

# Методы создания карт запасов лесных горючих материалов низкого пространственного разрешения

Е.Н. Сочилова, Д.В. Ершов, Г.Н. Коровин

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН*

*117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32*

*E-mail: [elena@ifi.rssi.ru](mailto:elena@ifi.rssi.ru)*

Рассмотрены два метода оценки запасов лесных горючих материалов (ЛГМ), использованных при разработке технологии построения карт запасов ЛГМ низкого пространственного разрешения. Первый метод базируется на комплексном анализе цифровой карты наземных экосистем северной Евразии (GLC2000) и данных государственного учета лесного фонда (ГУЛФ), а второй - с использованием карт GLC2000 и почв России, цифровой модели рельефа и базы данных по биологической продуктивности лесных экосистем на тестовых площадках пространственно распределенных в различных лесорастительных зонах. В результате анализа исходных данных рассчитываются средние запасы проводников горения по основным фракциям вертикального профиля насаждения. Апробация технологии проводилась на тестовом регионе Центральной Сибири. Выполнен сравнительный анализ карт запасов фитомассы верхнего полога, созданных по материалам ГУЛФ и лесоустройства на уровне выделов. Полученные оценки точности определили минимально допустимый масштаб применения карт низкого пространственного разрешения.

**Ключевые слова:** лесные горючие материалы (ЛГМ), лесные пожары, фитомасса, пожарная опасность.

## Введение

Данные о запасах лесных горючих материалов (ЛГМ) используются для решения оперативных задач мониторинга лесных пожаров и оценки их последствий. Под картографированием ЛГМ понимается создание информационной пространственно распределенной базы данных о запасах горючих материалов для прогноза поведения лесных пожаров, мониторинга пожарной опасности, оценки последствий от лесных пожаров [1] и определения размеров пожарных эмиссий парниковых газов в атмосферу Земли.

Детальная оценка запасов лесных горючих материалов невозможна из-за отсутствия актуализированных по выделным данным лесоустройства на всей территории лесного фонда России. Частично решить эту задачу можно с использованием данных учета лесного фонда, агрегированных на уровне лесохозяйственных предприятий, выборочных измерений фитомассы лесов на тестовых площадках и мелкомасштабных карт лесных экосистем и почв. Для этой цели были разработаны методы построения карт запасов ЛГМ низкого пространственного разрешения.

## Исходные данные и методика их анализа

В качестве информационных источников используются:

- данные государственного учета лесного фонда (ГУЛФ) [<http://les.mnr.gov.ru/part/?pid=249>];
- мелкомасштабные цифровые лесные и почвенные карты [2];
- база данных запасов фитомассы основных лесобразующих пород по тестовым площадкам (более 900 площадок) [3];

- база данных запасов фитомассы древесных пород по субъектам [4];
- цифровая модель рельефа (ЦМР) [5];
- цифровые картографические продукты спутниковых наблюдений низкого пространственного разрешения SPOT-Vegetation и TERRA-Modis (карта наземных экосистем Северной Евразии (1 км) и покрытые лесом территории (250 м)) [6];
- цифровые карты зон лесорастительных условий (Курнаев С.Ф.) и географических регионов. Методика анализа данных для расчета запасов проводников горения включает:
  - классификацию лесных горючих материалов и определения состава растительных проводников горения для низовых и верховых пожаров;
  - статистическую оценку представительности типов лесорастительных условий и запасов фитомассы проводников горения (верхний полог, напочвенный покров, лесная подстилка и подрост/подлесок) по базе данных биологической продуктивности лесных экосистем на тестовых площадках в различных физико-географических регионах страны;
  - классификацию основных типов лесорастительных условий по увлажнению и плодородию почв (П.С. Погребняк) на основе комплексного анализа почвенной карты и данных ГУЛФ;
  - подготовку базы данных запасов фитомассы проводников горения (ПГ) по тестовым площадкам для физико-географических регионов;
  - формирование карт запасов фитомассы ПГ напочвенного покрова, лесной подстилки и подрост/подлеска для различных типов лесорастительных условий;
  - оценка запасов ПГ верхнего полога насаждений на основе комплексного анализа базы данных о запасах насаждений основных лесообразующих пород (ГУЛФ) на уровне лесохозяйственных предприятий;
  - интеграция запасов ПГ верхнего полога на уровне лесхозов с картой наземных экосистем Северной Евразии.

Лесные горючие материалы классифицировались по типам проводников горения лесов для низовых и верховых пожаров. В соответствии с этой классификацией технология оценки запасов горючих материалов строится на расчетах запасов горючих материалов по вертикальному профилю насаждений (полог древостоя, подрост/подлесок, напочвенный покров, лесная подстилка).

Комплексный анализ цифровых карт лесов, почв, рельефа, баз данных государственного учета лесного фонда (ГУЛФ) и биологической продуктивности лесных экосистем, содержащей сведения о фитомассе основных лесообразующих пород на пробных площадях, позволяет сформировать необходимые предварительные данные, используемые для построения результирующих карт. В связи с нерегулярностью пространственного распределения тестовых площадок и неполнотой данных проводится статистическая оценка представительности типов лесорастительных условий по площадкам и состав информации о запасах фитомассы ПГ. При необходимости недостающая информация дополняется из других источников, например, из базы данных о фитомассе лесов по административным единицам [4, 7].

### **Построение карт запасов ЛГМ на основе типов лесорастительных условий**

Оценка запасов проводников горения базируется на карте типов лесорастительных условий (ТЛУ), различающихся между собой по степени плодородия и увлажнения почв. Карта ТЛУ создается на основе комплексного анализа почвенной карты, цифровой модели рельефа, запасов насаждений (ГУЛФ) в разрезе лесхозов.

Классификация почв по увлажнению осуществляется на основе литературных источников и экспертных оценок специалистов из Почвенного института им. В.В. Докучаева РАСХН. По увлажнению почвы делятся на автоморфные (сухие), полугидроморфные (влажные) и гидроморфные (мокрые), а по

плодородию – на бедные, средние и богатые. Последний показатель определяется по данным ГУЛФ на основе расчета динамики удельных запасов породы от молодняков до насаждений спелого возраста. Используется методика моделирования удельных запасов основных лесобразующих пород в зависимости от возраста насаждения и принятых кодов рубки породы в рассматриваемых лесорастительных условиях. Это позволяет косвенным образом предполагать о том, что чем больше запас ствольной древесины породы к моменту её рубки, тем лучше условия местопроизрастания и соответственно плодородие почвы. Распределение удельных запасов для каждой породы условно ранжируется на три класса плодородия на уровне лесохозяйственных предприятий: полученный диапазон максимальных удельных запасов каждой породы по всей России разбивается на три класса в равных пропорциях по гистограмме их распределения. Подобное ранжирование определяется экспертным путем. Для групп пород (темнохвойные, лиственные) ранги вычисляются как средневзвешенные с учетом площади, занимаемой каждой породой, входящей в группу. Таким образом, для каждой группы пород из карты наземных экосистем определяется класс плодородия.

Пространственный анализ данных о плодородии почв в лесхозе и карты увлажнения почв является основой для создания карты ТЛУ. Карта содержит 9 классов, сгруппированных по степени увлажнения и плодородия, например, бедные сухие почвы, богатые влажные почвы и т.п. (рис. 1).

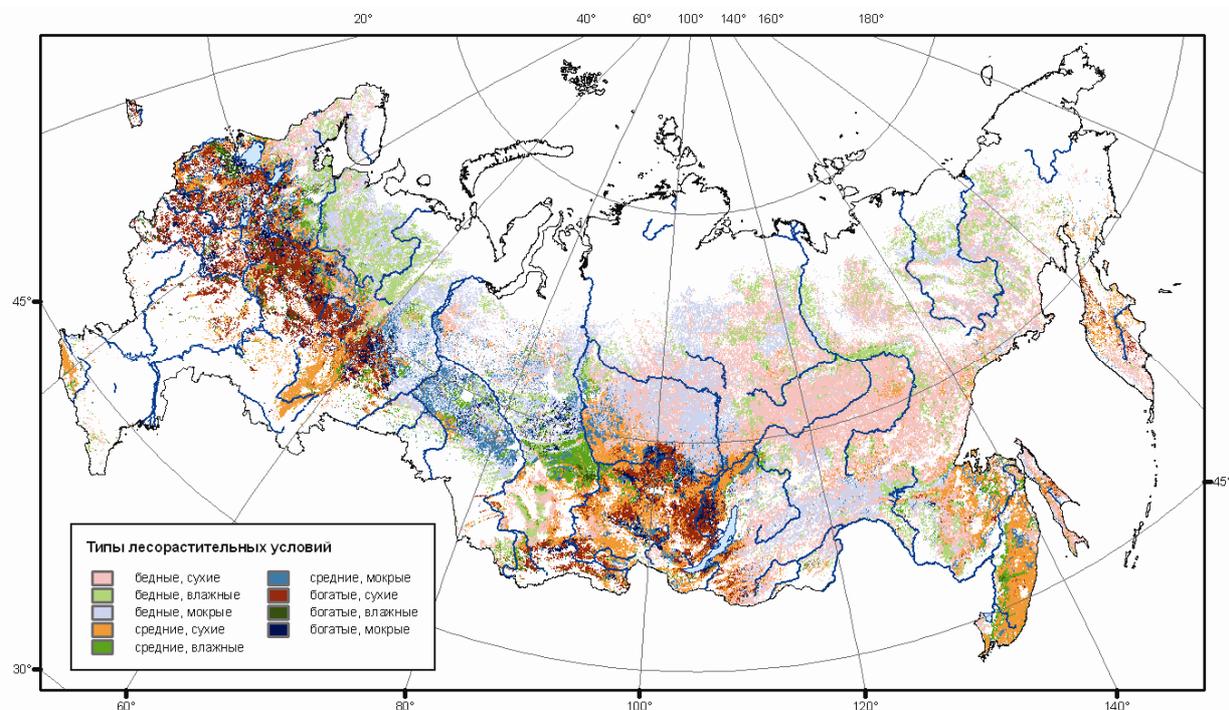


Рис. 1. Карта типов лесорастительных условий

Карта ТЛУ и база данных по биологической продуктивности лесных экосистем на тестовых площадках используются для создания пространственно распределенной карты средних запасов любого слоя ЛГМ. ЦМР применяется для уточнения контуров и местоположения основных типов почв на карте 1:2500000 масштаба с целью повышения пространственной согласованности ее с картой наземных экосистем северной Евразии. Уточнение контуров почв выполняется по следующим правилам: гидроморфные почвы должны быть в западинах склонов и в низинах, автоморфные – на водоразделах, а полугидроморфные – на склонах и плоских вершинах.

Для каждой тестовой площадки определен тип лесорастительных условий и соответствующие ему данные по фитомассе насаждений. Результатом анализа расположения точек являются девять картографических слоев с площадками, описывающих распределение запасов ПГ по каждому ТЛУ. Пространственный анализ (интерполяция) значений фитомассы на пробных площадках дает

возможность получить распределение запасов ЛГМ для каждого слоя вертикального профиля насаждения, например, напочвенного покрова. Наложение карты ТЛУ на интерполированные поля запасов фитомассы позволяет присвоить каждому типу лесорастительных условий их значения (рис. 2). Предложенная методика применима для каждого из слоев ЛГМ вертикального профиля насаждения (верхний полог, подрост/подлесок, лесная подстилка) при наличии данных об их запасах на тестовых площадках для всех ТЛУ.

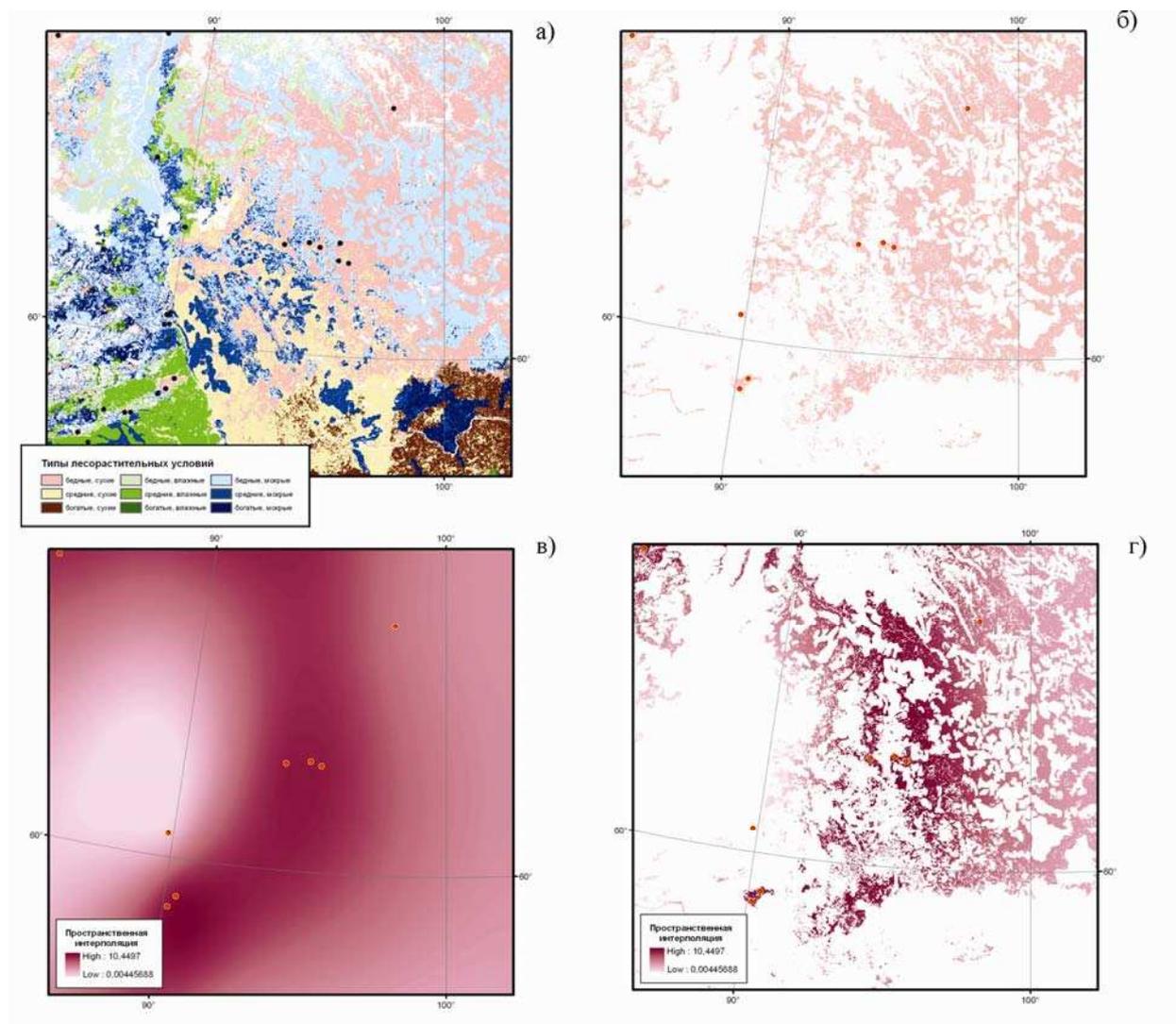


Рис. 2. Иллюстрация к методу построения карты запасов напочвенного покрова с использованием типов лесорастительных условий (ТЛУ). а) Фрагмент карты ТЛУ с тестовыми площадками. б) Тестовые площадки, расположенные на бедных сухих почвах. в) Пространственная интерполяция запасов фитомассы напочвенного покрова. г) Результат объединения карты бедных сухих почв (б) и интерполированных запасов фитомассы напочвенного покрова (в)

Для пространственной оценки запасов ЛГМ верхнего полога был разработан другой метод с использованием данных государственного учета лесного фонда (ГУЛФ) и коэффициентов конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесообразующих пород России [8].

### Построение карт запасов ЛГМ на основе данных ГУЛФ

В верхнем пологе древостоя проводниками горения (ПГ) являются хвоя, листва, тонкие ветви (диаметр менее 1 см) и отмершие сухостойные ветви в кронах живых деревьев. Для

количественной оценки средних запасов ЛГМ в верхнем пологе необходимо рассчитать значения фитомассы по каждой фракции ПГ. Через конверсионные коэффициенты осуществляется преобразование запасов основных лесобразующих пород в запасы фитомассы их основных проводников горения (тонкие ветви, листва и хвоя).

Из ГУЛФ выбираются площади насаждений и таксационные запасы древесины с учетом породно-возрастной структуры в лесхозе. Зная запас древостоя, фитомасса фракции (i) очевидным образом получается из уравнения

$$Ph(i)=k(i)*M(i) \quad (1)$$

Входными параметрами в такую модель служат запасы древесины **M(i)**, приводящиеся в обобщенных данных государственного учета лесного фонда по преобладающим породам, группам возраста, и конверсионные коэффициенты **k(i)** перерасчета таксационных запасов в фитомассу, определенные для лесорастительных зон [8]. Подобная модель расчета предназначена, главным образом, для оценки фитомассы лесов на больших территориях, например, для страны в целом.

На основе комплексной обработки данных ГУЛФ, карт лесхозов, лесорастительных зон и таблиц конверсионных коэффициентов рассчитываются нормированные по площади значения отдельных фракций фитомассы для хвои, листвы и ветвей.

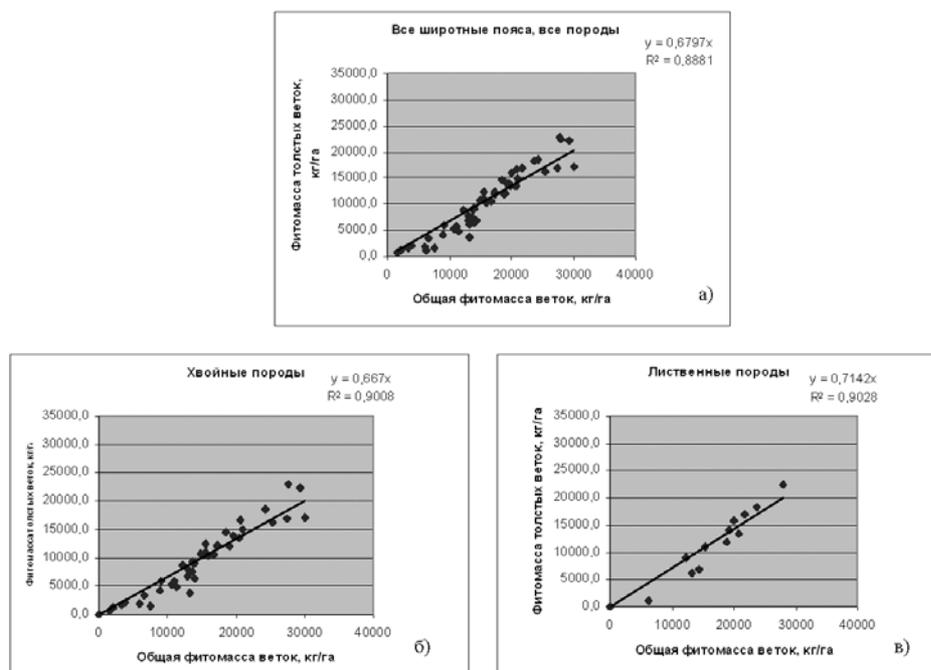


Рис. 3. Зависимости значений общей фитомассы веток и фитомассы толстых ветвей

Значения фитомассы тонких ветвей вычисляются как разность общей фитомассы ветвей и фитомассы толстых ветвей (этот параметр есть в базе данных [3]). Для определения зависимостей между запасами фитомассы толстых ветвей (**Ph<sub>т.с.в.</sub>**) и общей фитомассой ветвей (**Ph<sub>общ.</sub>**) проводится дополнительный анализ. Наблюдается хорошая линейная зависимость между значениями фитомассы толстых ветвей и значениями общей фитомассы всех ветвей (рис. 3а). Величина достоверности аппроксимации функции очень высокая ( $R^2=0,89$ ), что позволяет, значения общей фитомассы ветвей ГУЛФ преобразовывать в фитомассу толстых (более 1 см) ветвей на уровне лесхозов с помощью следующего уравнения конверсии:

$$Ph_{т.с.в.} = 0.6797 * Ph_{общ.} \quad (2)$$

При разделении исходных площадок по группам преобладающих пород (хвойные или лиственные) корреляционные зависимости сохраняют линейный характер и высокую величину достоверности аппроксимации функции ( $R^2=0,9$ ). Незначительное отклонение коэффициентов

линейного уравнения для каждой группы преобладающих пород от общего случая позволяет не учитывать в расчетах запасов тонких веток породную структуру лесов (рис. 3б, в).

Значения запасов сухостойных ветвей в кронах живых деревьев выведены на основе анализа данных по фитомассе. В среднем по России они составляют около 30 % от общего запаса фитомассы ветвей.

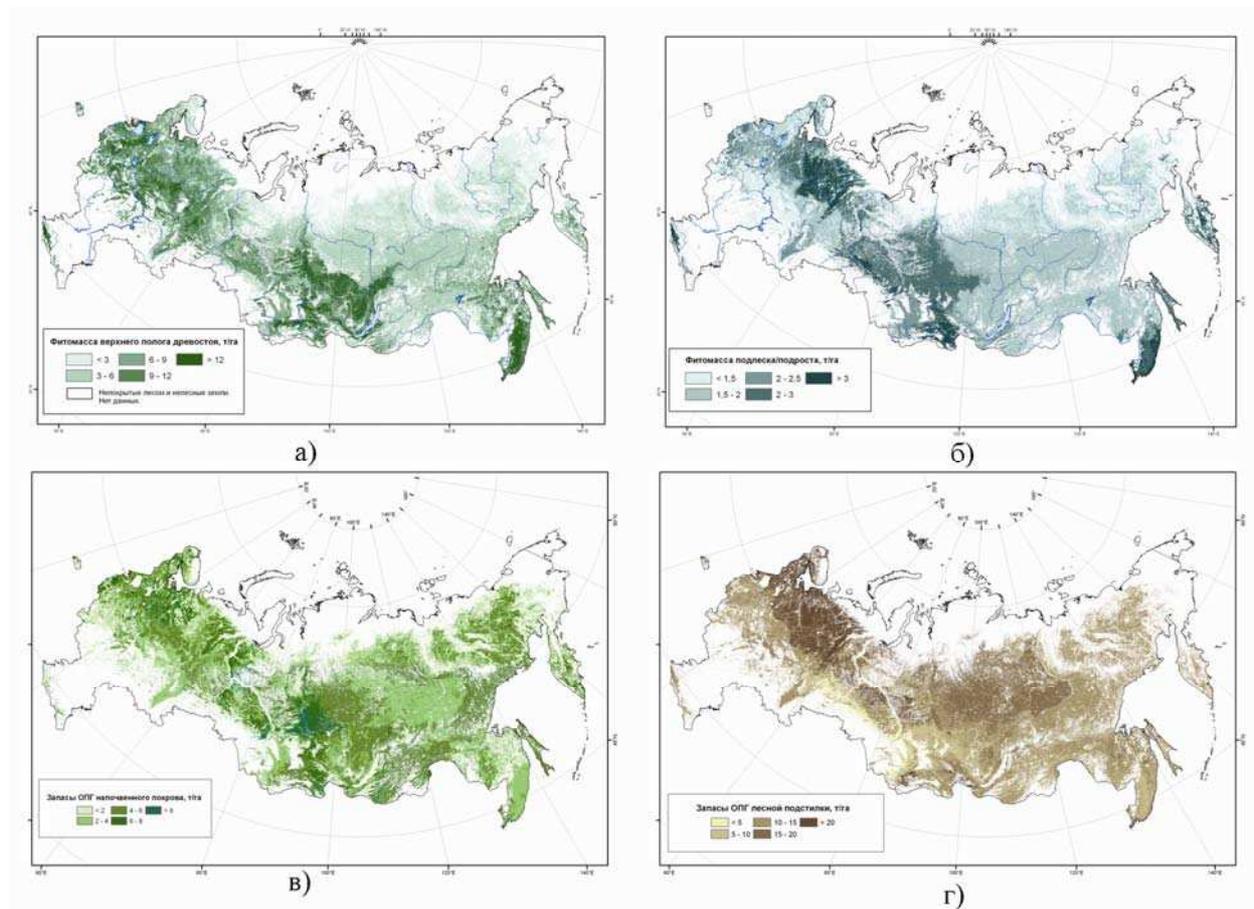


Рис. 4. Карты запасов фитомассы проводников горения: а) верхний полог насаждений; б) подрост/подлесок; в) напочвенный покров; г) лесная подстилка

Суммарный (общий) запас фитомассы ОПГ верхнего полога формируется из запасов фитомассы листьев/хвои, тонких живых ветвей и сухих ветвей по каждому лесхозу. Для получения пространственного распределения средневзвешенных запасов фитомассы ЛГМ верхнего полога насаждений карта лесхозов со средними запасами ЛГМ совмещается с картой групп преобладающих пород наземных экосистем России (рис. 4а). Пространственное распределение средневзвешенных запасов фитомассы ЛГМ подрост/подлеска, напочвенного покрова и лесной подстилки приводятся на рисунках 4 б-г.

### Предварительная оценка точности карты запасов ЛГМ верхнего полога

Для оценки точности полученных результатов был проведен сравнительный анализ карт запасов фитомассы ПГ верхнего полога, созданных по данным ГУЛФ и лесоустройства на примере выделов Манского лесхоза.

Методика сравнения заключалась в следующем. Карты по запасам фитомассы ПГ верхнего полога сформированных из двух источников последовательно интегрировались на регулярную сеть с разрешением 1, 2, 5, 10, 15, 20, и 50 километров. Полученные карты количественно сравнивались между собой с целью определения ошибки оценки запасов фитомассы ПГ верхнего

полога, полученной по данным ГУЛФ относительно данных лесоустройства. На рис. 5 приводится график отражающий величину ошибки определения запасов в зависимости от размера и площади ячейки регулярной сети. Это позволяет оценить минимально допустимый масштаб использования полученных карт запасов лесных горючих материалов низкого пространственного разрешения.

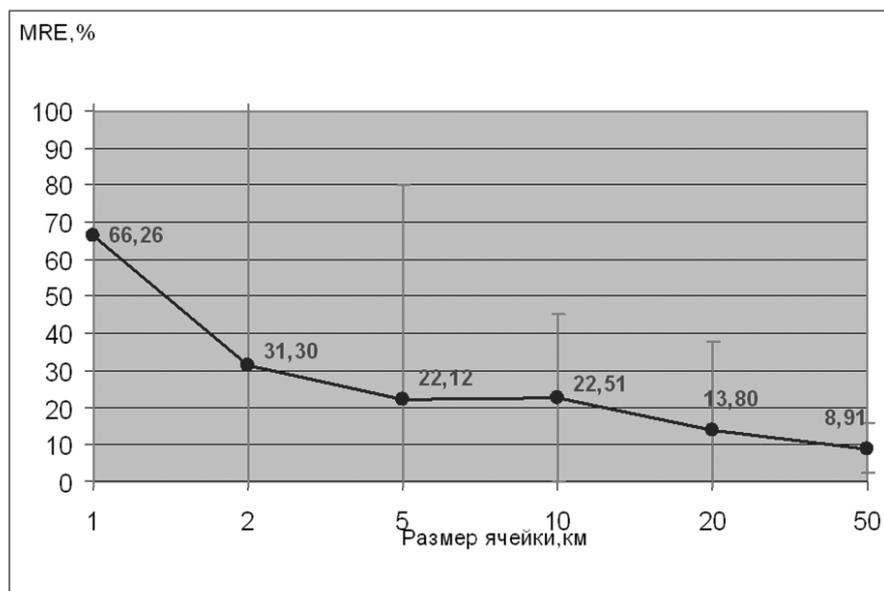


Рис. 5. Сравнительный анализ запасов биомассы проводников горения древостоя, полученных по данным лесоустройства (выдела) и данным государственного учета лесного фонда (ГУЛФ)

### Выводы

Сравнительный анализ запасов фитомассы основных проводников горения с аналогичными расчетами по данным лесоустройства, сформированный на уровне выделов показал, что полученные карты запасов могут уверенно использоваться при оценке пожарной опасности или эмиссий углерода от пожаров на уровне субъектов РФ, федеральных округов или в целом по России.

Повышение точности метода может осуществляться за счет увеличения количества тестовых площадок, более регулярно распределенных по территории лесного фонда России. Формирование более сгущенной сети площадок возможно с привлечением данных наземных исследований лесов и выборочной пространственно распределенной базы данных лесоустройства на уровне выделов и кварталов лесохозяйственных предприятий (лесничеств) в различных лесорастительных условиях. При этом необходимо применять соответствующие масштабы карт лесов и почв, цифровой модели местности и рельефа для восстановления пространственной структуры ТЛУ. Картографические продукты могут использоваться для оценки и прогноза пожарной опасности в лесах для лесных массивов площадью в сотни тысяч и миллионы гектаров, а также оценки последствий от лесных пожаров и пирогенных эмиссий с применением данных спутниковых наблюдений по Российской Федерации или отдельным регионам (федеральным округам и субъектам).

### Благодарность

Авторы благодарят Вячеслава Алексеевича Рожкова (Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН) за оказанную помощь при анализе и классификации карты почв России (1: 2 500 000 масштаба) по основным классам увлажнения для карты типов лесорастительных условий.

Авторы признательны Дмитрию Геннадьевичу Замолодчикову (ЦЭПЛ РАН) за консультации по использованию уравнений конверсии запасов основных лесообразующих пород в запасы фитомассы отдельных фракций верхнего полога (ветви, листья, хвоя).

Авторы благодарны Сергею Александровичу Барталеву (ИКИ РАН) и Михаилу Анатольевичу Корецу (Институт леса им. Сукачева СО РАН) за консультации и помощь в проведении работ по выборочной проверке карты запасов ЛГМ верхнего полога.

Авторы благодарят Михаила Дмитриевича Корзухина за проведенный анализ данных ГУЛФ и подготовку материала для определения предельных запасов основных лесообразующих пород по коду возраста рубки.

Авторы выражают особую благодарность сотрудникам лаборатории мониторинга лесных экосистем ЦЭПЛ РАН (Шуляк П.П., Ковганко К.А.) за оказанную помощь при подготовке баз данных и программ для проведения научных исследований.

Работы были выполнены в рамках проектов:

- INTAS-ESA Call 2006 ID 1000025-8991 Earth Observation for assessment of forest disturbances induced Carbon emissions in Central Siberia (SibFORD)

- НИОКР Федерального агентства лесного хозяйства 2006-08 гг. «Развитие системы дистанционного мониторинга лесных пожаров и очагов массового размножения вредных насекомых и болезней леса».

## Литература

1. Волокитина А.В., Софронов М.А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск, из-во СО РАН, 2002. 306 с.

2. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации. Коллектив авторов под общей редакцией Шишова Л.Л., Комова Н.В., Родина А.З., Фридланда В.М. Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, 2001. 400 с.

3. Уткин А.И., Гульбе Я.И., Гульбе Т.А., Ермолова Л.С. Биологическая продуктивность лесных экосистем. Компьютерная база данных. Москва, ИЛ РАН, ЦЭПЛ РАН, 1994.

4. Швиденко А., Щепаченко Д., МакКаллум Я., Нильссон С. Леса и лесное хозяйство России. Международный институт прикладного системного анализа и Российская академия наук. Лаксенбург, Австрия. CD-ROM, 2007

5. Цифровая топографическая карта (ЦТК) на территорию Российской Федерации, соответствующая масштабу 1:1000000. ООО «ДАТА+», 2005.

6. Bartalev, S.A., A.S. Belward, D.V. Erchov, and A.S. Isaev. A new SPOT4-VEGETATION derived Land Cover Map of Northern Eurasia // International Journal of Remote Sensing, Volume 24, Number 9 / May 10, 2003.

7. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. ISBN 5-7691-1201-8. 707 с.

8. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесообразующих пород России // Лесная таксация и лесоустройство. Сибирский государственный технологический университет, выпуск 1(32), 2003. С. 119 – 127.

## Methods of course resolution forest fuel load mapping

E.N. Sochilova, D.V. Ershov, G.N. Korovin

*Center for problems of forest ecology and productivity*

*E-mail: [elena@ifi.rssi.ru](mailto:elena@ifi.rssi.ru)*

Two methods of forest fuel load (FFL) assessment used in the developing of course resolution FFL mapping technology are considered. The first one is based on the complex analysis of Northern Eurasian land cover map (GLC2000) and State Forest Account (SFA) database. GLC2000, soil and DEM maps in the cooperation with a forest biomass database for test plots situated in the different forest condition zones are used for spatial analysis in the second method. We calculated mean values of biomass of such fire conductors as leaf / needle, small stem and dead branch of tree and undergrowth, litter and ground vegetation. The test area of our investigation was situated in Central Siberia. Course resolution map of biomass of tree fire conductors and similar map derived from local forest inventory database are compared. Minimum allowable scale of applying of course resolution map of forest fuel loads was defined.

**Keywords:** forest fuel loads (FFL), forest fires, biomass, fire risk.