = 93,2 т$, приходящуюся на 1000 m^3 запаса стволов (табл. 9). Эта цифра представляет результат взвешивания разнесенных по классам возраста и бонитета переводных коэффициентов $P_{кр}/M$ по фактическим запасам M соответствующих ячеек матрицы.

Результаты сортировки по классам возраста и бонитета запаса стволной древесины сосны, отнесенных к 1 га (числитель), и приведенных к 1000 м³ (знаменатель) в повыдельном банке лесоустроительных данных Северского лесничества

Класс бонитета	Класс возраста									Итого
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
I	-	105	-	260	789	-	-	-	-	-
		I		3	27					31
II	19	161	201	314	357	340	300	285	276	-
	I	68	96	137	363	65	6	16	38	790
III	25	155	-	234	264	310	260	280	244	-
	I	5		9	21	11	3	70	41	161
IV	-	-	80	-	-	-	140	240	190	-
			I				I	I	I	4
V	-	-	53	115	155	-	-	101	103	-
			I	I	7			2	3	14
Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	74	98	150	418	76	10	89	83	1000

Таблица 8

Распределение переводных коэффициентов $R_{кр}/M$ (кг/м³) после табулирования модели (2) по данным табл. 7

Класс бонитета	Класс возраста								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	-	171	-	116	50	-	-	-	-
II	331	116	108	84	84	94	107	114	119
III	283	101	-	87	86	82	96	97	108
IV	-	-	144	-	-	-	115	88	103
V	-	-	158	101	85	-	-	118	118

Таким образом, процедура сортировки повыдельного банка данных и стыковки их с переводным коэффициентом предусматривает двойное взвешивание итогового показателя: а) запаса стволов (м³/га) в ячейках взвешиваются по величинам площадей выделов и затем б) значения переводного коэффициента

Распределение массы кроны в абсолютно сухом состоянии (т), приходящейся на 1000 м³ запаса стволной древесины в сосновых древостоях Северского лесничества

Класс бонитета	Класс возраста									Итого
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
I	-	0,2	-	0,4	1,3	-	-	-	-	1,9
II	0,3	7,9	10,4	11,5	30,5	6,1	0,6	1,8	4,5	73,6
III	0,3	0,5	-	0,8	1,8	0,9	0,3	6,8	4,4	15,8
IV	-	-	0,1	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,4
V	-	-	0,2	0,1	0,6	-	-	0,2	0,4	1,5
Итого	0,6	8,6	10,7	12,8	34,2	7,0	1,0	8,9	9,4	93,2

(табл. 8) взвешиваются по запасам стволов, распределенным по ячейкам двухходовой матрицы соответствующих классов возраста и бонитета (табл. 9).

Для массы хвои и корней уравнения (2) при табулировании их по данным табл. 7 дают отрицательные значения вследствие экстраполяции за пределы области их применимости, поскольку данные по Уралу при расчете моделей (2) отсутствовали. Возможно также, что наши экспериментальные данные получены в более широких возрастных и эколого-ценотическом диапазонах, чем данные по сосне Сибири, использованные при расчете моделей (2).

II вариант.

Уравнение (3), на применении которого основан II вариант, содержит в качестве одного из определяющих факторов показатель густоты N . В банках лесоустроительных данных он отсутствует, но зато там есть данные средних диаметра ($d_{ср}$), высоты ($H_{ср}$) и относительной полноты (v). Для обеспечения стыковки с моделью (3) в программу сортировки повыдельного банка данных вводится дополнительный блок, включающий расчетный алгоритм:

$$G_n = f(H_{ср}) \rightarrow G = G_n \cdot v \rightarrow N = 12,73 \cdot G / d_{ср}^2$$

где первое звено представляет аналитическое выражение для суммы площадей сечений нормального древостоя (G_n) как функции средней высоты древостоя согласно стандартной таблице ЦНИИЛХ.

При стыковке данных фитомассы с повыделным банком лесо-устроительных данных в соответствии со структурой модели (3) данные, необходимые для стыковки, в частности запасы стволов, сортируются по ячейкам не двухходовой, как в первом варианте, а трехходовой матрицы, а именно по классам возраста, классам бонитета и в пределах последних - по группам относительной полноты: 0,4; 0,7 и 1,0 (табл. 10). Одновременно по этим же трем показателям сортируются повыделные значения числа стволов, тыс. экз./га, и среднего диаметра древостоя, см (табл. 11), которые, как и запасы стволов, взвешиваются по площади выделов.

Таблица 10

Результаты сортировки и накопления повыделных запасов стволов по трем входам, в долях от 1000 м³ общего запаса

Класс бонитета	Полнота	К л а с с в о з р а с т а									Итого
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
I	0,7	-	I	-	3	27	-	-	-	-	31
II	0,4	0	0	0	3	2	2	3	2	19	31
	0,7	I	52	54	84	290	63	3	14	19	580
	1,0	-	16	42	50	71	-	-	-	-	179
III	0,4	I	-	-	2	-	-	-	13	16	32
	0,7	-	-	-	3	18	11	3	57	25	117
	1,0	-	5	-	4	3	-	-	-	-	12
IV	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
	0,7	-	-	I	-	-	-	I	I	-	3
V	0,4	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2
	0,7	-	-	I	I	7	-	-	1	2	12
Всего		2	74	98	150	418	76	10	89	83	1000

Примечание: Нулевое значение соответствует доле запаса ячейки в общем запасе, меньшей 0,001.

Таблица 11

Значения числа стволов (тыс. экз./га, в числителе) и среднего диаметра (см, в знаменателе), взвешенные по площади выделов и рассортированные по классам возраста, классам бонитета и группам полнот

Класс бонитета	Полнота	К л а с с в о з р а с т а								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	0,7	-	<u>1,36</u>	-	<u>0,47</u>	<u>0,40</u>	-	-	-	-
			14		26	30				
	0,4	<u>20,45</u>	<u>4,32</u>	<u>0,37</u>	<u>0,34</u>	<u>0,12</u>	<u>0,21</u>	<u>0,23</u>	<u>0,14</u>	<u>0,14</u>
II	0,7	<u>23,64</u>	<u>1,96</u>	<u>1,25</u>	<u>0,60</u>	<u>0,46</u>	<u>0,34</u>	<u>0,29</u>	<u>0,33</u>	<u>0,21</u>
		2	12	17	24	28	32	32	33	40
	1,0	-	<u>2,48</u>	<u>2,04</u>	<u>0,86</u>	<u>0,60</u>	-	-	-	-
III			12	14	22	27				
	0,4	<u>20,02</u>	-	-	<u>0,12</u>	-	-	-	<u>0,14</u>	<u>0,14</u>
		3			38				39	40
IV	0,7	-	-	-	<u>0,79</u>	<u>0,58</u>	<u>0,53</u>	<u>0,34</u>	<u>0,21</u>	<u>0,20</u>
					20	24	26	31	38	41
	1,0	-	<u>3,90</u>	-	<u>1,04</u>	<u>1,13</u>	-	-	-	-
V			10		20	20				
	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>0,27</u>
										28
VI	0,7	-	-	<u>3,59</u>	-	-	-	<u>0,46</u>	<u>0,29</u>	-
				8				26	30	
	0,4	-	-	-	-	-	-	-	<u>0,70</u>	<u>0,40</u>
VII									16	23
	0,7	-	-	<u>4,79</u>	<u>1,28</u>	<u>1,07</u>	-	-	<u>0,59</u>	<u>0,51</u>
				7	14	17			20	22

Путем табулирования уравнений (3) по значениям возраста, класса бонитета, числа стволов и среднего диаметра, приведенным в табл. 11, получаем значения переводных коэффициентов для массы хвои и ветвей, распределенные по ячейкам, соответствующим названным трем (а фактически - четырем) входам (табл. 12).

Таблица 12

Переводные коэффициенты P_1/M , кг/м³, (где P_1 - масса ветвей, в числителе, или масса хвои, в знаменателе), распределенные по классам возраста, классам бонитета и полнотам в результате табулирования уравнений (3) по данным таблицы 11

Класс бонитета	Полнота	Класс возраста								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	0,7	180	-	78	51	-	-	-	-	-
		26		12	9					
	0,4	22	270	476	145	633	73	39	62	54
II	0,7	45	29	18	13	11	9	8	8	8
		23	132	69	73	54	49	36	30	44
	1,0	45	29	18	13	11	9	8	8	8
III	0,7	113	39	50	44	-	-	-	-	-
		29	18	13	11					
	0,4	54	-	279	-	-	-	86	71	9
IV	0,7	52	-	15	48	37	44	65	67	9
		-	-	15	12	11	10	9	9	
	1,0	95	-	53	30	-	-	-	-	-
V	0,4	33	-	15	12	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,7	-	30	-	-	-	44	53	39	11
VI	0,4	-	25	-	-	-	12	11	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,7	-	42	63	54	-	-	35	41	-
VII	0,4	-	30	22	18	-	-	14	13	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Полученные значения переводных коэффициентов умножаем на значения относительных запасов стволов (второе взвешивание показателей), приведенных в табл. 10, и получаем распределения массы ветвей и хвои (т), приходящиеся на 1000 м³ запаса стволов (табл. 13).

Таким образом, используя уравнения (3) и результаты соответствующей сортировки поведельного банка данных, мы полу-

Таблица 13

Распределение массы ветвей (числитель) и хвои (знаменатель), т, взвешенной по возрасту, классу бонитета и полноте и приходящейся на 1000 м³ запасов стволовой древесины

Класс бонитета	Полнота	Класс возраста									Итого
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
I	0,7	-	0,2	-	0,2	1,4	-	-	-	-	1,8
		-	0	-	0	0,2	-	-	-	-	0,2
	0,4	0	0	0	0,4	1,3	0,2	0,1	0,1	1,0	3,1
II	0,7	0	6,9	3,7	6,1	15,7	3,1	0,1	0,4	0,8	36,8
		0	1,5	1,0	1,1	3,2	0,6	0	0,1	0,2	7,7
	1,0	-	1,8	1,6	2,5	3,1	-	-	-	-	9,0
III	0,4	0,1	-	-	0,6	-	-	-	1,1	1,1	2,8
		0,1	-	-	0	-	-	-	0,1	0,1	0,3
	0,7	-	-	-	0,2	0,9	0,4	0,1	3,7	1,7	7,0
IV	0,4	-	-	-	0	0,2	0,1	0	0,6	0,2	1,1
		-	-	-	0,2	0,1	0	-	-	-	0,3
	0,7	-	-	-	0,2	0,1	0	-	-	-	0,3
V	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	0,7	-	-	0	-	-	-	0	0,1	-	0,1
VI	0,4	-	-	0	-	-	-	0	0	0	0
		-	-	0	-	-	-	0	0	0	0
	0,7	-	-	0	0,1	0,4	-	0	0,1	0,6	0,1
VII	0,4	-	-	0	0	0,1	-	0	0	0,1	0,1
		-	-	0	0	0,1	-	0	0	0,1	0,1
	0,7	-	-	0	0	0,1	-	0	0	0,1	0,1
Всего	0,1	9,4	5,3	10,3	22,9	3,7	0,3	5,4	4,7	62,1	
		0,1	2,2	1,8	1,9	4,5	0,7	0	0,8	0,7	12,7
	Итого кроны	0,2	11,6	7,1	12,2	27,4	4,4	0,3	6,2	5,4	74,8

Примечание: Нулевое значение соответствует массе ветвей или хвои, меньшей 0,1 т.

Значение массы кроны, приходящейся на 1000 м³ стволовой древесины, равно 74,8 т. Видимо, эта цифра более близка к реальности в условиях Урала, чем величина 93,2 т, полученная по I варианту.

3.3. Принципы формирования базы данных по фитомассе лесов Швейцарии

Структура предложенных регрессионных уравнений (3), характеризующая набор четырех определяющих факторов, неприемлема для стыковки с банком лесоустроительных данных Швейцарии. Согласно национальной системе лесоинвентаризации Швейцарии (Schweizerisches Landesforstinventar..., 1988), одно-возрастные древостой составляют всего 18 % лесопокрытой площади, и абсолютно преобладают разновозрастные смешанные леса с вертикально сомкнутым пологом. Возраст и класс бонитета в обычном понимании не употребляются. Производительность древостоев определяется их верхней высотой, высотой местоположения над уровнем моря, экспозицией, уклоном местности, влагообеспеченностью местообитания и т.д. В.Келлер (Keller, 1978) упорядочил оценку производительности древостоев, по сути повторив подход Б.П.Колесникова с соавт. (1973) при лесотипологическом районировании Урала, без ссылки на уральских исследователей. Он разработал специальную бонитетную шкалу на основе 12 типовых местообитаний, при этом каждое характеризуется специфическим сочетанием экспозиции, уклона местности и других показателей, а также специфической зависимостью верхней высоты древостоя и общей производительности от высоты над уровнем моря. Характеристика каждого местообитания дана для пяти лесообразующих пород (ели, пихты, бука, лиственницы и сосны) в табличной и графической форме.

Для удобства пользования классификацией В.Келлера мы заменили дискретный набор местообитаний одним непрерывным рядом, используя метод ранжирования местообитаний фиктивными переменными (Дрейпер, Смит, 1973). Каждому местообитанию или совокупности нескольких близких по производительности местообитаний присвоен номер (код) в порядке повышения производительности при базовом значении высоты над уровнем моря, равном 1000 м (табл. 14).

Затем дискретную совокупность зависимостей верхней высоты от высоты над уровнем моря (Keller, 1978) мы обобщили одной двухфакторной зависимостью (рис. 9):

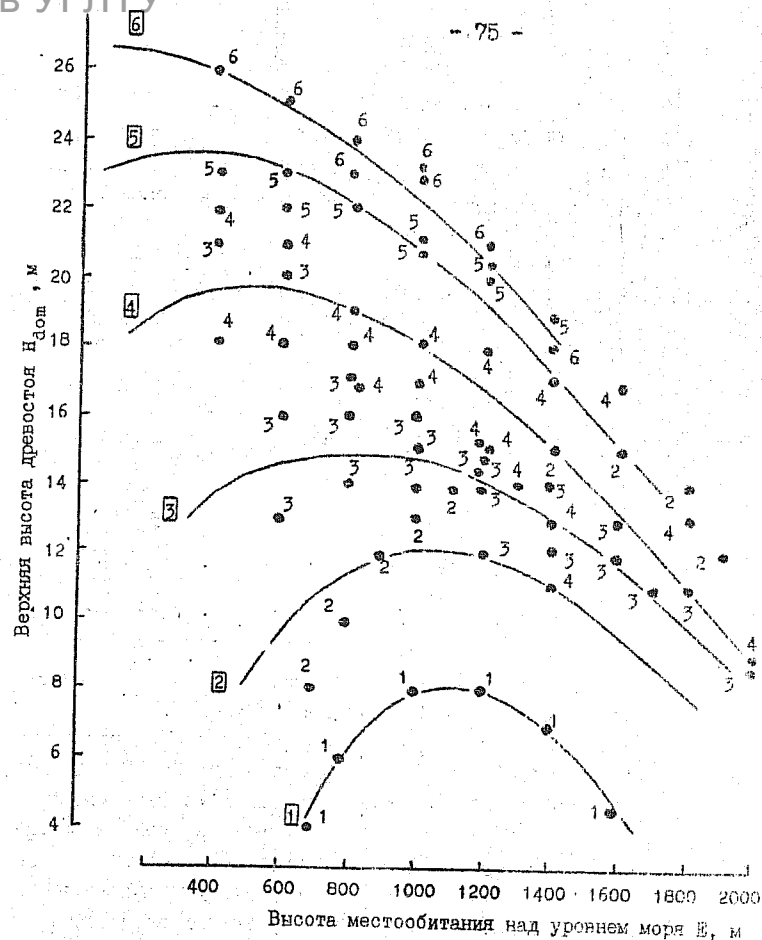


Рис. 9. Зависимость верхней высоты древостоя от высоты местообитания над уровнем моря. Цифрами обозначены коды шести укрупненных типов лесорастительных условий, полученных в результате группировки 12 типовых местообитаний В.Келлера (Keller, 1978).

$$H_{dom} = f(E, C), \quad (5)$$

где H_{dom} - верхняя высота древостоя (м), определенная как средняя высота 100 доминирующих деревьев на 1 га; E - высота местообитания над уровнем моря, м; C - кодовый номер местообитания (табл. I4).

Таблица I4

Данные В.Келлера (Keller, 1978) о верхней высоте еловых древостоев, ранжированные по эдафическим условиям при высоте над уровнем моря 1000 м.

Код местообитания	Номер таблицы (Keller, 1978)	Верхняя высота, м
1	20	8
2	26	13
3	17, 24, 25	15, 14, 16
4	19, 22, 23	17, 18, 18
5	15, 21	21, 21
6	16, 18	23, 23

Для формирования базы данных по фитомассе лесов Швейцарии используется банк экспериментальных данных Г.Бургера, опубликованный в серии из 13 работ по биологической продуктивности основных лесобразующих пород в течение 20-50-х годов (Burger, 1929-1953). Для расчета переводных коэффициентов использованы данные объемов модельных деревьев, взятые из архивов Швейцарского Федерального Института леса, снега и ландшафта (они не были опубликованы Г.Бургером). Для лучшей наглядности полученные для ели значения переводных коэффициентов усреднены для каждой пробной площади и нанесены на графики в зависимости от верхней высоты (рис. 10) и высоты над уровнем моря (рис. 11). Их анализ показывает, что переводной коэффициент может быть рассчитан как функция двух переменных

$$p_1/v = f(H_{dom}, E), \quad (6)$$

где p_1 - масса хвой или ветвей модельного дерева в абсолютно сухом состоянии, кг; v - объем ствола дерева, m^3 ; p_1/v - переводной коэффициент, $кг/м^3$.

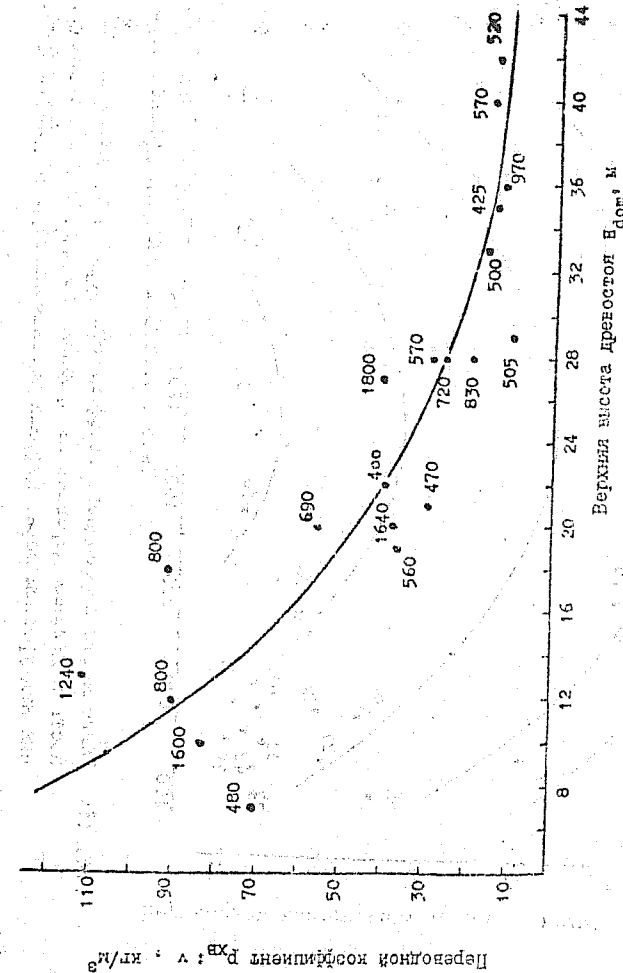


Рис. 10. Зависимость переводного коэффициента (отношения массы хвой дерева ели в абсолютно сухом состоянии к объему ствола в коре), среднего по совокупности модельных деревьев на пробной площади, от верхней высоты древостоев, по данным Г.Бургера (Burger, 1953). Числами обозначена высота местообитания над уровнем моря, м.

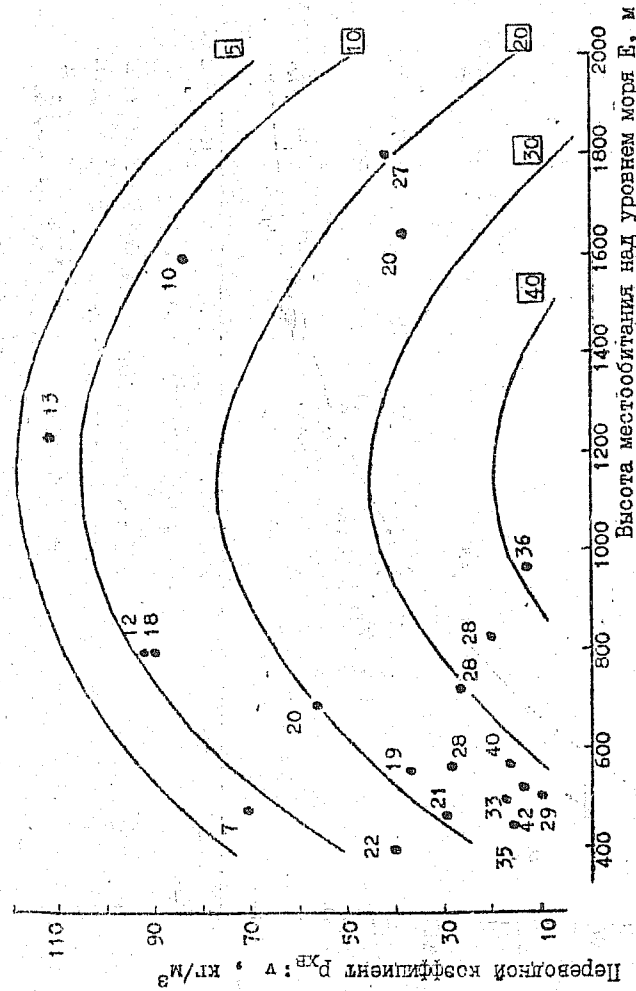


Рис. 11. Зависимость переходного коэффициента $R_{XB}: V$, среднего по совокупности модельных деревьев на пробной площади, от высоты местобитания над уровнем моря. Цифрами обозначена верхняя высота древостоя.

Для стыковки экспериментальных данных фитомассы с базой лесоустроительных данных рассчитываются уравнения на уровне совокупности модельных деревьев (а не одного, среднего для пробной площади), т.е. в уравнение (6) дополнительно вводится диаметр ствола на высоте груди (d , см), характеризующий ценотическое положение дерева

$$p_1/v = f(N_{\text{дом}}, E, D). \quad (7)$$

Уравнения (5) и (7) образуют рекуррентную систему (Усольцев, 1988), в которой верхняя высота является в первом случае зависимой переменной, а во втором - независимой. Наличие рядов распределения деревьев по ступеням толщины для каждой пробной площади (лесоустройство Швейцарии имеет в наличии около 1,5 тысяч пробных площадей) дает возможность с помощью уравнений (5) и (7) сформировать базу данных по фитомассе еловых лесов Швейцарии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для осуществления мониторинга лесов на национальном и глобальном уровнях и разработки различных экологических программ необходима, в качестве исходной основы, база данных по фитомассе лесов. Технология лесоустроительных работ ориентирована сегодня на оценку лишь запасов стволовой древесины, однако при формировании баз данных по фитомассе могут быть использованы банки лесоустроительных данных.

Согласно нашей концепции, теоретическая основа формирования баз данных по фитомассе лесов обеспечивается, во-первых, использованием регрессионного анализа для описания многомерной изменчивости фитомассы древостоев; во-вторых, применением инвариантных физиологически обусловленных взаимосвязей как способа снижения трудоемкости натурных работ и, в-третьих, использованием рекуррентного принципа как методологической основы стыковки данных фитомассы с таксационными нормативами и с выделными банками данных государственного учета лесов.

Разработаны методы и средства для проведения автоматизированной

ческой сортировки повидельного банка лесоустроительной информации. Созданное математическое обеспечение ЭМ является достаточно универсальным и может быть использовано в дальнейшем при проведении подобного рода исследований в других регионах. Наиболее трудоемкая часть подготовки данных полностью выполняется на ЭМ с высокой скоростью и надежностью.

Приведены два варианта стыковки экспериментальных данных фитомассы сосняков с повидельным банком лесоустроительных данных на примере Северского лесничества Учебно-опытного лесхоза УГЛТА. В обоих вариантах предусмотрена процедура двойного взвешивания искомых показателей. Несмотря на то, что в названных вариантах использованы разные банки экспериментальных данных фитомассы сосняков из разных регионов, разные структуры регрессионных моделей, объясняющих изменчивость фитомассы древостоев и разные алгоритмы сортировки повидельного банка лесоустроительных данных, полученные значения абсолютно сухой массы крон 93,2 и 74,8 т, приходящейся на 1000 м³ запаса стволовой древесины сосняков Северского лесничества, можно считать довольно близкими.

Предложенный подход к формированию базы данных по фитомассе лесов Средней Европы (часть примера Швейцарии) нуждается в дальнейшей доработке. Прежде всего, необходимо рассчитать уравнения для переводных коэффициентов фитомассы остальных лесобразующих пород Швейцарии, используя данные Г.Бургера и других исследователей биопроductивности лесов Средней Европы. Затем можно осуществить стыковку полученных уравнений с лесоустроительными данными на примере лесов одного из кантонов. В настоящее время такая работа ведется.

Изложенные результаты полезны не только в решении глобальных и национальных экологических проблем, но и в нынешней практике ведения лесного хозяйства по регионам в связи с переходом на аренду лесов и кадастровой оценкой лесных земель. Методическим руководством по эколого-экономической оценке лесных земель Свердловской области, разработанным в Институте леса УрО РАН (Лебедев, 1992), предусматривается оценка многофункциональных и многоцелевых полезностей, в том

числе кислородопroduцирующей, защитной, водоохранной, водо-регулирующей роли леса, ресурсов ягод, грибов, лекарственных растений, березового сока, коры ивы и т.д.

В то же время методическим руководством не учитываются те колоссальные затраты, которые предусматриваются мировым сообществом на коренную реконструкцию системы ведения лесного хозяйства в связи с неотложными мерами по связыванию атмосферного углерода в лесной растительности. Эти затраты, включая затраты на инфраструктуру, составляют в условиях России около 3 американских долларов (по курсу 1990 года) на 1 т связанного углерода (Shvidenko et al., 1994). С учетом того огромного количества атмосферного углерода, которое предстоит связать и законсервировать в лесной растительности с целью предотвращения катастрофических климатических изменений, эта функция лесов и соответствующие затраты, учитываемые при эколого-экономической оценке лесных земель, должны занять свое место в ряду многочисленных полезностей лесов.

ЛИТЕРАТУРА

- Антанайтис В.В. Изучение роста древостоев на экологической основе // Закономерности роста и производительности древостоев. - Каунас: ЛитСХА, 1985. - С. 11-14.
- Аткин А.С. Законом рности формирования органической массы в лесных сообществах / Автореф. дис... докт. с.-х. наук. - Екатеринбург: УГЛТА. - 40 с.
- Базилевич Н.И. Концептуально-балансовые модели круговорота веществ в геосистемах как метод геосистемного мониторинга // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. УШ. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. - С. 60-71.
- Гортинский Г.Б., Молчанов А.А., Абрашко М.А., Вакуров А.Д., Гусев И.И., Забова И.В., Нематаев Ю.Н., Смирнов В.В., Уткин А.И. Продуктивность лесов европейской части СССР // Ресурсы биосферы: Итоги советских исследований по Международной биологической программе, вып. I. - Ленинград: Наука, 1975. - С. 34-42.

- Детлаф Т.А., Детлаф А.А. Безразмерные критерии как метод количественной характеристики развития животных // Математическая биология развития. - М.: Наука, 1982. - С. 25-39.
- Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. - М.: Статистика, 1973. - 392 с.
- Загребев В.В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. - М.: Лесн. пром-сть, 1978. - 240 с.
- Иванов А.И., Дубинин А.И. Площадь сечения заболони и площадь зоны транзита влаги в ней у сосны обыкновенной // Лесоведение, 1992, № 5. - С. 23-37.
- Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замодчиков Д.Г. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение, 1993, № 5. - С. 3-10.
- Казимиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. - Ленинград: Наука, 1973. - 176 с.
- Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. - Ленинград: Наука, 1977. - 304 с.
- Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1988. - 248 с.
- Козлов М.В., Соколова И.В. Методика определения площади и массы листьев берез // Лесоведение, 1984, № 6. - С. 79-83.
- Колесников В.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. - Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. - 176 с.
- Концепция информатизации лесного хозяйства. - М.: ВНИИЛесресурс, 1990. - 70 с.
- Лебедев Ю.В. Методическое руководство по эколого-экономической оценке лесных земель Свердловской области. - Екатеринбург: Ин-т леса УрО РАН, 1992. - 40 с.
- Лесков Л.В. Еще о полтергейсте // Энергия, 1992, № 8. - С. 54-57.
- Лью Х., Польстер Г., Филдер Г.-И. Физиология древесных растений. - М.: Лесн. пром-сть, 1974. - 424 с.
- Молчанов А.А. Продуктивность органической массы в лесах раз-

- личных зон. - М.: Наука, 1971. - 275 с.
- Онучин А.А., Борисов А.Н. Опыт таксации фитомассы сосновых древостоев // Лесоведение, 1994, № 6. - С. 66-71.
- Основные положения лесного мониторинга в России. - М.: Рослесхоз, 1995. - 8 с.
- Основы лесного законодательства Российской Федерации. М., 52 с.
- Палуметс Я.К. Распределение фракций фитомассы ели европейской в зависимости от возраста и климатических факторов // Лесоведение, 1988, № 2. - С. 34-40.
- Поздняков Л.Н. Продуктивность лесов Сибири // Ресурсы биосферы: Итоги советских исследований по Международной биологической программе, вып. I. - Ленинград: Наука, 1975. - С. 43-55.
- Поздняков Л.Н., Протопопов В.В., Горбатенко В.М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. - Красноярск: Книжное издательство, 1969. - 120 с.
- Продуктивность органической и биологической массы леса / Под редакцией А.А.Молчанова. - М.: Наука, 1974. - 192 с.
- Протопопов В.В., Зюбина В.И. Взаимосвязь климатических факторов среды с фитомассой насаждений и методика ее расчета // Экологическое влияние леса на среду. - Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1977. - С. 3-15.
- Родин Л.Е., Вазилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. - М.; Л.: Наука, 1965. - 253 с.
- Рождественский С.П., Гульбе Т.А., Уткин А.И., Конциц В.А., Гульбе Я.И., Каплина Н.Ф., Ермолова Л.С. Инвариантные продукционно-морфологические характеристики крон деревьев малокиственных пород // Лесоведение, 1991, № 1. - С. 31-41.
- Семечкина М.Г. Структура фитомассы сосняков. - Новосибирск: Наука, 1978. - 166 с.
- Смирнов В.В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР. - М.: Наука, 1971. - 362 с.
- Стадниций Г.В. Экологизация лесоводства // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. - Ленинград: ЛТА, 1984. - С. 48-54.

Терминологический словарь по специальности лесоустройство и лесоинвентаризация. - М.: ДНЦЛР; ВНИИЛесресурс, 1993. - 80 с.
Тябева А.П. Географические закономерности производительности сосновых древостоев // Лесная таксация и лесоустройство: Межвузовские научные труды. - Каунас: ЛитСХА, 1988. - С. 139-147.
Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. - Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1985а. - 191 с.

Усольцев В.А. Принципы полифакториальной оценки биопродуктивности древостоев. - Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1985б. - 48 с.

Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. - Новосибирск: Наука, 1988. - 253 с.

Усольцев В.А., Сальников А.А. Фитомасса крон березы Урало-Казахстанского региона: Принципы составления нормативов // Лесные экосистемы Тургайской впадины. - Кустанай: Печатный двор, 1993. - С. 18-20.

Усольцев В.А., Сальников А.А., Горбунова С.А., Нагимов З.Я. Принципы формирования баз данных по фитомассе лесов России и Швейцарии // Леса Урала и хозяйство в них, вып. 18. - Екатеринбург: УГЛТА, 1995 (в печати).

Усольцев В.А., Сальников А.А. Оценка массы крон березы и осины на основе инвариантных взаимосвязей // Лесоведение, 1996 (в печати).

Усольцев В.А., Чернов Н.Н., Кириллова В.В., Тепикин С.В. Регрессионные модели и таблицы древесной зелени деревьев пихты сибирской // Леса Урала и хозяйство в них, вып. 17. - Екатеринбург: УГЛТА, 1994а. - С. 128-154.

Усольцев В.А., Тепикин С.В., Мельникова И.В., Нагимов З.Я. Оценка массы крон сосны и ели Среднего Урала на основе псевдоинвариантных взаимосвязей // Там же, 1994б. - С. 112-127.

Усольцев В.А., Мельникова И.В., Тепикин С.В., Нагимов З.Я. Ход роста надземной фитомассы сосняков и ельников Среднего Урала // Там же, 1994в. - С. 155-169.

Усольцев В.А., Тепикин С.В., Мельникова И.В., Сальников А.А., Кириллова В.В., Нагимов З.Я. Применение биологически обусло-

вленных взаимосвязей при формировании банка данных фитомассы лесов // Современные аспекты лесной таксации. Сборник научн. трудов, вып. 38. - Гомель: Ин-т леса АН Беларуси, 1994г. - С. 226-228.

Уткин А.И. Исследования по первичной биологической продуктивности лесов в СССР // Лесоведение, 1970, № 3. - С. 58-89.

Федоренко Н.П., Реймерс Н.Ф. Экология и экономика - эволюция взаимоотношений. От "экономики природы" до "большой" экологии // Философские проблемы глобальной экологии. - М.: Наука, 1983. - С. 230-277.

Adams P.W. Estimating biomass in northern lower Michigan forest stands // Forest Ecol. Manage., 1982, Vol.4. - P.275-286.

Andrasko K.J., Ahuja D.R., Winnett S.M., Tirkak D.A. Policy options for managing biomass burning to mitigate global climate change // Levine J.S.(ed.). Global biomass burning: Atmospheric, climatic, and biospheric implications. - London: The MIT Press, 1991. - P. 445-456.

Armentano T.V., Ralston C.W. The role of temperate zone forests in the global carbon cycle // Can.J.For.Res., 1990, Vol. 10. - P. 53-60.

Birdsey R.A. Changes in forest carbon storage from increasing forest area and timber growth // Sampson R.N. and Hair D. (eds.). Forests and global warming. - Washington, DC: Amer. For. Association, 1992.

Bonnor G.M. Inventory of forest biomass in Canada. - Can.For. Serv., Petawawa Nat. Forestry Institute, 1985. - 63 p.

Brown S., Lugo A., Chapman J. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget // Can.J.For.Res., 1986, Vol.16. - P. 390-394.

Brown S., Gillespie A.J.R., Lugo A. Biomass estimation methods to tropical forests with applications to forest inventory data // Forest Sci., 1989, Vol. 35. - P.881-902.

Burger H. Holz, Blattmenge und Zuwachs. 1.Mitteilung: die Weymouthshöhe // Mitt.Schweiz.Anstalt Forstl.Versuchswesen, 1929, Bd.15. - S.243-292.

Burger H. Holz, Blattmenge und Zuwachs. 13.Mitteilung: Fichten in gleichaltrigen Hochwald // Ibid, 1953, Bd.29. - S.38-130.

- Cannell M.G.R. World forest biomass and primary production data.- London: Academic Press Inc., 1982.- 391 p.
- Crutzen P.J., Andreae M.O. Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles// Science, 1990, Vol.250.- P. 1669-1678.
- DeAngelis D.L., Gardner R.H., Shugart H.H. Productivity of forest ecosystems studied during the IBP: the woodlands data set // Reichle D.E.(ed.). Dynamic properties of forest ecosystems (IBP-23).- Cambridge: University Press, 1981.- P.567-672.
- Delcourt H.R., West D.C., Delcourt P.A. Forests of the south eastern United States: quantitative maps for aboveground woody biomass, carbon and dominance of major tree taxa // Ecology, 1981, Vol.62.- P.879-887.
- Dixon R.K., Krenkina O.N. Forest fires in Russia: carbon dioxide emission to the atmosphere // Can.J.For.Res., 1993, Vol.23.- P.700-705.
- Fannestock G.R. Carbon input to the atmosphere from forest fires // Science, 1979, Vol.204.- P.209-210.
- Flury Ph. Untersuchungen über das Verhältniss der Reisigmasse zur Derbholzmasse // Mitt.Schweiz.Centralanstalt Forstl. Versuchswesen, 1892, Bd.2.- S.25-32.
- Gammon R.E., Sundquist E.T., Fraser P.J. History of carbon dioxide in the atmosphere // Trabalka J.R.(ed.). Atmospheric carbon dioxide and the global carbon cycle.- U.S.Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory, 1985.- P.25-62.
- Global BIOME Program.- U.S.Environmental Protection Agency.-Corvallis, 1991.- 8 p.
- Hitchcock H.C.III. Converting traditional CFI data into biomass values: a case study // Prayer W.(ed.). Forest Resource Inventories, Vol.II.- Colorado State Univ., Fort Collins, CO., 1979.- P.596-614.
- Horntvedt R. Crown density of spruce trees related to needle biomass // Forest Ecol. Manage., 1993 Vol.59.- P.225-235.
- Houghton J.T., Callander B.A., Varney S.K. (eds.). Climate change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge: University Press, 1992.- 200 p.

- Innes J.L., Boswell R.C. Reliability, presentation, and relationships among data from inventories of forest condition // Can.J.For.Res., 1990, Vol.20.- P.790-799.
- IUFRO International Guidelines for Forest Monitoring.-IUFRO World Series, Vol.5, 1994.- 102 p.
- Johnson W.C., Sharpe D.M. The ratio of total to merchantable forest biomass and its application to the global carbon budget // Can.J.For.Res., 1983, Vol.13.- P.372-383.
- Kaufmann M.R., Watkins R.K. Characteristics of high- and low-vigor lodgepole pine trees in old-growth stands // Tree Physiology, 1990, Vol.7.- P.239-246.
- Keller W. Einfacher ertragskundlicher Bonitätschlüssel für Waldbestände in der Schweiz // Mitt.Eidgen.Anstalt Forstl. Versuchswesen, 1978, Bd.54, H.1.- 98 S.
- Kimmins J.P., Binkley D., Chatard L., de Catanzaro J. Biogeochemistry of temperate forest ecosystems: Literature on inventories and dynamics of biomass and nutrients.- Can. Forest Serv., PNFI, Inform.Rep. PI-X-47, 1985.- 227 p.
- Kolchugina T.P., Vinson T.S. Equilibrium analysis of carbon pools and fluxes of forest biomes in the former Soviet Union // Can.J.For.Res., 1993a, Vol.23.- P.81-88.
- Kolchugina T.P., Vinson T.S. Comparison of two methods to assess the carbon budget of forest biomes in the former Soviet Union // Water, Air and Soil Pollution, 1993b, Vol.70.- P.207-221.
- Kräuchi N. Climate change and forest ecosystems - an overview // Schläpfer R.(ed.). Long-term implication of climate change and air pollution on forest ecosystems. Progress report of the IUFRO Task Force "Forest, Climate and Air Pollution".- Vienna, IUFRO; Birmensdorf, WSL.- IUFRO World Series, Vol.4, 1993.- P.55-76.
- Levine J.S.(ed.). Global biomass burning: atmospheric, climatic and biospheric implications.- London: The MIT Press, 1991.- 569 p.
- Olson J.S., Watts J.A., Allison L.J. Carbon in live vegetation of major world ecosystems // ORNL-5862, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 1983.- 152 p.

- Palumets J.K. Analysis of phytomass partitioning in Norway spruce.- VIII Scripta Botanica. Tartu: Univer.Press, 1991.- 95 p.
- Penner M. Canada's biomass inventory: deriving biomass from volume // Proc. Intern. Meeting "Boreal Forests and Global Change". Canada, Saskatoon, 25-28 September.-Water, Air and Soil Pollution, 1995 (in press).
- Sampson R.N. Forestry opportunities in the United States to mitigate the effects of global warming // Water, Air and Soil Pollution, 1992, Vol.64.- P.157-180.
- Schlöpfer R.(ed.). Long-term implications of climate change and air pollution on forest ecosystems.- Progress Report of the IUFRO Task Force "Forest, Climate Change and Air Pollution".-Vienna, IUFRO; Birmensdorf, WSL.- IUFRO World Series, 1993, Vol.4.- 133 p.
- Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Erstaufnahme 1982-1986.- Eidgen. Anstalt für das forstl. Versuchswesen. Berichte, 1988, Nr.305.- 375 S.
- Sedjo R.A. Temperate forest ecosystems in the global carbon cycle // Ambio, 1992, Vol.2, No.4.- P.274-277.
- Sharp D.D., Lieth H., Whigham D. Assessment of regional productivity in North Carolina // Lieth H., Whittaker R.H.(eds). Primary productivity of the biosphere. New York, Springer.- Ecological Studies, Vol.14, 1975.- P.131-146.
- Shinozaki K., Yoda K., Hozumi K., Kira T. A quantitative analysis of plant form - the pipe model theory // Jap.J.Ecol. 1964, Vol.14, No.3. - 1: Basic analysis, p.97-105; No.4. -2: Further evidence of the theory and its application in forest ecology, p.133-139.
- Shvidenko A., Nilsson S., Rozhkov V. Status and possibilities for increased influences of the terrestrial biota on the carbon budget in the territories of the former USSR // Proc. of Air. D. West. Assn. Int. Conf., USA, 1994 (in press).
- Smith J.F.G. Methods for use of timber inventory data to estimate average and upper limits to growth and yield of biomass //Working Party on the Mensuration of the Forest Biomass.

- S4.01.Mensuration, Growth and Yield, June 22, 1976. Oslo, Norway, Univer.Maine, Orono.- P.163-174.
- Solomon A.M., Trabalka J.R., Reichle D.E., Voorhees L.D. The global cycle of carbon // Trabalka J.R.(ed.). Atmospheric carbon dioxide and the global carbon cycle.- U.S.Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory, 1985.- P.1-13.
- Takahashi K.(ed.). Interim Report of Joint Research Project "Carbon Storage and Carbon Dioxide Budget in Forest Ecosystems" between Japan and Russia.- Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo; Yakutsk Institute of Biology, Russia, 1994.- 105 p.
- Tans P.P., Fung I.Y., Takahashi T. Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget // Science, 1990, Vol.247.- P.1431-1438.
- Usoltsev V.A. Recurrent regression system as a base for tree and stand biomass tables // Harvesting and utilization of tree foliage. IUFRO Project Group P3.05-00 Meeting. Riga, 1989.- P.217-245.
- Usoltsev V.A. Mensuration of forest biomass: Modernization of standard base of forest inventory // XIX World Congress Proc., IUFRO, Division 4. Canada, Montreal, 1990.- P.79-92.
- Wong C.S. Atmospheric input of carbon dioxide from burning wood // Science, 1978, Vol.200.- P.197-200.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	3
I. МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСОВ.....	10
I.1. Рекомендации ИУФРО по международному мониторингу лесов.....	10
I.1.1. Уровни мониторинга лесов.....	11
I.1.2. Виды мониторинга.....	12
I.1.3. Источники информации для мониторинга.....	15
I.1.3.1. Картографический материал.....	15
I.1.3.2. Данные дистанционного зондирования.....	16
I.1.3.3. Полевая информация.....	19

I.1.4.	План выборочного учета.....	21
I.1.4.1.	Стадии выборочного учета.....	22
I.1.4.2.	Стратификация объекта.....	22
I.1.4.3.	Многостадийный и многофазный выборочный учет....	23
I.1.4.4.	Целевой, или нестатистический выборочный учет....	27
I.1.4.5.	Общие аспекты.....	27
I.1.5.	Построение инфраструктуры мониторинга.....	28
I.1.5.1.	Структура и организация мониторинга.....	28
I.1.5.2.	План мониторинга.....	29
I.2.	Основные положения лесного мониторинга в России	30
I.2.1.	Общие положения.....	31
I.2.2.	Цели лесного мониторинга.....	31
I.2.3.	Организационная структура лесного мониторинга....	32
I.2.4.	Средства и методы ведения лесного мониторинга....	34
I.2.5.	Организация и внедрение системы лесного мониторинга.....	36
2.	ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ.....	39
2.1.	Программа BIOME.....	39
2.2.	Другие экологические программы.....	44
3.	ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗ ДАННЫХ О ФИТОМАССЕ ЛЕСОВ РОССИИ И СРЕДНЕЙ ЕВРОПЫ.....	48
3.1.	Некоторые методические вопросы создания баз данных о фитомассе лесов.....	48
3.1.1.	Сводные таблицы и банки данных о фитомассе лесов	48
3.1.2.	Банки данных и географическая изменчивость фитомассы лесов.....	49
3.1.3.	Использование физиологически обусловленных взаимосвязей при создании банков данных о фитомассе лесов.....	51
3.1.4.	Стыковка экспериментальных данных фитомассы с традиционными таксационными нормативами.....	53
3.1.4.1.	Переводной коэффициент.....	53
3.1.4.2.	Стыковка фитомассы с таблицами хода роста древостоев.....	58

3.2.	Формирование базы данных по фитомассе лесов Урала	61
3.2.1.	Методы формирования баз данных по фитомассе лесов	61
3.2.3.	Составление базы данных по фитомассе сосняков на примере Учебно-опытного лесхоза УГЛТА.....	65
3.3.	Принципы формирования базы данных по фитомассе лесов Швейцарии.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		79
ЛИТЕРАТУРА.....		81
ОГЛАВЛЕНИЕ.....		89