

УДК 581.5; 504.7

К.В. Колчин, Е.В. Марковская, В.А. Азаренок
K.V. Kolchin, E.V. Markovskaya, V.A. Azarenok

Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

**ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ:
ОТ ПРОБНОЙ ПЛОЩАДИ - К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА**

**ESTIMATING FOREST BIOLOGICAL PRODUCTIVITY - FROM A SAMPLE
PLOT TO THE AUTOMATIC SPACE ANALYSIS SYSTEM**



Ключевые слова: фитомасса, чистая первичная продукция, деревья, древостои, пробные площади, экстраполяция данных, базы данных, рекурсивные модели, блок-схемы алгоритмов расчета, безбумажная информатика, система управления базой данных ADABAS, интерактивные карты.

Проанализирована история развития научного направления «Биологическая продуктивность лесных экосистем» от непосредственного определения фитомассы и чистой первичной продукции деревьев и древостоев на пробных площадях к совмещению баз данных о фитомассе и чистой первичной продукции с данными государственного учета лесов на основе системы управления базой данных ADABAS и приложений *Natural*.

Keywords: biomass, net primary production, trees, forests, sample plots, extrapolation of data, databases, recursive model, flowchart algorithms, paperless informatics, database management system ADABAS, interactive maps.

The history of the development of scientific direction "Biological productivity of forest ecosystems» from the direct determination of net primary production and biomass of trees and forest stands on sample plots - to combining databases of biomass and net primary production with the data of National System of Forests Inventory on the basis of the system of database management ADABAS and applications *Natural* is reported.

Марковская Екатерина Владимировна - магистр 1 курса Уральского государственного лесотехнического университета (г. Екатеринбург). Тел. (343)328-06-11; e-mail: sqwid@mail.ru.

Markovskaya Ekaterina Vladimirovna - Magister of the Ural State Forest Engineering University (Yekaterinburg). Phone: (343)328-06-11; e-mail: sqwid@mail.ru.

Азаренок Василий Андреевич - доктор сельскохозяйственных наук, профессор Уральского государственного лесотехнического университета (г. Екатеринбург). Тел. 8-912-68-68-841; e-mail: azarenok_96@mail.ru.

Azarenok Vasilij Andreyevich - doctor of agricultural sciences, professor of the Ural State Forest Engineering University (Yekaterinburg). Phone: 8-912-68-68-841; e-mail: azarenok_96@mail.ru.

История естественных наук характеризуется длительным периодом дискурсивного наблюдения, а также накопления и классификации огромного количества фактов, прежде чем они подвергаются какому-то осмыслению (Бернал, 1956). Затем на базе накопленных фактов появляется необходимость выявления закономерностей, поскольку знание некоторых закономерностей освобождает от необходимости знания очень многих фактов (Усольцев, 2003). В частности, история развития науки о продуктивности лесов, включающей основные положения лесной биологии и лесной таксации, прошла путь от прямых измерений в лесу до современных моделей роста и продуктивности лесов, разработанных на основе последних достижений в области информационных технологий (Pretzsch, 2009).

Наука о биологической продуктивности лесов как специфичная составная часть упомянутой науки о продуктивности лесов в целом, прошла аналогичный путь. Лесная таксация, как наука о количественной оценке лесных ресурсов, традиционно была ориентирована только на «стереометрическую» оценку ствола дерева как источника древесного сырья. Лишь в конце XIX в. появились первые данные о массе крон (Flury, 1892), имевшие целью вовлечь в ресурсный потенциал все части дерева. Ресурсоведческий аспект оценки всей фитомассы лесов получил развитие в 1930-1960-х, продолжаясь вплоть до 1980-х гг. (Рейхардт, 1934; Usolzew, 1971; Усольцев, 1971а, 1972 а,б; 1975 а, б; 1978, 1982, 1983, 1984), и был резюмирован как лесное ресурсоведение (Поздняков, 1973). В течение этого периода пришло осознание сдерживающей роли экономического фактора в проблеме использования всей фитомассы лесов, которое не всегда было рентабельным. На экономический накладывается ещё и экологический фактор – опасность снижения стабильности лесной экосистемы и необходимость компенсации элементов питания, выносимых из нее при использовании всей фитомассы.

В 1964-1974 гг. изучение фитомассы и годичной продукции лесов было стимулировано Международной биологической программой (МБП), осуществляемой под девизом «Биологические основы продуктивности и благосостояние человечества», и вслед за ней программой «Человек и биосфера», в ходе реализации которых получили существенное развитие как методологическая, так и фактологическая стороны проблемы. Было заложено огромное количество пробных площадей по экспериментальному определению фитомассы, резко возрос объем информации о биологической продуктивности лесов (Поздняков и др., 1969; Уткин, 1970; Протопопов, Грибов, 1971; Усольцев, 1971б, 1972в, 1973; 1974, Казимиров, Морозова, 1973; Усольцев, Усольцева, 1977).

Очередной бум в изучении биологической продуктивности лесов начался в 1973 году после резкого повышения цен на нефть странами ОПЕК. При этом биологическая продукция лесов рассматривалась в качестве возобновляемого источника энергии. Особенно драматизировали ситуацию в США, приравнивая «энергетический кризис» по исторической значимости к таким событиям, как рождение Христа и минувшие две мировые войны (Young, 1981). Постепенно выяснилось, что экономика производства «энергетической» древесины, как и эффективность утилизации всей фитомассы, оказывается довольно шаткой. Цены на нефть выровнялись, и проблема на какое-то время отошла на задний план.

В последние годы мировая лесная экология переживает очередной, ранее не виданный по масштабам информационный всплеск в оценке биопродуктивности лесов в предвидении антропогенного изменения климата. Нынешний ажиотаж вокруг проблемы нарушенного углеродного баланса биосферы и сомнительных надежд на его восстановление путем тотального облесения планеты переходит в русло общей парадигмы устойчивого развития (sustainable development), в рамках которой на первый план выступает биосферная функция лесов, а ресурсное лесопользование рассматривается как подчиненная задача (Уткин, 1995).

Сегодня фитомасса лесов рассматривается как их основная характеристика, определяющая ход процессов в лесных экосистемах и используемая в целях экологического мониторинга, устойчивого ведения лесного хозяйства, моделирования продуктивности лесов с учетом глобальных изменений, изучения структуры и биоразнообразия лесного покрова, оценки углерододепонирующей емкости лесов (Усольцев, 1993, 1994, 1995а).

Понятия *углерод* и *фитомасса* связаны стабильным соотношением 1 : 2. Однако точность оценок депонируемого в лесной фитомассе углерода оставляет желать лучшего. Первые оценки фитомассы и чистой первичной продукции (ЧПП) лесного покрова были выполнены российскими учеными (Базилевич, Родин, 1967) путём прямой экстраполяции данных 150 пробных площадей о фитомассе и ЧПП на экорегионы и биомы. Методическим недостатком такого приема является отсутствие подтверждения репрезентативности той или иной пробной площади, т.е. информации о том, насколько эта пробная площадь или их совокупность являются характерными для региона, особенно, если принять во внимание варьирование в его пределах возраста, морфологии и породного состава лесов. Данные Государственного учёта лесного фонда (ГУЛФ) при этом не учитывались.

Отказавшись от прямой экстраполяции данных о фитомассе, полученных на пробных площадях, превышающей среднерегionalные оценки в 2-3 раза, Р.В. Опритова с соавторами (1982), а затем М.Ф. Макаревский (1991) впервые в России применили переводной коэффициент общей фитомассы (отношение фитомассы к запасу). М.Ф. Макаревский совместил названный коэффициент с данными ГУЛФ, выделив в них три породные группы и в каждой - три возрастных группы. Тем самым была реализована стыковка фактических данных о фитомассе на пробных площадях с данными ГУЛФ.

Следующим шагом в направлении оценки депонирования углерода в фитомассе на лесопокрытых площадях всей территории России явилось совмещение переводных коэффициентов не только фитомассы, но и ЧПП, со сводными данными ГУЛФ, при котором исходные данные фитомассы, ЧПП и ГУЛФ были структурированы по каждой породе и возрастным группам (Исаев и др. 1993; Алексеев, Бердси, 1994). Были рассчитаны общие запасы углерода, составившие для лесного фонда России 38,6 Гт, и годовое депонирование углерода в лесфонде – 262 млн. т. В упомянутых исследованиях исходными (базовыми) единицами расчета являются территориальные комплексы, что затрудняет детальное картирование фитомассы и ЧПП лесов.

Наряду с оценками фитомассы на уровне регионов с использованием сводных данных ГУЛФ, были предприняты первые попытки использовать повыдельные банки данных и оценивать фитомассу лесов на уровне отдельных лесхозов и лесничеств. В частности, данные Учебно-опытного лесхоза УГЛТА были структурированы с помощью СУБД FoxBase plus (версия 2), а материалы ГУЛФ Невьянского лесхоза Свердловской области - с помощью СУБД Paradox версии 4.5 (Усольцев и др., 1995; Усольцев, 1995б; Usoltsev, Hoffmann, 1997; Usoltsev, Salnikov, 1998; Усольцев, 1998; Усольцев, Сальников, 1998; Сальников, Усольцев, 1999; Усольцев и др., 2002). Однако оценивать фитомассу и ЧПП лесов на основе повыдельных банков данных для крупных экорегионов, а тем более, для всей России, технически довольно трудно, даже при наличии актуализированных повыдельных данных, обычно недоступных для пользователей. Особенно, если учесть, что лесоустройство в России давно ликвидировано, и все имеющиеся повыдельные банки данных ГУЛФ устарели минимум на два десятилетия.

Поэтому оценки фитомассы и ЧПП лесного покрова России оцениваются сегодня на основе современных информационных технологий по сводным данным ГУЛФ лесхозов (лесничеств) (Усольцев и др., 1999, 2007а,б), иногда скорректированным с помощью дистанционных методов (Швиденко и др., 2000, 2004, 2007, 2008), а также на

основе хлорофиллового индекса и фотосинтетического стока углерода (Воронин и др., 2004).

В частности, разработан математико-статистический инструментарий (системы рекурсивных многофакторных моделей), обеспечивший корректное совмещение фактических данных фитомассы с данными ГУЛФ, а фактических данных ЧПП - не только с материалами ГУЛФ, но и с данными фитомассы (рис. 1). Отличительная особенность данных исследований состоит не только в территориально более детальных расчетах, но и в использовании рекурсивного принципа совмещения результатов экстраполяции фитомассы и ЧПП пробных площадей на лесопокрытые площади лесхозов и уже затем - территориальных комплексов (Усольцев и др., 2008 *а,б,в,г*; Усольцев и др., 2009*а*).

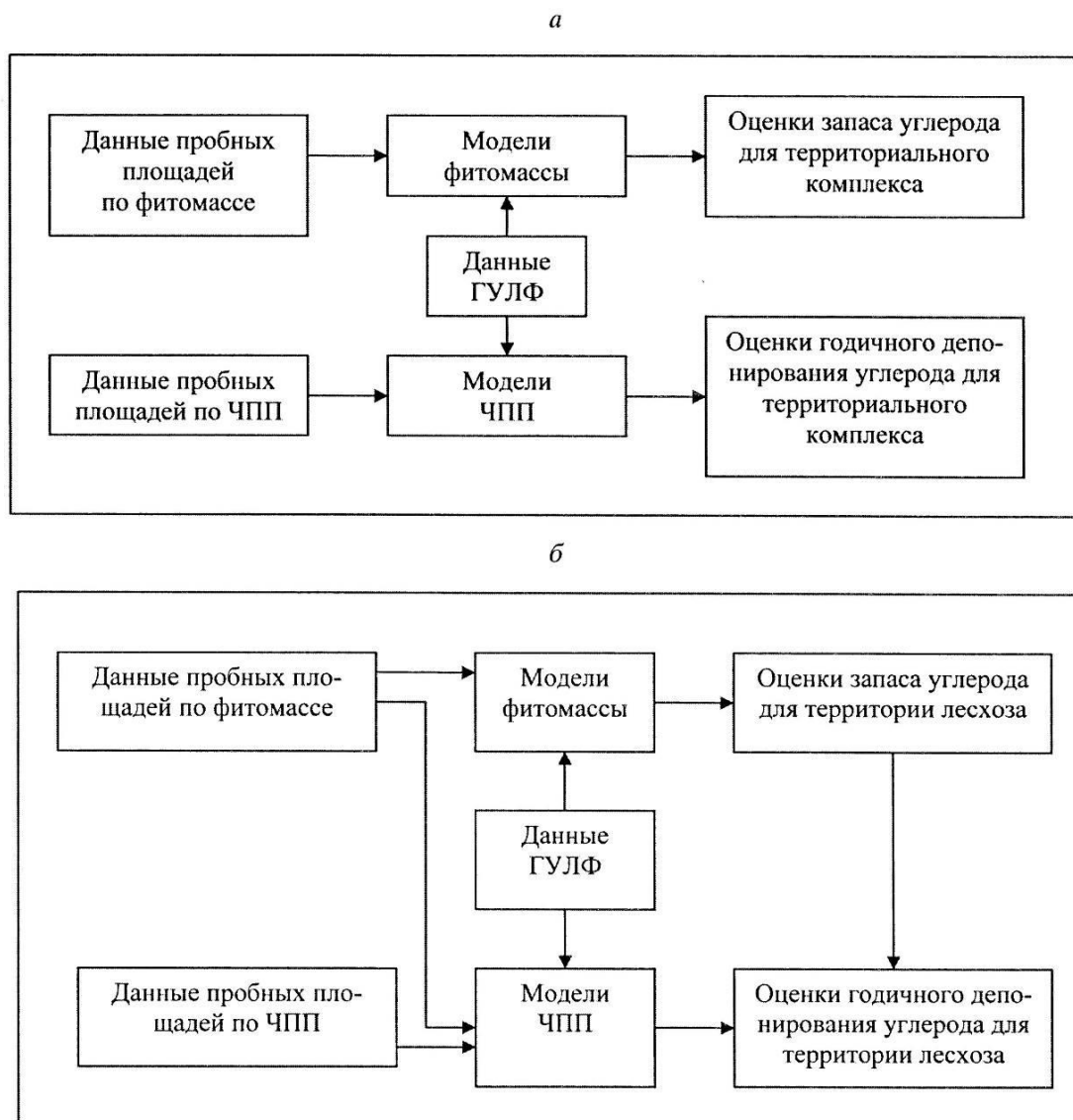


Рис. 1. Блок-схемы алгоритмов расчета фитомассы и ЧПП (или углерода и его годичного депонирования) насаждений территориальных комплексов согласно предложениям: *а* - Д.Г. Замолодчикова и А.И. Уткина (2000) и *б* - В.А. Усольцева с соавторами (2008*а*).

Сказанное поясняется сопоставлением двух алгоритмов, показанных на блок-схемах (см. рис. 1). Согласно первому алгоритму (см. рис. 1, А), расчеты фитомассы и ЧПП выполняются параллельно (Замолодчиков, Уткин, 2000), и их результаты не связаны между собой. Согласно второму алгоритму (см. рис. 1, Б) расчеты выполняются последовательно: вначале рассчитываются модели фитомассы в зависимости от запаса стволовой древесины и возраста древостоев, а затем – модели ЧПП в зависимости от

тех же показателей и от показателей фитомассы (Усольцев и др., 2008 *а,б,в,г*; Усольцев и др., 2009*а*). Соответственно совмещение моделей с данными ГУЛФ (структурированными по запасу и возрасту древостоев) также выполняется последовательно. Сравнительная проверка двух методов совмещения экспериментальных данных фитомассы и ЧПП с материалами ГУЛФ показала, что первый завышает результаты по сравнению со вторым в 2-3 раза (Швиденко и др., 2007; Усольцев, 2007*а*; Усольцев и др., 2009*а,б*; 2010*а*).

Расчетами, выполненными по второму алгоритму на покрытой лесом площади 106 млн. га по 305 лесхозам Уральского региона (10 территориальных образований, площадь которых составляет 16% от общей территории России) установлено, что общий углеродный пул фитомассы лесов составляет 4556 млн. т и годовое депонирование углерода в фитомассе 271 млн т (рис. 2, 3).

А.З. Швиденко с соавторами (2007, 2008) показали, что их метод моделей хода роста фитомассы при совмещении последней с данными ГУЛФ на уровне территориальных комплексов дал расхождение с результатами, полученными по методике В.А. Усольцева с соавторами (1999, 2007*а*) в пределах 3-5%. При оценке ЧПП лесного покрова отклонения результатов, полученных по методике А.З. Швиденко, от результатов, полученных по альтернативным методикам В.А. Усольцева (1999, 2007*а*) и П.Ю. Воронина с соавторами (2004) находились в пределах 8%, т.е. были сравнительно близкими, но по сравнению со всеми тремя результаты, полученные по методике Д.Г. Замолдчикова и А.И. Уткина (2000), оказались завышенными в 2,2-3,6 раза.

В результате анализа существующей ситуации с оценкой биопродуктивности лесного покрова В.А. Усольцев с соавторами (2011) сделали следующие выводы:

- с течением времени происходит непрерывное пополнение баз данных о фитомассе и ЧПП лесов новыми материалами – фактическими определениями на пробных площадях;
- расчет и картирование биологической продуктивности лесного покрова территориальных образований (с принятием площади лесничества в качестве исходной единицы расчета и картирования) представляет собой чрезвычайно трудоемкую и многоэтапную процедуру, что создает существенные проблемы при актуализации подобных результатов;
 - нет общепризнанных достаточно адекватных методов расчета ЧПП на лесопокрытых площадях, и любое методическое усовершенствование влечет за собой весьма трудоемкую модификацию результата расчетов и картирования;
 - материалы ГУЛФ регулярно обновляются, изменяются лесопокрытые площади лесничеств за счет изменения категорий земель, а также за счет объединения-разделения «держателей» лесфонда, что также требует непрерывной чрезвычайно трудоемкой актуализации результата расчетов и картирования углеродного пула и депонирования углерода в фитомассе на покрытых лесом площадях.

Все перечисленное означало, что алгоритмы расчета и картирования биологической продуктивности лесного покрова необходимо переводить с существующей примитивной системы многоэтапных громоздких расчетов в режим их автоматизации на основе последних достижений в области информационных технологий.

Информационные потоки сейчас на шесть порядков превышают естественные возможности человечества усваивать информацию (Кондратьев и др., 2003), и будущее – за безбумажной информатикой (Глушков, 1987). Дж. Мартин в 1980 г. писал: «Историки будут рассматривать появление банков данных на ЭВМ и возможностей, связанных с ними, как шаг, изменивший природу эволюции общества и имеющий, возможно, большее значение, чем изобретение печатного станка» (цит. по: Борщев, 1982). Термины «банк данных» и «база данных» часто используются как синонимы. Такого же мнения придерживается В.Б. Борщев (1982), отмечая в то же время, что первый термин чаще

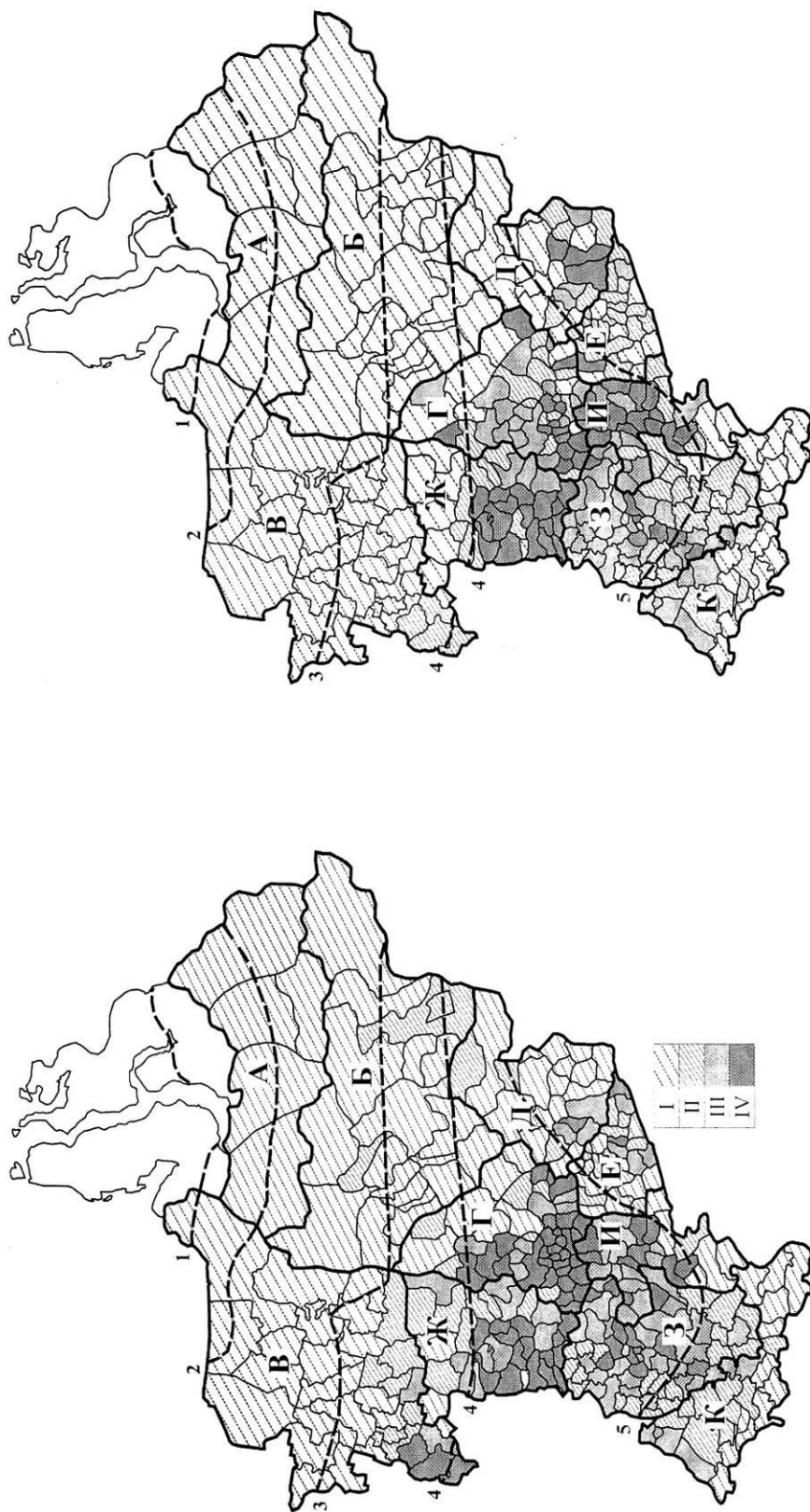


Рис. 2. Распределение запасов углерода (слева) и его годовичного депонирования (справа) в фитомассе насаждений в расчете на общую (в границах лесхозов) площадь. Градации запасов углерода, т/га: I – 3,0-38,5; II – 38,5-46,5; III – 46,5-54,5; IV – 54,5-110. Градации депонирования углерода, т/га: I – 0,4-2,7; II – 2,7-3,4; III – 3,4-4,0; IV – 4,0-5,8. Сплошной линией обозначены границы лесничеств, пунктирной – южные границы: 1 – тундры, 2 – лесотундры; 3 – северной тайги, 4 – средней тайги, 5 – южной тайги, Буками обозначены административные образования: А–Ямало-Ненецкий АО; Б – Хаангы-Мансийский АО; В – республика Коми; Г – Свердловская обл.; Д – Тюменская обл.; Е – Курганская обл.; Ж – Пермский край; З – Башкирия; И – Челябинская обл.; К – Оренбургская обл.(Усолцев и др., 2009а,б; 2010а).

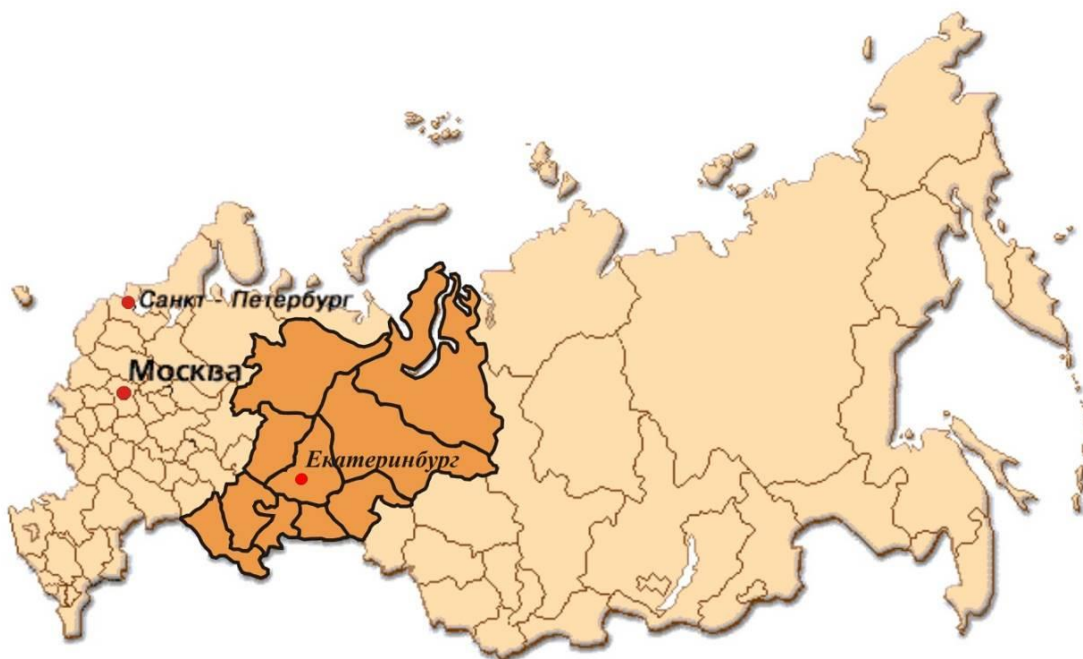


Рис. 3. Положение 10 территориальных образований Уральского региона на территории России (Воронов и др., 2010, 2012).

встречается в популярных работах, а в специальной литературе, особенно при обсуждении точных понятий, чаще употребляется второй термин.

База данных – это реализованная средствами вычислительной техники специальная система для хранения данных о некотором фрагменте действительности, необходимых для решения многих задач. Функционирование базы данных обеспечивается специальной системой программ – системой управления базами данных (Борщев, 1982).

Накопленный опыт совмещения регрессионных моделей биопродуктивности насаждений с данными ГУЛФ (Исаев и др., 1993; Алексеев, Бердси, 1994; Усольцев, 1998; 2007а,б; Швиденко и др., 2000, 2004, 2007, 2008) создает предпосылки для создания автоматизированной и актуализируемой системы пространственного анализа биопродуктивности на основе системы управления базами данных (СУБД).

Огромными неиспользуемыми возможностями обладает одна из наиболее быстросрабатывающих в мире СУБД ADABAS (сокр. от: Adaptable DAta BAse System) с редактором приложений *Natural* (Часовских и др., 2006). Автоматизированная информационная система рассматривается в виде совокупности программных модулей, каждый из которых представляет собой модель определенного автоматизируемого процесса и может быть представлен в виде совокупности его программных элементов и системных связей между элементами, которые задают структуру модуля. Концепция проектирования информационной системы пространственного анализа биопродуктивности лесных экосистем заключается в моделировании структуры посредством выбора необходимых для системы программных элементов и задания функциональных связей между этими элементами (Воронов и др., 2008; Усольцев и др., 2009в,г; 2010а,б; 2011б; Воронов и др., 2009а,б,в; 2010а,б,в; 2011а,б,в, г; 2012а,б; 2013, 2014; Часовских и др., 2014). Программные элементы классифицированы по функциональным признакам (рис. 4).

Разработанная информационная система дает возможность полной автоматизации расчетов и актуализации результатов (Воронов и др., 2009а,б,в; 2010а,б,в; 2011а,б,в,г; 2012а,б; 2013, 2014). Участие оператора предполагается лишь на этапах ввода и корректировки исходных данных, т.е. данных ГУЛФ и фактических значений фитомассы и ЧПП, дополнительно полученных на пробных площадях. Предполагается

также автоматический перерасчет коэффициентов регрессионных уравнений (КРУ) фитомассы и ЧПП с исключением статистически не значимых переменных, а также перерасчет итоговых данных. Передача итоговых значений в среду отображения осуществляется в формате ГИС «Карта 2008». Схема аналитического блока системы представлена на рис. 5. Опция Главного управляющего приложения «Экспорт данных для отображения на карте» запускает процедуру формирования двух файлов транспортировки для значений как фитомассы, так и ЧПП.

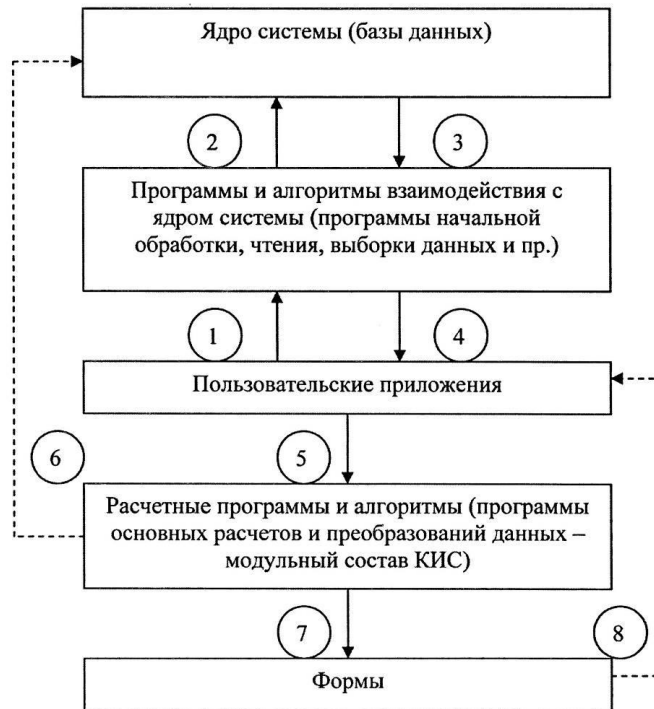


Рис. 4. Классификация программных элементов по функциональным признакам (Воронов, 2010а, 2012а; Усольцев и др., 2011а).

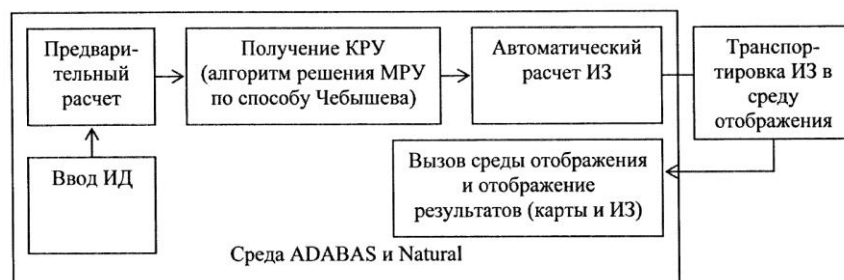


Рис. 5. Схема реализации аналитического блока системы пространственного анализа депонирования углерода лесными экосистемами территориального комплекса (Воронов, 2010а, 2012а; Усольцев и др., 2011а).

В формате ГИС созданы интерактивные карты для фитомассы и ЧПП, в каждой задается по одному слою для каждой из десяти древесных пород и по одному слою для отображения итоговых значений фитомассы и ЧПП. Каждая карта содержит 12 слоев. Результирующие изображения карты для фитомассы и ЧПП показаны соответственно на рис. 6 и 7. При двойном щелчке мыши в границах каждого лесничества вызывается информационный диалог, в котором представлены название лесничества, соответствующие ему значения запаса и фитомассы и ЧПП по фракциям для каждой из пород, а также информация о координатах границ лесничества, его площади и периметра. Перемещение по слоям производится при помощи поля со списком.

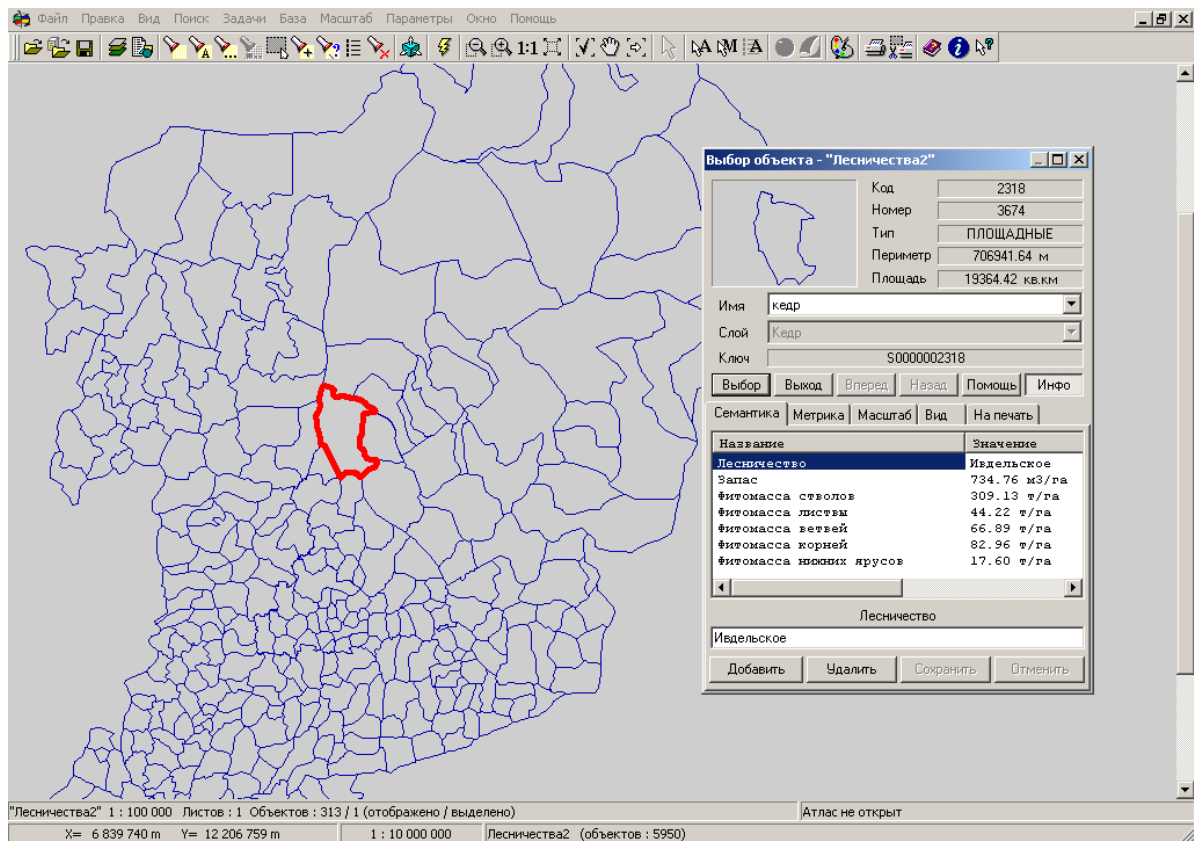


Рис. 6. Отображение на электронной карте значений фитомассы по фракциям для каждой древесной породы по каждому лесничеству (Воронов, 2010а, 2012а; Усольцев и др., 2011а).

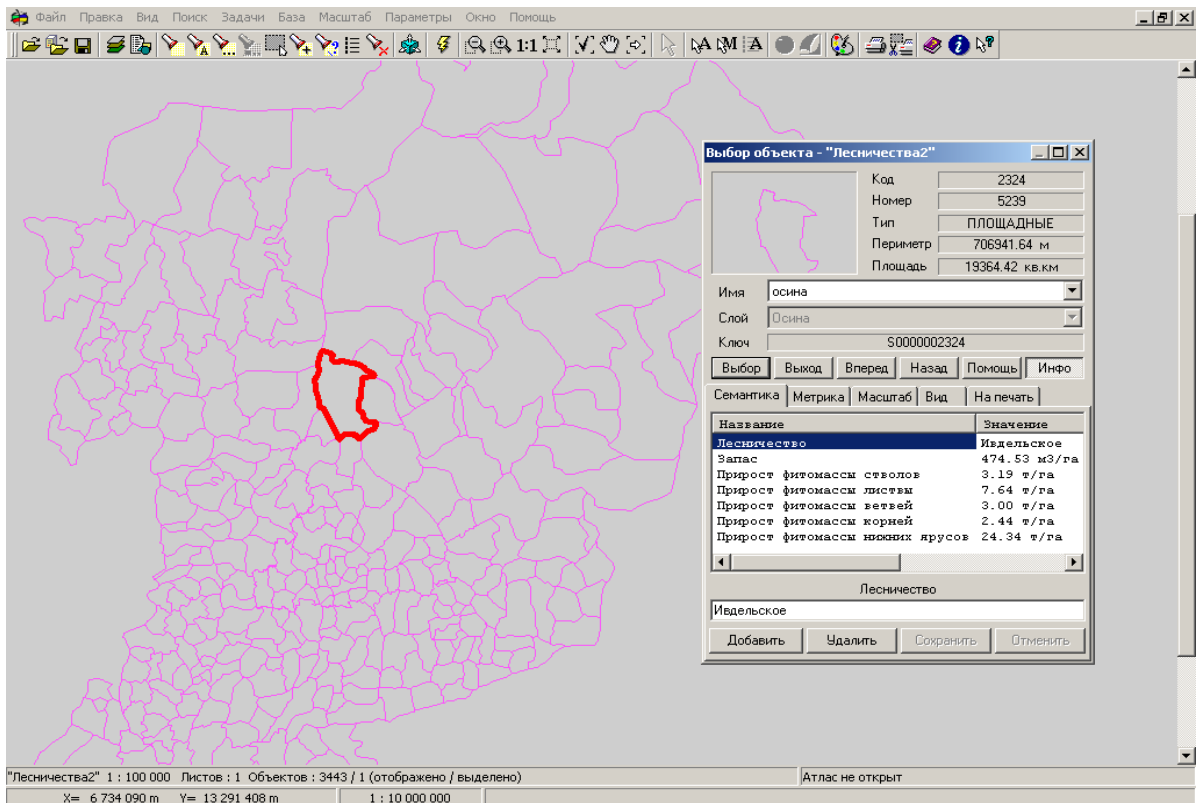


Рис. 7. Отображение значений ЧПП фитомассы по фракциям для каждой древесной породы по каждому лесничеству (Воронов, 2010а, 2012а; Усольцев и др., 2011а).

Заключение

Несмотря на значительные расхождения в оценках фитомассы и ЧПП лесов, по мере совершенствования методических подходов наблюдается тенденция сближения величины оценок, выполняемых разными исследователями, что свидетельствует о прогрессе в познании закономерностей формирования биологической продуктивности лесов. Алгоритмы расчетов впервые реализованы в среде СУБД ADABAS, *Natural* и ГИС «Карта 2008». С помощью разработанной информационной системы все расчеты фитомассы и ЧПП в лесах на уровнях от лесничества до территориального комплекса актуализируются в автоматическом режиме без участия оператора, который имеет доступ лишь к исходным базам данных при необходимости их коррекции.

Список использованной литературы

Алексеев В.А., Бердси Р.А. (ред.). Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994. 224 с.

Базилевич Н.И., Родин Л.Е. Картограммы продуктивности и биологического круговорота главнейших типов растительности суши // Изв. ВГО. 1967. Т. 99. № 3. С. 190-194.

Бернал Дж. Наука в истории общества. М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. 735 с.

Борщев В.Б. Банки и базы данных // Природа. 1982. № 3. С. 64-75.

Воронин П.Ю., Коновалов П.В., Блондинский В.К., Кайбияйнен Л.К. Хлорофильный индекс и фотосинтетический сток углерода в лесах Северной Евразии // Физиология растений. 2004. № 51. С. 390-395.

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Разработка аналитического блока системы пространственного анализа депонирования углерода лесными экосистемами Урала // Актуальные проблемы лесного комплекса / Сб. научн. трудов. Часть 1. Брянск: БГИТА, 2008. С. 76-79 (http://science-bsea.bgita.ru/2008/leskomp_2008/usoltsev_izm.htm).

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П., Бараковских Е.В. Система пространственного анализа депонирования углерода лесами в среде СУБД ADABAS // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 186. СПбГЛТА, 2009а. С. 188-195.

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Обоснование выбора среды для проектирования и реализации системы оценки углерододепонирующей способности лесов России // Современные проблемы науки и образования. 2009б. № 6. С. 20-22 (<http://www.science-education.ru/pdf/2009/6-1/8.pdf>).

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Система мониторинга депонирования углерода лесными экосистемами: состояние и перспективы развития // Новости Международного центра лесного хозяйства и лесной промышленности (ICFFI News). СПбГЛТА. 2009в. Т. 1. № 10. С. 12-13, 62-64.

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Исследование методов и разработка информационной системы определения и картирования депонируемого лесами углерода в среде *Natural*. Екатеринбург: УГЛТУ, 2010а. 160 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3380>).

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Структура и системные взаимосвязи информационной системы определения и картирования депонируемого лесами углерода // Инженерная поддержка инновации и модернизации / Сб. научных трудов. Вып. 1. Екатеринбург: Академия инженерных наук, 2010б. С. 140-143.

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Экспертная система пространственного анализа депонирования углерода лесными экосистемами Уральского региона – годичный прирост фитомассы // Современные наукоемкие технологии. 2010в. № 4. С. 90-92 (www.rae.ru/snt/?section=content&op=show_article&article_id=6133)

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Алгоритм автоматического расчета значений коэффициентов регрессионных уравнений оценки углерододепонирующей способности лесов при обновлении справочных данных // Фундаментальные исследования. 2011а. № 12. С. 89-95 (http://www.rae.ru/fs/pdf/2011/2011_12_1.pdf).

Воронов М.П., Усольцев В.А. Модели оценки годичного депонирования углерода в фитомассе насаждений на лесопокрытых площадях // Естественные и технические науки. 2011б. № 4. С. 227-230 (<http://istina.msu.ru/journals/94877/?p=3>).

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Структура и основные компоненты информационной системы оценки депонирования углерода лесными экосистемами // Естественные и технические науки. 2011в. № 4. С. 231-235 (<http://istina.msu.ru/journals/94877/?p=3>).

Воронов М.П., Усольцев В.А., Кох Е.В., Мезенцев А.Т., Крудышев В.В., Лазарев И.С., Чендарев Д.В., Сенчило Н.В. Оценка и картирование биологической продуктивности лесного покрова в среде Natural (на примере Уральского региона) // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: Биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг / Материалы международного научно-практического семинара. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011г. С. 109-114 (<http://csfm.marstu.net/publications.html#seminar2011>).

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Исследование методов и разработка информационной системы определения и картирования депонируемого лесами углерода в среде Natural. Эл. издание. 2-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012а. 192 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3301>).

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода // Сб. научных трудов ученых и специалистов факультета экономики и управления УГЛТУ. Вып. 3. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012б. С. 71-75.

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П., Лазарев И.С., Сенчило Н.В. Автоматизированная система определения и картирования депонируемого лесами углерода в среде СУБД ADABAS // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2013. № 1 (331). С. 22-28 (http://www.lesnoizhurnal.ru/article_index_years.php?SECTION_ID=2158).

Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Методы и модели мониторинга уровня эмиссии и депонирования углерода в лесных экосистемах // Конкурентоспособность социально-экономических систем в условиях динамично меняющейся внешней среды / Сборник трудов IV международной научно-практической конференции «Проблемы обеспечения безопасного развития современного общества». Часть 1. Екатеринбург: УрФУ, 2014. С. 130-140 (<http://менеджмент-углту.рф/Uploads/NauchPublikazii/52.pdf>).

Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. М.: Наука, 1987. 552 с.

Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений // Лесоведение. 2000. № 6. С. 54-63.

Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И. и др. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3-10.

Казмиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 175 с.

Кондратьев К.Я., Лосев К.С., Ананичева М.Д., Чеснокова И.В. Естественнонаучные основы устойчивости жизни. М.: ЦС АГО, 2003. 239 с.

Макаревский М.Ф. Запасы и баланс органического углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии // Экология. 1991. № 3. С. 3 –10.

Опритова С.В., Глаголев В.А., Розенберг В.А. О возможности определения надземной фитомассы лесов по материалам лесоустройства // Биогеоэкологические исследования в лесах Южного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 71-83.

Поздняков Л.К. Лесное ресурсоведение. Новосибирск: Наука, 1973. 120 с.

Поздняков Л.К., Протопопов В.В., Горбатенко В.М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск: Книжное изд-во, 1969. 120 с.

Протопопов В.В., Грибов А.И. Элементы первичной продуктивности и биометрические показатели березовых древостоев Западного Саяна // Лесоведение. 1971. № 1. С. 32-36.

Рейхардт А.Ю. Лесные отходы как сырье для ширпотреба // Лесная индустрия. 1934. № 7. С. 45-48.

Сальников А.А., Усольцев В.А. Новый метод экстраполяции фитомассы древостоев пробных площадей на лесопокрытую площадь лесхоза и систематические ошибки существующих методов // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 19. Екатеринбург: УГЛТА, 1999. С. 219-228

Усольцев В.А. Березовые сучья – сырье для производства древесностружечных плит // Информатор ЛатНИИЛХП: обзоры текущих исследований института. Рига. 1971а. С. 78-83.

Усольцев В.А. Взаимосвязь некоторых таксационных элементов кроны и ствола у березы пушистой в Северном Казахстане // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1971б. № 2. С. 80-84.

Усольцев В.А. Листва березы и осины как сырье для витаминной муки // Животноводство. 1972а. № 7. С. 80.

Усольцев В.А. Лиственную древесную зелень - на нужды животноводства // Сельское хозяйство Казахстана. 1972б. № 8. С. 42.

Усольцев В.А. Вес кроны березы и осины в насаждениях Северного Казахстана // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1972в. № 4. С. 77-80.

Усольцев В.А. Элементы биологической продуктивности березово-осиновых лесов Северного Казахстана: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. УЛТИ, 1973. 26 с.

Усольцев В.А. Фитомасса крон спелых березово-осиновых насаждений в Северном Казахстане // Лесоведение. 1974. № 2. С. 86-88.

Усольцев В.А. Тонкомерные сортименты березы и осины для производства древесно-стружечных плит // Плиты и фанера. Реферативная информация. 1975а. № 10. С. 6-7.

Усольцев В.А. Комплексное использование лесосечного фонда и отходов в лесах Северного Казахстана // Информационный листок КазНИИТИ. 1975б. № 0521. С. 1-3.

Усольцев В.А. Ресурсы и возможности переработки низкокачественного древесного сырья в Кустанайской области // Охрана и воспроизводство животного и растительного мира Северного Казахстана. Кокчетав: КазНИИЛХ, 1978. С. 85-87.

Усольцев В.А. Обоснование комплексного использования тонкомерной древесины и отходов // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1982. № 9. С. 93-98.

Усольцев В.А. Фитомасса древесных крон в лесах Северного Казахстана и ее кормовое использование // Проблемы продовольственного и кормового использования недревесных и второстепенных лесных ресурсов / Тез. докл. всесоюзн. совещ. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1983. С. 160.

Усольцев В.А. Использование всей фитомассы древостоев. Обзор. Щучинск: КазНИИЛХА, 1984. 94 с. (Депон. в КазНИИТИ 25.01.1984, № 560 Ка-Д84).

Усольцев В.А. Глобальные экологические программы и базы данных о фитомассе лесов // ИВУЗ. Лесной журнал. 1993. № 4. С. 3-7.

Усольцев В.А. Международный лесной мониторинг и базы данных по фитомассе лесов // Лесная таксация и лесоустройство / Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: КГТА, 1994. С. 42-49.

Усольцев В.А. Международный лесной мониторинг, глобальные экологические программы и базы данных о фитомассе лесов // Лесное хозяйство. 1995а. № 5. С. 33-35.

Усольцев В.А. Международный лесной мониторинг, глобальные экологические программы и базы данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УГЛТА, 1995б. 91 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3381>).

Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 541 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3224>).

Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: предельная продуктивность и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 406 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3303>).

Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007а. 636 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3281>).

Усольцев В.А. Некоторые методические и концептуальные неопределенности при оценке приходной части углеродного цикла лесов // Экология. 2007б. № 1. С. 1-10 (<http://www.maikonline.com/maik/showArticle.do?aid=VAF0BYU9U9&lang=ru>).

Усольцев В.А., Усольцева Р.Ф. Аппроксимирование надземной фитомассы березы и осины по диаметру и высоте ствола // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1977. № 7. С. 83-89.

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. С. 198-227.

Усольцев В.А., Часовских В.П., Азаренок М.В. О разработке экспертной системы по углеродному бюджету лесов России // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса / Тез. докл. междунар. н.-т. конфер. Екатеринбург: УГЛТА, 1999. С. 208-209.

Усольцев В.А., Галако В.А., Колтунова А.И. Совмещение моделей фитомассы лесобразующих пород Среднего Урала с данными лесоустройства // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 22. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. С. 102-110.

Усольцев В.А., Часовских В.П., Воронов М.П., Корец М.А., Черкашин В.П., Кофман Г.Б., Бараковских Е.В., Семышев М.М., Касаткин А.С., Накай Н.В. Оценка углероддепонирующей способности лесов: от пробной площади – к автоматизированной системе пространственного анализа // Лесная таксация и лесоустройство. 2008а. № 1(39). С. 183-190.

Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Канунникова О.В. Депонирование углерода лесами Уральского федерального округа // Сибирский экологический журнал. 2008б. № 3. С. 371-380 (<http://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=120619>).

Усольцев В.А., Бараковских Е.В., Малеев К.И. Депонирование углерода в фитомассе лесного покрова Пермского края // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2008в. Вып. 21. С. 136-139 (http://science-bsea.bgita.ru/sborniki/akt_les_21.htm).

Усольцев В.А., Часовских В.П., Бараковских Е.В., Накай Н.В., Воронов М.П. Картирование лесных горючих материалов путем совмещения баз данных ГУЛФ и фитомассы насаждений // Пожары в лесных экосистемах Сибири / Материалы всероссийской конференции с международным участием. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 2008г. С. 81-83.

Усольцев В.А., Азаренок В.А., Бараковских Е.В., Накай Н.В. Депонирование и динамика углерода в фитомассе лесов Уральского региона // Лесная таксация и лесоустройство. 2009а. № 1 (41). С. 108-115.

Усольцев В.А., Бараковских Е.В., Накай Н.В. Региональные особенности картографирования углерода, депонируемого лесным покровом // Генетическая типология, динамика и география лесов России / Матер. всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Б.П. Колесникова. Екатеринбург: БС УрО РАН, 2009б. С. 188-191.

Усольцев В.А. Воронов М.П., Накай Н.В. Автоматизированная система оценки и картирования углерода, депонируемого лесными экосистемами, в среде ADABAS и Natural // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2009в. № 2 (52). С. 30-36 (http://www1.asau.ru/doc/nauka/vestnik/2009/2/Leshos_Usolzev.pdf).

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

Усольцев В.А., Накай Н.В., Уразова А.Ф., Борников А.В., Жанабаева А.С., Бергман И.Е. Углероддепонирующая способность лесов: базы данных, методы оценки, география // Генетика, экология, и география дендропопуляций и ценоэкосистем. Екатеринбург: УрО РАН, 2010а. С. 84-92.

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

Усольцев В.А., Воронов М.П., Часовских В.П., Накай Н.В. Депонирование углерода в фитомассе лесов: расчетный алгоритм и его реализация в среде СУБД ADABAS (на примере Уральского региона) // Лесная таксация и лесоустройство. 2010в. № 1 (43). С. 78-92 ([http://www.sibgtu.ru/files/nau/zs/2010.10/tl_1\(43\)_2010.pdf](http://www.sibgtu.ru/files/nau/zs/2010.10/tl_1(43)_2010.pdf)).

Усольцев В.А., Воронов М.П., Часовских В.П. Чистая первичная продукция лесов Урала: методы и результаты автоматизированной оценки // Экология. 2011а. № 5. С. 334-343 (<http://www.maikonline.com/maik/showIssueContent.do?puid=VIGHOHGRJX&lang=ru>).

Усольцев В.А., Воронов М.П., Кох Е.В., Бергман И.Е., Уразова А.Ф., Борников А.В., Жанабаева А.С., Мезенцев А.Т., Крудышев В.В. Совмещение баз данных лесоинвентаризации и первичной продукции лесов на основе статистических моделей и картирование результатов // Математическое моделирование в экологии / Материалы Второй национальной конференции с международным участием, 23-27 мая 2011 г. Пушино: ИФХиБПП РАН, 2011б. С. 275-277 (http://ecomodelling.ru/doc/Proceedings_EcoMatMod2011.pdf).

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

Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3-20.

Часовских В.П., Воронов М.П., Фатеркин А.С. Информационные технологии в управлении: СУБД ADABAS и проектирование приложений средствами Natural. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. 476 с.

Часовских В.П., Усольцев В.А., Воронов М.П. Проектирование информационной системы поддержки принятия решений в лесном комплексе с использованием самона-

страивающихся нечетких моделей // Эко-Потенциал. 2014. № 4 (8). С. 81-89 (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3565>).

Швиденко А.З., Нильссон С., Столбовой В.С. и др. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 1. Запасы растительной органической массы // Экология. 2000. № 6. С. 403-410.

Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России. 2. Таблицы и модели биопродуктивности // Лесное хозяйство. 2004. № 2. С. 40-44.

Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С. Материалы к познанию современной продуктивности лесов России // Базовые проблемы перехода к устойчивому управлению лесами России – учет лесов и организация лесного хозяйства / Матер. международного семинара. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. С. 5-37.

Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Ваганов Е.А., Нильссон С. Чистая первичная продукция лесных экосистем России: новая оценка // Доклады Академии наук. 2008. Т. 421. № 6. С. 822-825.

Flury Ph. Untersuchungen über das Verhältniss der Reismasse zur Derbholzmasse // Mitt. Schweiz. Centralanstalt forstl. Versuchswesen. 1892. Bd. 2. S. 25-32.

Pretzsch H. Forest dynamics, growth and yield: from measurement to model. Berlin; Heidelberg: Springer, 2009. 664 pp.

Usolzew W.A. Birkenäste als Rohstoff für die Herstellung von Holzspanplatten // Bauinformation. Berlin. 1971. № 9. S. 140.

Usoltsev V.A., Hoffmann C.W. Combining harvest sample data with inventory data to estimate forest biomass // Scandinavian Journal of Forest Research. 1997. Vol. 12. No. 3. P. 273-279.

Usoltsev V.A., Salnikov A.A. A new method for estimating the carbon pool of forest ecosystems // Russian Journal of Ecology. 1998. Vol. 29. No. 1. P. 3-13.

Young H.E. A balanced view of the forest as a source of energy material // Proc. “Joint IEA/IUFRO Forestry Energy Workshop” in Garpenberg, Sweden. October 2. 1980. Information from project Forestry Energy. 1981. No. 20. P. 59-63.

Рецензент статьи: доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по науке Уральского государственного лесотехнического университета С.В. Залесов.